

**Министерство энергетики Российской Федерации
Администрация Кемеровской области
Сибирское отделение Российской академии наук
Национальный научный центр горного производства – ИГД им. А.А.Скочинского
Кемеровский научный центр СО РАН
Институт угля СО РАН
Институт углехимии и химического материаловедения СО РАН
Кузбасский государственный технический университет
ОАО «СИБНИИУГЛЕОБОГАЩЕНИЕ-СУЭК»
ООО «НФ «КУЗБАСС-НИИОГР»
Кузбасская выставочная компания «Экспо-Сибирь»**

**СБОРНИК ТРУДОВ
XIII МЕЖДУНАРОДНОЙ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ**

**«Энергетическая безопасность России.
Новые подходы к развитию угольной
промышленности»**

**КЕМЕРОВО
2011**

УДК 622
Э65

Э65 Энергетическая безопасность России. Новые подходы к развитию угольной промышленности: Труды международной научно-практической конференции – Кемерово: Сибирское отделение Российской академии наук, Кемеровский научный центр СО РАН, Институт угля СО РАН, Институт углехимии и химического материаловедения СО РАН, Кузбасский государственный технический университет, ООО КВК «Экспо-Сибирь», 2011-429с.

ISBN 978-5-902305-41-5

Представлены материалы пленарных заседаний, секций, семинаров, стендовых докладов о стратегии энергетической безопасности России и роли угля в ней; новых технологиях и оборудовании для угледобычи, углеобогащения, углепереработки; проблемах создания конкурентного угольного рынка России.

Сборник представляет интерес для научной общественности, руководителей и специалистов, преподавателей и студентов, занимающихся проблемами угольной отрасли и энергетики.

УДК 622

ISBN 978-5-902305-41-5

© Сибирское отделение Российской академии наук

© ННЦ ГП – ИГД им. А.А.Скочинского

© Кемеровский научный центр СО РАН

© Институт угля СО РАН, 2011

© Кузбасский государственный технический университет

© Кузбасская выставочная компания «Экспо-Сибирь»

УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!



Поздравляю Вас с открытием очередного XIV Кузбасского международного угольного форума!

Мероприятия форума расширяют межотраслевые, межрегиональные и международные связи и направлены на развитие угольной отрасли, энергетики, тяжелого машиностроения.

Важными событиями форума станут VIII международная научно-практическая конференция «Энергетическая безопасность России: новые подходы к развитию угольной промышленности», XIV международная выставка-ярмарка «Углеснабжение и углесбыт», международный научный симпозиум «Углехимия и экология Кузбасса». Всероссийская молодежная конференция «Проблемы недропользования в угольной промышленности».

На форуме также будут рассмотрены вопросы повышения промышленной безопасности труда горняков, которым Министерство энергетики Российской Федерации уделяет особое внимание, а также многие другие вопросы.

Кузбасс является флагманом российской угольной отрасли и во многом определяет перспективы ее развития.

Министерство энергетики Российской Федерации рассматривает угольный форум в столице Кузбасса как важное конгрессно-выставочное мероприятие, дающее импульс для технического перевооружения, строительства новых угольных предприятий и развития угольной промышленности.

Уверен, что обмен опытом в рамках угольного форума будет интересным для всех участников и окажется весьма полезным.

Выражаю надежду, что практические результаты данного форума по эффективности не уступят предшествующим.

Желаю всем участникам форума плодотворных переговоров, максимальной реализации своих намерений и взаимовыгодных контрактов!

**Заместитель Министра энергетики
Российской Федерации**

A handwritten signature in dark ink, consisting of several fluid, overlapping strokes.

А.Б. Яновский

УВАЖАЕМЫЕ ЗЕМЛЯКИ И ГОСТИ КУЗБАССКОГО МЕЖДУНАРОДНОГО УГОЛЬНОГО ФОРУМА!



От имени Коллегии Администрации Кемеровской области рад приветствовать вас в г.Кемерово, столице угольного Кузбасса. Кемеровская область в настоящее время находится в числе регионов, сумевших выйти из кризисного состояния, наладить благоприятную социально-экономическую и инвестиционную ситуацию, повысить эффективность экономики региона.

Угольная промышленность как базовая отрасль Кузбасса задает положительную динамику для развития всего региона.

Мы планируем продолжить успешные традиции 2010 года и увеличить добычу угля к концу этого года до очередных рекордных 190 млн тонн. В развитие отрасли будет вложено 55,5 млрд рублей, что на 9,4 млрд рублей больше чем в 2010 году, из них 38,8 млрд рублей будет направлено на техническое перевооружение и реконструкцию действующих предприятий, в том числе на мероприятия по безопасному ведению горных работ – 3,4 млрд.рублей. Техническое перевооружение и реконструкция предприятий угольной отрасли, обеспечение безопасности шахтерского труда – первоочередные направления для инвестиций.

В этом году мы ввели в эксплуатацию шахту, разрез и обогатительную фабрику. До конца года планируем ввести в работу еще два угольных разреза. Продолжим реализацию важного для экономики Кузбасса проекта по промышленной добыче метана из угольных пластов. Новые инновационные идеи в угольной и углехимической отрасли будем наращивать на базе строящегося Кузбасского Академгородка и основанного в 2010 году Института углехимии и химического материаловедения СО РАН.

Для успешного развития отрасли требуется продолжение модернизации угольного производства, переход на новую современную технику и оборудование, обеспечивающие рост производительности и безопасность шахтерского труда, качественную, глубокую переработку угля с получением продукта с высокой добавленной стоимостью.

«Кузбасский международный угольный форум-2011» содействует дальнейшему развитию угольной отрасли региона, представив на выставочной экспозиции лучшие образцы горного машиностроения, новые разработки в обеспечении безопасности труда горняков и инновационные технологии академической и отраслевой науки.

Живое деловое общение руководителей и специалистов угольных предприятий с представителями властных структур, бизнеса и науки в рамках деловой и научной программы Форума позволит определить и скоординировать дальнейшие направления деятельности по развитию угольной промышленности на благо Кузбасса и России.

Убежден, работа «Кузбасского международного угольного форума» станет полезной не только для Кузбасса, но и для других угледобывающих регионов страны.

Желаю всем участникам плодотворных переговоров, взаимовыгодных контрактов и общего успеха выставочному движению!

С уважением,
Губернатор Кемеровской области

А.М.Тулеев

**УВАЖАЕМЫЕ УЧАСТНИКИ И ГОСТИ!
ДАМЫ И ГОСПОДА!**



От имени администрации города и всех кемеровчан приветствую вас в областном центре шахтерского края и поздравляю с началом работы международного угольного форума.

По сложившейся традиции в четырнадцатый раз областной центр Кузбасса, главного угледобывающего региона России, принимает многочисленных представителей топливно-энергетического комплекса страны, ближнего и дальнего зарубежья. Угольный форум по праву является частью деловой жизни города.

Форум предоставляет специалистам возможность ознакомиться с разработками высокоэффективных технологий угледобычи и углеобогащения, обеспечения безопасности шахтерского труда, с конъюнктурой на рынке угольной продукции и горного оборудования, установить новые деловые связи и взаимовыгодные отношения с товаропроизводителями.

Четыре года назад мы отмечали столетие Кемеровского рудника, в текущем году 90-летие создания Автономной индустриальной колонии «Кузбасс», ставшей примером международного сотрудничества в освоении природных богатств Кузнецкой земли. За последнее время в нашем городе начали деятельность Бизнес-инкубатор Кузбасского технопарка и Институт углехимии и химического материаловедения СО РАН. Идет плодотворная работа по развитию Кемеровского Угленаукограда.

Для города Кемерово данное событие связано с надеждой на придание положительного импульса в развитие научного потенциала и предприятий топливно-энергетического, машиностроительного комплексов, вносящих свой вклад в укрепление позиций топливной промышленности как основы энергетической безопасности страны. Это Кузбасский государственный технический университет, Институт угля и углехимии СО РАН, ОАО «Кузбассгипрошахт», ОАО «Кемеровский экспериментальный завод средств безопасности», ОАО «Кокс», ОАО «Кемеровский механический завод», ООО ПО «Кузбассэлектромотор», ООО «Фалар», Кузбасская вагоностроительная компания, Кедровский угольный разрез и многие другие.

Уверен, что международный угольный форум в нашем городе пройдет как всегда на высоком уровне, эффективно и с хорошей практической отдачей для участников.

Желаю Вам успехов в реализации намерений, творческой работы, взаимовыгодных контрактов и приятного пребывания в нашем городе.

Здоровья Вам, добра и удачи!

С уважением,
Главы города Кемерово

В.В.Михайлов

**УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!
ДАМЫ И ГОСПОДА!**



От имени Сибирского отделения Российской академии наук и Кемеровского научного центра СО РАН приветствую и поздравляю вас с открытием в Кемерове очередного Кузбасского международного угольного форума!

Кемеровский научный центр СО РАН является соорганизатором XIII международной научно-практической конференции «Энергетическая безопасность России: новые подходы к развитию угольной промышленности», которая пройдет в рамках деловой и научной программы Форума.

Мы придаем этой конференции большое значение как одной из трибун для научного обоснования модернизации экономики Кемеровской области и ее перевода на инновационную траекторию развития.

Особую значимость приобретает конференция в этом году в связи с началом проработки нового проекта – строительства в городе Кемерово Кемеровского Угленаукограда, специализированного подразделения СО РАН, которое будет заниматься развитием угольной науки страны. Надеемся, что среди участников форума Кемеровский научный центр СО РАН найдет своих единомышленников и деловых партнеров, которые включатся в работу по реализации этого грандиозного проекта.

В рамках конференции впервые мы проведем международный симпозиум «Углекислотная и экология Кузбасса», который подготовили ученые и специалисты вновь созданного Института углекислотной и химического материаловедения СО РАН, входящего в Кемеровский научный центр СО РАН.

В ходе пленарного заседания и на тематических секциях конференции мы обязательно обсудим первые результаты реализации решений I Всемирного горного конгресса, прошедшего в Кемерове четыре месяца назад, и продолжим обсуждение поднимавшихся на нем вопросов уже с учетом реалий сегодняшнего дня.

По итогам работы конференции будет издан сборник трудов, а лучшие доклады будут поощрены Дипломами Оргкомитета.

Уверен, что участники Форума и конференции получат полезную информацию о текущем положении дел в угольной промышленности Кузбасса и России, обменяются положительным опытом в решении имеющихся проблем, эффективно прорекламируют свои научные разработки, продукцию и услуги, найдут новых деловых партнеров для экономического развития своих предприятий.

Желаю всем участникам плодотворной и успешной работы!

С уважением,

**Председатель Кемеровского
научного центра СО РАН
академик РАН**

A handwritten signature in dark ink, appearing to read 'А.А. Конторович'.

А.А.Конторович

**УВАЖАЕМЫЕ КУЗБАССОВЦЫ!
УВАЖАЕМЫЕ УЧАСТНИКИ И ГОСТИ ФОРУМА!
ДАМЫ И ГОСПОДА!**



От имени коллектива Кузбасской выставочной компании «Экспо-Сибирь» рад приветствовать Вас на мероприятиях «Кузбасского международного угольного форума-2011», который уже в 14 раз становится традиционным местом встречи специалистов угольной промышленности, горного машиностроения, отраслевой, академической и вузовской науки.

Угольная промышленность является важнейшей составляющей топливно-энергетического комплекса России. Ее основная задача – обеспечение энергетической безопасности страны, повышение эффективности угледобычи и конкурентоспособности углепродукции за счет технико-технологического перевооружения действующих производств и строительства новых высокотехнологичных шахт, разрезов, углеобогачительных и углеперерабатывающих предприятий.

Кузбасс – главный угольный бассейн России. Ежегодное проведение угольного форума в г. Кемерово способствует успешному развитию российской угольной отрасли, помогает решать многие задачи. Это и безопасность шахтерского труда, и дополнительное привлечение инвестиций, и оснащение угольных предприятий современной техникой и технологиями, и глубокая переработка угля, и добыча метана из угольных пластов, и подготовка специалистов, и углесбыт, и углеэнергетика. Многие новые научные разработки, технологии и продукция, представленные впервые на форуме в городе Кемерово, проходят практическую апробацию именно в Кузбассе, активно развивающем межрегиональное и международное сотрудничество.

Крупными событиями для специалистов угольной отрасли станет проведение в рамках открывающегося форума XIV международной научно-практической конференции «Энергетическая безопасность России: новые подходы к развитию угольной промышленности» и Всероссийской молодежной конференции «Проблемы недропользования в угольной промышленности». Убежден, совместное обсуждение производственными и учеными актуальных вопросов угольной отрасли с точки зрения обеспечения энергетической, производственной и экологической безопасности, обмен опытом в решении этих проблем поможет модернизировать горное производство, разработать и внедрить безопасные технологии добычи угля, повысить роль угля в энергетическом балансе страны. Мероприятия научно-деловой программы форума создадут необходимые условия для активизации информационного обмена и оптимизации переговорных процессов между участниками.

Коллектив Кузбасской выставочной компании «Экспо-Сибирь» искренне желает всем участникам и гостям форума эффективной работы, результативных переговоров о сотрудничестве, долгосрочных и взаимовыгодных контрактов.

Добра и благополучия вам и Вашим семьям!

С уважением,

**Генеральный директор
КВК «Экспо-Сибирь»**

С.Г.Гржелецкий

СЕКЦИЯ I: ОБЪЕДИНЕННЫЕ СЕКЦИИ «ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ В УГОЛЬНОЙ ОТРАСЛИ» И «ПРОБЛЕМЫ УГОЛЬНОГО МЕТАНА: МЕТАНОБЕЗОПАСНОСТЬ УГОЛЬНЫХ ШАХТ, ИЗВЛЕЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТАНА»

УДК 622.272.334

О НЕОБХОДИМОСТИ УВЛАЖНЕНИЯ ВОЗДУХА, ПОДАВАЕМОГО В ШАХТЫ

*Вершинин С.Н. с. н. с. Институт углехимии и химического материаловедения
СО РАН, г. Кемерово*

*Исмагилов З.Р. директор Институт углехимии и химического материаловедения
СО РАН, г. Кемерово*

Показано влияние температуры наружного воздуха на относительную влажность атмосферы в угольных шахтах. России. Сделан вывод о влиянии пониженной относительной влажности воздуха на возникновение эндогенных пожаров.

Authors showed that the outdoor temperature influences relative humidity of the atmosphere in coal mines of Russia. They concluded that relative low air humidity can provoke endogenous fire.

Количество наиболее опасных аварий - пожаров и взрывов в угольных шахтах за последние годы остается практически на одном уровне. Например, частота возникновения эндогенных пожаров в шахтах России также остаётся достаточно стабильной величиной. Возможно, на самовозгорание угля влияют и другие факторы, кроме технологии добычи, количества и качества оборудования.

Причина эндогенных пожаров установлена достаточно давно и надёжно. При определенных условиях кислород воздуха начинает окислять поверхность угля. В результате химических реакций уголь разогревается, что способствует ускорению реакций окисления и, далее, процесс переходит в пламенное горение. Для борьбы с такими пожарами уголь обрабатывают различными реагентами, изолируют опасные участки от доступа воздуха, подают в опасную зону инертный газ и прочее.

Во всех работах, посвящённых борьбе с эндогенными пожарами авторы принимают во внимание в основном свойства угля и учитывают только температуру воздуха, поступающего в шахту. Следует отметить, что относительная влажность воздуха также заслуживает внимание. Объемы воздуха, поступающие в шахту, достигают сотен тысяч кубических метров в час. Такое количество может заметно повлиять на характер некоторых процессов в шахтах. Изменение относительной влажности воздуха особенно заметно в разные периоды года. Известно, что относительная влажность воздуха при его нагреве уменьшается, а при охлаждении - увеличивается. Воздух, подаваемый в шахту зимой, специально нагревают. В процессе движения по выработке воздух дополнительно нагревается до температуры стенок шахты и частично увлажняется при соприкосновении с водой, постоянно присутствующей в шахтах. Летом он наоборот охлаждается, и избыток влаги конденсируется на поверхности выработок. Для анализа и расчётов изменения влажности достаточно сравнить температуру атмосферы в шахтах и наружного воздуха. В таблице 1 приведены среднемесячные температуры для некоторых угледобывающих районов России и Украины [1].

Таблица 1

Средняя месячная температура в некоторых районах добычи угля [1]

Регион, Город	Средняя температура, °С											
	М е с я ц ы											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII

Кемерово	-19,2	-17	-10,6	0	9,2	15,8	18,4	15,5	9,3	1,1	-9,8	-17
Киселёвск	-17,7	-15,9	-9,1	1	9,6	16	18,3	15,7	9,7	1,7	-9	-15,6
По Кузбассу в целом среднегодовая по области в отдельных районах от -1,4 до +0,4 °С												
Абсолютно максимальная +38 °С, абсолютно минимальная – 55 °С												
Южно-Сахалинск	-13,8	-12,3	-7	1,2	6,2	10,8	15,5	17,3	14	6	-2,2	-9,1
Холмск	-9,4	-8,3	-4,1	2,4	6,7	11,1	15,7	18	14,4	7,9	0	-6
Долинск	-13,4	-12,1	-6,7	0,9	5,9	10,6	15,4	17,2	13,1	6,3	-2,2	-8,9
по Сахалину в целом среднегодовая по области в отдельных городах от -2,4 до +4,6 °С												
Абсолютно максимальная +38 °С, абсолютно минимальная – 53 °С												
Донецк	-6,6	-6,2	-1	7,9	15,4	18,8	21,6	20,4	15	7,9	0,9	-4,2
Средняя по году +7,5 °С												
Абсолютно максимальная +40 °С, абсолютно минимальная – 37 °С												

Температура воздуха в самих шахтах в течение года практически не меняется. Разница температуры в большинстве отдельных шахт также незначительна. В таблице 2 приведена температура подземных выработок некоторых российских шахт [2].

Таблица 2

Температура в выработках шахт

Шахта, дата замера	Подземный участок разреза «Сибиргинский» (Кузбасс) 27.08.2004 г	шахта им. Ленина (Южный Кузбасс) 22.02.2005 г	ЗАО «Солнцевское» (Сахалин) 31.01.2005 г
Температура, 0С	+13 ↔ +14	+ 13 ↔ +15	+12 ↔ + 13

Из приведенных в таблице данных видно, что в Кузбассе перепад температур в шахте и на поверхности может достигать 70 0С, причем принципиальной разницы по всей территории России не наблюдается и все сделанные далее расчеты подходят для анализа ситуация в целом по стране.

Минимальная температуры подаваемого в шахту воздуха равна + 20С. По данным СНиП видно, что в России для нормальной работы шахт приходится нагревать вентиляционный воздух в течение длительного времени. В Кузбассе – не менее шести месяцев в году. Кроме того, в течение трех - четырех месяцев температура наружного воздуха хоть и выше 0 0С, но всё же ниже, чем в шахтах. Воздух, попадая в шахту, нагревается, после чего он имеет относительную влажность меньше 100%. Необходимые для расчётов данные по парциальному давлению водяного пара взяты из справочника [5] и приведены в таблице 3

Таблица 3

Парциальное давление водяного пара при разных температурах

Температура, °С	-39,8	-17,4	0	+2	+5	+10	+13	+15	+20
Давление паров воды, мм. рт. ст.	0,1	1,0	4,71	5,47	6,76	9,5	11,63	13,22	18,09

При расчетах принято допущение что, нагреваемый воздух имеет первоначальную относительную влажность 100%, хотя на практике она всегда несколько ниже, воздух выходящий из шахты, также имеет относительную влажность 100%, давление воздуха в выработке равно его давлению на поверхности.

Легко рассчитать, что естественный подогрев воздуха от минимально допустимой температуры подаваемого в шахту воздуха (+ 20С) до температуры внутри шахты при его движении по выработкам, неизбежно приведёт к

уменьшению его относительной влажности [6]. Давление водяного пара при 2 0С – 5,29 мм.рт.ст.; при 14 0С – 12,3 мм.рт.ст. При нагреве воздуха 100% влажности от +2 до 14 0С его объем увеличится в 1,044 раза, соответственно, давление пара станет равным 5,067 мм.рт.ст. Относительная влажность воздуха будет равна 41,2%.

При нагреве до 15 0С объем увеличится в 1,047 раза. Давление пара понизится до 5,053 мм.рт.ст. При этой температуре равновесное давление водяного пара равно 13,22 мм.рт.ст. Следовательно относительная влажность нагретого воздуха будет равна 38,2 %. Следовательно, даже при условии 100 % влажности воздуха, нагретого до 2 0С, его относительная влажность при дальнейшем нагреве до температуры выработок может уменьшиться примерно до 40%.

Для дальнейших расчетов за начальную температуру приняли -40 0С. При нагреве воздуха от -40 0С до +2 0С его влажность падает от 100 до 1,5%. При дальнейшем нагреве до температуры шахты (принята 15 0С) влажность становится равной 0,6%. Для других условий расчета влажность нагретого, подаваемого в шахту воздуха будет отличаться, но принципиально картина не изменится. Следовательно, в холодное время года вентиляционный воздух значительно «подсушивает» шахту и выносит в атмосферу заметное количество воды. Эту величину достаточно легко оценить.

При начальной температуре воздуха -40 0С и конечной +15 0С, каждая тысяча кубометров подаваемого в шахту воздуха выносит из нее в виде пара 13,2 кг воды. Непрерывная, длительная подача практически сухого воздуха сушит стенки выработок, отдельные участки обрушенного пространства, что может привести к авариям. Влажный уголь естественно не загорается. Для начала процесса разогрева его необходимо подсушить. Сухая угольная пыль легко переходит во взвешенное состояние. Уже при относительной влажности менее 75% связывание пыли становится неэффективным даже при применении гигроскопических солей- хлоридов кальция или магния [3]. Сухой уголь более активно взаимодействует с кислородом [4, 10], легче разогревается, следовательно, увеличивается вероятность эндогенных пожаров. Кроме того, сухой уголь, как и всякий диэлектрик накапливает заряды статического электричества, которые в любое время могут привести к образованию искр. В свете вышеизложенного становится более понятным, почему наиболее часто аварии, связанные с эндогенными пожарами происходят в холодное время, после длительной подачи подогретого, «сухого» воздуха. Авторы работы [7] приводят результаты двадцатилетних наблюдений Прокопьевско - Киселевского района Кузбасса. В таблице 4 приведены их статистические данные по подземным эндогенным пожарам в этом районе. Аналогичная закономерность влияния температуры воздуха на возникновение эндогенных пожаров установлена и в других районах Кузбасса.

Таблица 4

Статистические данные по подземным эндогенным пожарам в Прокопьевско - Киселевском районе

Параметр	Месяцы			
	III - V	VI - VIII	IX - XI	XII - II
Относительная частота пожаров	2,458	1,064	2,625	2,583

Эта закономерность относится практически ко всем районам добычи угля в России.

На примере Донецка видно, что «отопительный» сезон в этом, по Российским меркам теплом районе, превышает три месяца. Еще минимум три месяца температура атмосферного воздуха ниже, чем температура в шахтах, даже российских. Если учесть, что температура в глубоких шахтах Украины выше чем в российских, легко сделать выводы, что относительная влажность воздуха в украинских шахтах в течение длительного времени (не менее половины года), также заметно меньше 100%. Следовательно, в украинских шахтах вероятность появления эндогенных пожаров достаточно велика. Относительная влажность 100% в шахтах будет достигаться только при условии, что температура подаваемого воздуха будет без подогрева заведомо выше, чем температура шахты [6]. В условиях России, например Кузбасса, этот срок не превышает трех месяцев. Закономерность, полученная в расчетах, подтверждаются данными ВГСЧ Кузбасса.

В сентябре 1988 г сотрудниками семнадцатого ОВГСО проведены воздушно - депрессионные съемки на шахте «Хакасская» ПО Красноярскуголь» [8]. Во время съемок делались замеры температуры и влажности й атмосферы шахты. Непосредственно в лавах температура была равна 11 0С, относительная влажность изменялась от 86 до 91%. Средняя температура сентября в г. Минусинске, находящемся недалеко от этой шахты равна 9,9 0С, т.е. ниже температуры в шахте. При фактическом объеме вентиляции 3276 м3/мин даже такая невысокая разность температур способствует выносу из шахты 0,698 кг воды на 1000 м3 воздуха или 2,29 кг в минуту. При расчетах, как и раньше, сделано допущение, что атмосферный воздух и выходящий из шахты имеет влажность 100%.

Аналогичные съемки, проведенные в шахте «Физкультурник» ПО «Северокузбассуголь» показали, что температура в выработках изменяется от 14 до 21 0С, влажность от 85 до 92% [9]. Температура на поверхности во время измерений была -15 0С. Во время съемок в шахту «Физкультурник» поступало 132,8 м3/сек. без учета обособленного проветривания очистных и подготовительных забоев. Легко рассчитать, что для достижения влажности 85% у воздуха, подогреваемого от – 15 до + 14 0С необходимо испарить 12,75 кг воды на 1000 м3. Это соответствует 146 тонн воды в сутки. Приведенный расчет сделан для минимальной разницы температуры, взятых из отчета. Если взять максимальные цифры, тогда количество воды, необходимое для достижения влажности 91% при 21 0С, равно 20,25 кг на 1000 м3 атмосферного воздуха, что соответствует 232 тонны воды в сутки.

Для юга России закономерность по перепадам температур также сохраняется. Например, летом температура воздуха в шахте «Замчаловский антрацит» достигает 22 0С. Эта температура, возможно, является обычной для данной шахты в течение года. Среднемесячная температура в Ростовской области в течение 9 месяцев ниже температуры воздуха в шахте. Это означает, что без дополнительного увлажнения подаваемого в шахту воздуха в течение всего этого срока происходит подсушка угля в выработках шахты.

Следует отметить, что отсутствием принудительного увлажнения подаваемого в шахту воздуха можно объяснить и увеличение опасности ведения горных работ с увеличением их глубины. Температура выработок растет с глубиной. Следовательно, в глубоких выработках заметнее уменьшается и относительная влажность воздуха, что приводит к ускоренной сушке горной породы, в том числе и угля. Соответственно, увеличивается вероятность самовозгорания угля.

Исходя из изложенного, можно сделать вывод, что повышение относительной влажности подаваемого в шахту воздуха до 100 % может привести к уменьшению риска возникновения эндогенных пожаров.

ВЫВОДЫ

Анализ литературы и расчёты показывают, что для уменьшения вероятности появления эндогенных пожаров и связанных с ними последствий необходимо увлажнять воздух, подаваемый в шахты до относительной влажности 100%. Необходимое количество воды для увлажнения зависит от температуры наружного воздуха и может достигать 20 кг на тысячу кубических метров. Если учесть, что далеко не вся, подаваемая распылителями, вода испарится, то количество воды, подаваемой в распылители, надо увеличить в 2-3 раза. Кроме того, подачу воды необходимо рассредоточить, т.е. внутри шахты необходимо ставить дополнительные распылители воды (водяные заслоны) по мере нагрева воздуха в шахте.

Литература

1. Строительные нормы и правила 2.01.01-82 Строительная климатология и геофизика. М. Государственный комитет по делам строительства, 1983 г.
2. Данные из рапортов диспетчера ВГСЧ.
3. Прокопенко Б.В. К вопросу о связывании угольной пыли в шахтах. // Разработка месторождений полезных ископаемых.- Киев, : Техника.- 1968, С.105-107.
4. Менковский М.А., Журавлев В.П., Волкова В.П., Лихарев Ю.Д. Адсорбция кислорода на ископаемых углях/ Химия твердого топлива 1975, № 3, С. 82-86.
5. Справочник Химика: Т. 1.- М.-Л. Издательство химической литературы, 1972.- 1071 с.
6. Амелин А.Г. Теоретические основы образования тумана при конденсации пара.- М: Химия, 1972.- 304 с.
7. Белавенцев Л.П., Васильченко Н.К., Быкова З.С., Каминский А. Я. Термодинамический способ предупреждения эндогенных пожаров в шахтах // Повышение безопасности на угольных предприятиях. Кемерово.- 1985, С. 13-15.
8. Отчет по воздушно - депрессионной съемке к расчету вентиляционных сети шахты «Хакасская» ПО «Красноярскуголь».- Кемерово, 1988,- 34 с.
9. Отчет по воздушно-депрессионной съемке и расчету вентиляционной сети шахтоуправления «Физкультурник» ПО «Северокузбассуголь». Кемерово, 1988. 33 с.
10. Соколов Э.М., Рыжикова Н.Г., Круль Л.А. Генерация углекислого газа в выработанных пространствах шахт// Известия высших учебных заведений, Горный журнал 1975 г.- №7 С. 61-64

ПУТИ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ БОРЬБЫ С ГЕОДИНАМИЧЕСКИМИ ЯВЛЕНИЯМИ В ШАХТАХ

В. С. Зыков, д. т. н., проф., ведущий научный сотрудник ИУ СО РАН

Разработка большинства угольных шахтопластов России и Кузбасса сопряжена с опасностью проявления геодинамических явлений, представляющих собой, в соответствии с «Российской угольной энциклопедией» [1], результат обмена энергией в блочном массиве горных пород, разрушающемся в условиях существующего или возникающего предельно напряженного состояния. Термин, согласно энциклопедии, объединяет группу динамических и газодинамических явлений, физическая природа которых основана на хрупком разрушении угольных пластов и боковых пород силами горного и газового давления в процессе ведения горных работ, а также выбросы газа в горные выработки.

В докладе обозначены направления решения проблемы геодинамических явлений в шахтах (ГДЯШ), которые предстоит решить на этих направлениях (рис. 1), и сведения о ходе решения этих задач (рис. 2).

1. Повышение эффективности дегазации угольных пластов

Данное направление является одним из наиболее злободневных. Это связано с тем, что газовый фактор является определяющим в возникновении аварийных ситуаций на угольных шахтах, а также основным фактором, препятствующим увеличению производительности подготовительных и очистных работ.

Направление включает следующие задачи:

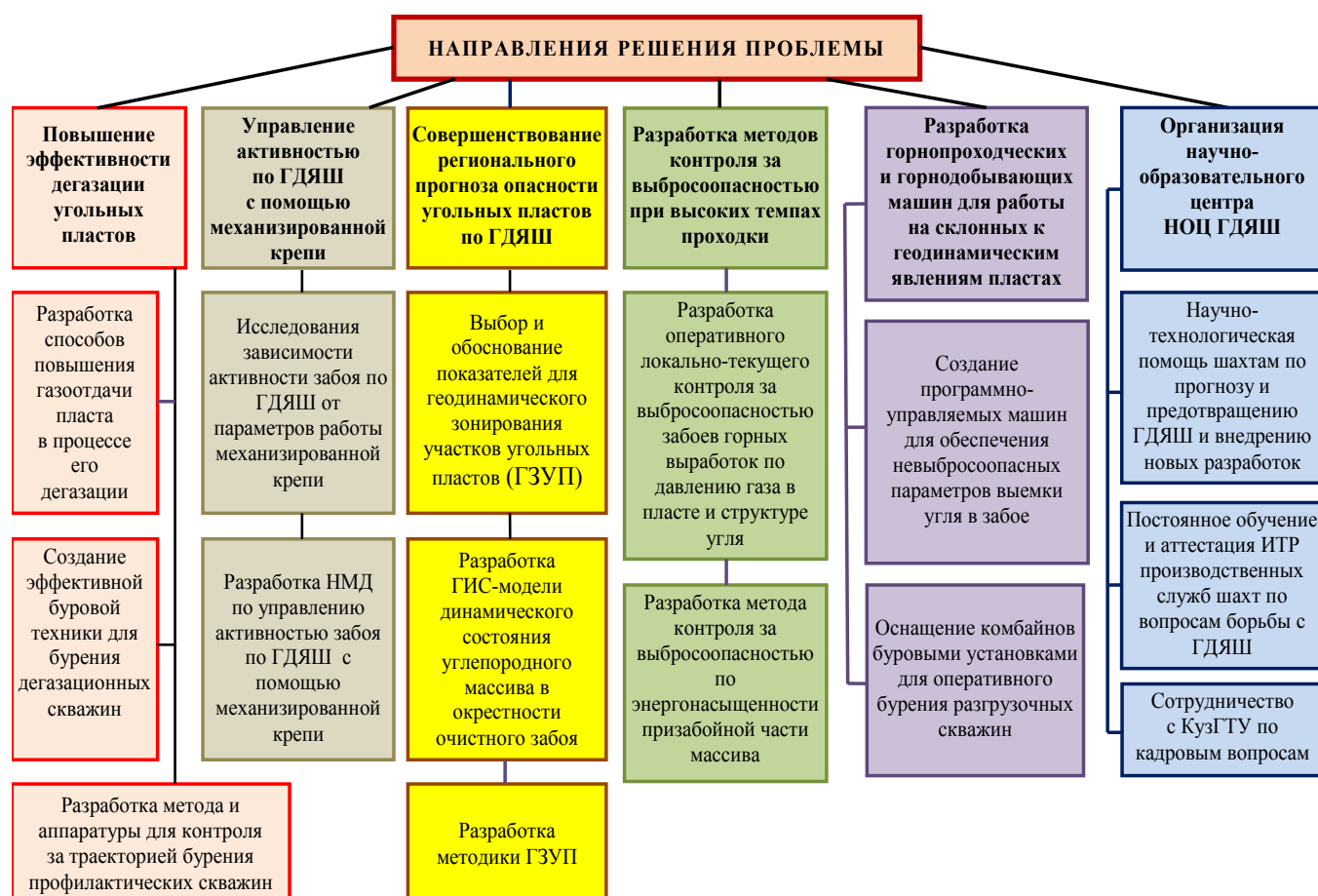


Рис. 1. Пути решения проблемы борьбы с геодинамическими явлениями в шахтах

№ П/П	НАПРАВЛЕНИЯ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ	ЗАДАЧИ	СВЕДЕНИЯ О ВЫПОЛНЕНИИ ЗАДАЧ
1.	Повышение эффективности дегазации угольных пластов	Разработка способов повышения газоотдачи пласта в процессе его дегазации	Разработан проект «Руководства по применению способа повышения интенсивности газовыделения в пластовые дегазационные скважины»
		Создание эффективной буровой техники для бурения дегазационных скважин	
		Разработка метода и аппаратуры для контроля за траекторией бурения профилактических скважин	
2.	Управление активностью по ГДЯ с помощью механизированной крепи	Исследования зависимости активности забоя по ГДЯ от параметров работы механизированной крепи	Доказана зависимость исследованиями на шахте «Первомайская в лаве № 33
		Разработка НМД по управлению активностью забоя по ГДЯ с помощью механизированной крепи	
3.	Совершенствование регионального прогноза опасности угольных пластов по ГДЯ	Выбор и обоснование показателей для геодинамического зонирования участков угольных пластов (ГЗУП)	Выполнено (рис. 3 и 4)
		Разработка ГИС-модели динамического состояния глепородного массива в окрестности очистного забоя	Находится в разработке
		Разработка методики ГЗУП	
4.	Разработка методов контроля за выбросоопасностью при высоких темпах проходки	Разработка оперативного локально-текущего контроля за выбросоопасностью забоев горных выработок по давлению газа в пласте и структуре угля	Разработан способ оперативного измерения давления газа в угольном пласте (рис. 5)
		Разработка метода контроля за выбросоопасностью по энергонасыщенности призабойной части массива	Имеется положительный результат шахтного эксперимента (рис. 6)
5.	Разработка горнопроходческих и горнодобывающих машин для работы на склонах к газодинамическим явлениям в пластах	Создание программно-управляемых машин для обеспечения невыбросоопасных параметров выемки угля в забое	Скорректирован алгоритм расчета невыбросоопасных параметров
		Оснащение комбайнов буровыми установками для оперативного бурения разгрузочных скважин	Разработаны необходимые параметры разгрузочных скважин
6.	Организация научно-образовательного центра техногенных геодинамических явлений (НОЦ ТГЯ)	Научно-технологическая помощь шахтам по прогнозу и предотвращению ГДЯ и внедрению новых разработок	Имеется часть нормативной базы и наработки по ее дополнению
		Постоянное обучение и аттестация ИТР производственных служб шахт по вопросам предупреждения ГДЯ	Имеются апробированные программы обучения
		Сотрудничество с КузГТУ по кадровым вопросам	Имеется договоренность с кафедрами

Рис. 2. Состояние решения задач по направлениям решения проблемы борьбы с ГДЯШ

1.1. Разработка способов повышения газоотдачи пласта в процессе его дегазации

Приказом от 5 июля 2007 года № 451 руководителя Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору «Об аварии в филиале «Шахта Ульяновская» ОАО «ОУК «Южкузбассуголь» запрещено «с 01.05.2007 проектирование отработки пластов угля без предварительной дегазации с природной газоносностью более 9,0 м/т». Но для большинства шахт данная задача невыполнима, так как угольные пласты на значительных глубинах разработки в условиях объемного сжатия имеют низкую газопроницаемость. Чтобы решить поставленную задачу, надо научиться так воздействовать на угольный пласт, чтобы он интенсивно отдавал газ.

С учетом результатов проведенного поиска, анализа научных публикаций и имеющихся материалов научных исследований и практического опыта выбраны в качестве наиболее реальных на настоящий момент 2 способа воздействия на угольный пласт – гидроимпульсное нагнетание и флюидоразрыв.

Для оценки эффективности выбранных способов необходимо проведение их опытно-промышленной проверки. С этой целью разработан проект руководства по применению способа повышения эффективности газовыделения в пластовые дегазационные скважины, который может использоваться как основа для выполнения проверки.

Необходимо вести исследования и по другим направлениям воздействия на угольный массив с целью раскрепостить содержащийся в нем газ для обеспечения свободного его поступления в дегазационные скважины. Здесь необходимы фундаментальные исследования, в том числе на уровне нанотехнологий, по повышению интенсивности и объема газоотдачи пласта в дегазационные скважины за счет определенного воздействия на десорбционные свойства угля. Можно гипотетически представить применение для этой цели каких-либо немеханических способов воздействия на массив, например, химического, электромагнитного и т. п. Необходимо вести поиск по всем возможным направлениям с использованием теоретических и экспериментальных лабораторных и натурных исследований.

1.2. Создание эффективной буровой техники для бурения дегазационных скважин

Дегазационные скважины для предварительной пластовой дегазации выемочных столбов бурятся из оконтуривающих выемочный столб подготовительных выработок на всю ширину столбов, которая на современных шахтах достигает более 300 м. Как правило, при применении существующих буровых установок, в том числе зарубежного изготовления, в сложных горно-геологических условиях шахт Кузбасса на значительных глубинах удается пробурить дегазационные скважины лишь на половину или несколько более необходимой их длины.

Некоторыми зарубежными компаниями предлагаются технологии и мощное оборудование для направленного бурения скважин с поверхности. Но такое бурение остается невостребованным шахтами. Для этого есть следующие причины. Во-первых, регламентируемые нормативными документами схемы дегазации разработаны для условий бурения из оконтуривающих выработок, когда дегазационные скважины бурятся из равномерно расположенных по длине одной из оконтуривающих выемочный столб выработок параллельно друг другу или веерами. Осуществить такую схему бурения с поверхности очень трудно. Поэтому необходимы специальные исследования по разработке способов и схем дегазации именно для направленного бурения с поверхности, их основательная шахтная проверка и разработка соответствующей нормативно-методической базы.

Во-вторых, экономически бурение дегазационных скважин с поверхности с перебуриванием залегающей над пластом толщи пород невыгодно, а направленное бурение из горных выработок пока технически трудно осуществимо.

Более целесообразной представляется создание буровых установок, позволяющих бурить на больших глубинах разработки в сложных условиях Кузбасса дегазационные скважины длиной, соответствующей ширине выемочных столбов, из горных выработок с обеспечением необходимой точности бурения.

Создание такой буровой техники позволило бы вернуться к вопросу совместного применения дегазации и увлажнения угольных пластов. Предварительная дегазация пласта повышает водопроницаемость пласта и делает его увлажнение более эффективным. Данное мероприятие комплексно снижает выбросоопасность и запыленность горных выработок и в разы уменьшает скорость газовыделения из угля в процессе его отбойки, при котором в основном происходят загазовывания выработок.

1.3. Разработка метода и аппаратуры для контроля за траекторией бурения профилактических скважин

При бурении дегазационных скважин следует контролировать их параметры, предусмотренные проектом дегазации участка пласта. В настоящее время реально контролируется лишь диаметр буровой коронки. Но не менее важно контролировать получаемые по факту расстояния между скважинами, при превышении которых будут оставаться недегазированными участки пласта. Также важно осуществлять контроль за направлениями скважин и их длиной. Чтобы осуществлять такой контроль, необходимо иметь фактические траектории бурения скважин.

Для построения траекторий бурения необходимо выполнять инклинометрические съемки. Такие съемки имеют место при бурении разведочных скважин с поверхности, хотя точность их очень низка. Оборудования для их выполнения при бурении из подземных выработок практически не существует.

В то же время на современном уровне развития электронной техники, очевидно, вполне реально разработать аппаратуру для непрерывного мониторинга траектории бурения скважин из подземных шахтных выработок. Траектория должна постоянно регистрироваться и отражаться в памяти компьютера с возможностью ее демонстрации в любой момент времени на мониторе и вывода на печать в плоском или объемном изображении.

2. Управление активностью по ГДЯШ с помощью механизированной крепи

Разрушение массива при реализации геодинамических явлений в очистных забоях происходит в условиях предельно напряженного состояния, которое, в свою очередь, в значительной степени определяется взаимодействием кровли выработки и механизированной крепи. Изменяя параметры этого взаимодействия в нужном направлении, можно уменьшать степень опасности по ГДЯ. В этом направлении ИУ СО РАН предполагает проводить научные исследования и по их результатам разработать соответствующее нормативно-методическое обеспечение.

Поскольку в настоящее время в очистных забоях пологих и наклонных угольных пластов работают мощные механизированные комплексы, защищающие работающих в забоях от каких-либо опасных динамических проявлений со стороны кровли, то стало уделяться мало внимания вопросу управления кровлей. Однако увеличение глубин горных работ показало, что он остается важнейшим при ведении горных работ. Примером послужила отработка пласта XXVII лавой № 33 в ОАО «Шахта «Первомайская» в 2006-2008 годах. Вследствие наличия мощной и прочной основной кровли и ее зависания со стороны отработанного пространства и в указанной лаве, а также наличия зон ПГД вследствие оставления целиков на соседнем пласте создавалась очень высокая нагрузка на механизированную крепь и краевую часть пласта. Механизированная крепь выдержала нагрузку, но начали происходить газодинамические явления в забое лавы, представляющие собой резкие разрушения пласта на кромке забоя с выделением значительных объемов газа и угрожающие безопасности горных работ. Производительность очистного забоя уменьшилась более чем на 50 %. Эти явления имели свои отличительные

особенности. Они не прогнозировались существующими на настоящее время методами. т. к. их возникновение зависит от поведения очень мощной и прочной основной кровли пласта.

Сократить до минимума данные явления удалось благодаря упорядочению работы механизированной крепи и бурению разгрузочных скважин на участках лавы, где происходили явления. Была проведена ревизия работы секций механизированной крепи в лаве и установлено, что значительная часть их не взаимодействовала с кровлей, т. к. давление в гидростойках было близким к нулю. После этого было принято решение о необходимости постоянного контроля за состоянием секций крепи. С этой целью по рекомендации группы экспертов КузГТУ, НЦ ВостНИИ и Кемеровского представительства ВНИМИ, в которую входил автор доклада, была установлена система автоматизированного контроля за работой секций механизированной крепи с выводом данных к дежурному оператору шахты, разработанная томской фирмой «Ильма». Все выявленные неработающие секции были загружены до номинальной нагрузки.

Кроме того, под методическим руководством сотрудников ИГД СО РАН проводился отрыв зависших консолей кровли пласта по границам очистного забоя на максимально возможную величину (до 20 м по вертикали).

Описанные мероприятия позволили снизить геодинамическую активность горного массива в окрестности забоя и повысить его производительность.

3. Совершенствование регионального прогноза опасности угольных пластов по ГДЯШ

В ИУ СО РАН выполняется работа по использованию в региональном прогнозе ГИС-технологий. Организовано новое научное направление по созданию методологии заблаговременного разделения планируемых к отработке участков угольных пластов на зоны с различной степенью геодинамической активности – геодинамического зонирования участков пластов (сокращенно – ГЗУП), отличающегося от геодинамического районирования более детальным выявлением опасных по ГДЯ зон на ограниченных участках пласта, преимущественно в пределах выемочного столба.

В результате анализа выбраны основные, согласно взглядам современных исследователей, показатели степени динамической активности угленосного массива для использования их при создании многоуровневой ГИС-модели, необходимой для решения поставленной задачи.

4. Разработка методов контроля за выбросоопасностью при высоких темпах проходки

В настоящее время очень остро стоит проблема совершенствования текущего прогноза выбросоопасности в направлении повышения его оперативности в связи с резким ростом в последние годы темпов проведения горных работ и ведения очистных работ.

На всем протяжении подготовительных выработок ниже критической по внезапным выбросам угля и газа глубины применяется текущий прогноз выбросоопасности инструментальным методом, требующий остановки забоя через каждые 4 м подвигания, что в настоящее время крайне нетехнологично.

В то же время существует определенный опыт использования для разграничения угольных пластов на опасные и не опасные по внезапным выбросам участки с помощью локального прогноза. Однако используемые для его реализации методы морально устарели, поэтому их применение приостановилось на долгие годы. В настоящее время в ИУ СО РАН планируются работы по совершенствованию локального прогноза. При положительных их результатах можно будет выделять на пластах не опасные по выбросам участки значительной протяженности, на которых текущий прогноз не потребует, что существенно сократит потери времени (а, значит, и простой забоя).

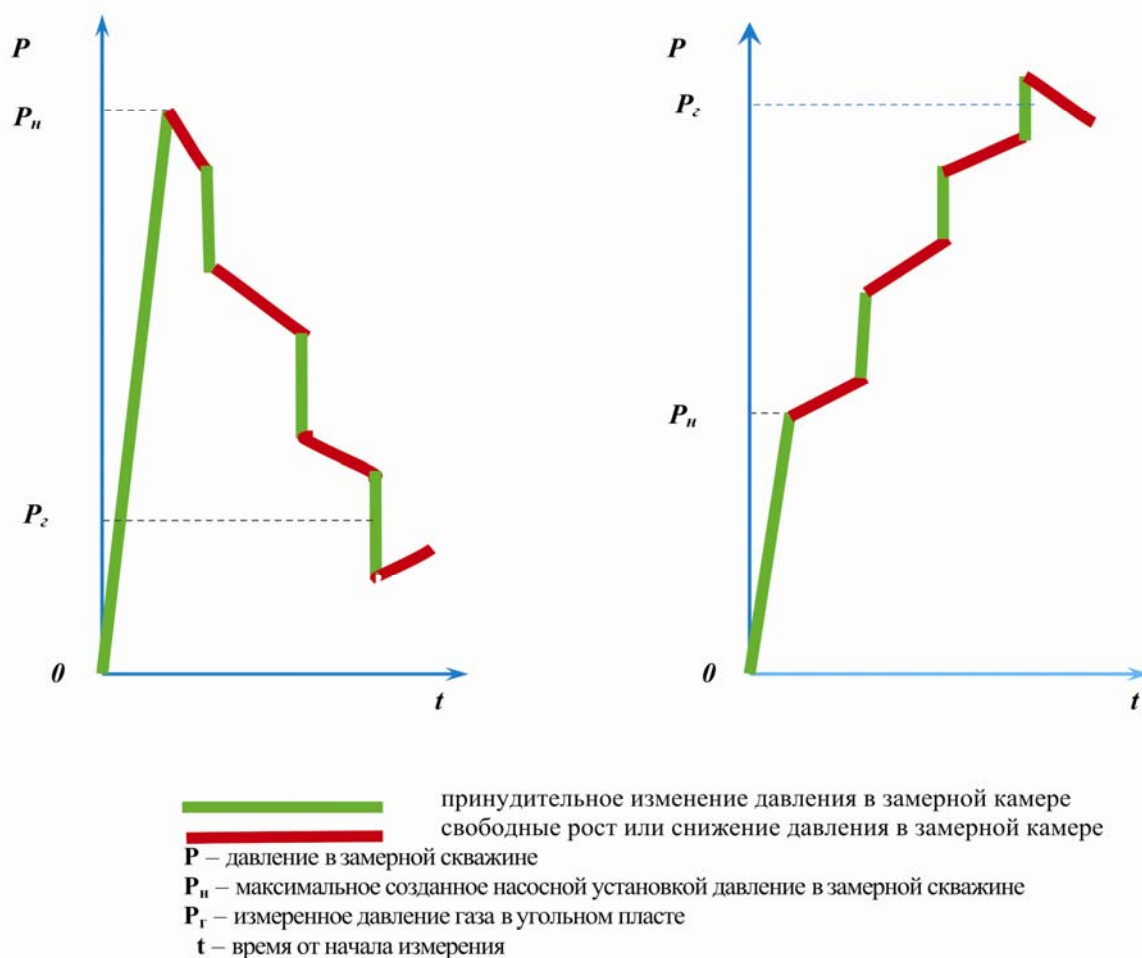
В то же время необходимо и совершенствование текущего прогноза выбросоопасности в направлении его технологичности. Решение этой проблемы возможно в том случае, если для прогноза будут использоваться признаки, непрерывно и автоматически регистрируемые при подвигании выработок. Попытки разработки такого способа прогноза неоднократно делались. При этом использовалась аппаратура контроля метана и аппаратура для регистрации акустической активности призабойной части массива. Однако имеющиеся разработки не обладают точностью и надежностью, позволяющей применять их в качестве самостоятельного способа непрерывного контроля за выбросоопасностью забоев выработок. Необходимо искать новые научные подходы к решению проблемы.

Для такого поиска в качестве отправного пункта можно использовать уточненные представления о предвыбросном состоянии призабойной части угольного массива [2]. В соответствии с этими представлениями перед внезапным выбросом потенциально выбросоопасная пачка угля (совокупность смежных пачек) при достаточно высоком давлении газа в угольном пласте, для измерения которого разработан оперативный способ (рис. 3) [2], находится в «живом», динамичном состоянии, кинетическая энергия смещений массива и энергия сорбции метана переходят в потенциальную энергию нарушенной структуры, идет энергонасыщение массива. И здесь возникает идея при проведении горных выработок с помощью определенной геофизической аппаратуры улавливать признаки высокой энергонасыщенности массива, свидетельствующей о высокой газодинамической опасности зоны.

Первые шаги в данном направлении имеются. Экспериментальными исследованиями на шахтах «Чертинская» и «Новая» показано, что по увеличению показателя активности электромагнитного излучения A

приближение к выбросоопасной зоне устанавливается раньше, чем по изменению других характеризующих выбросоопасность параметров: увеличению максимальной начальной скорости газовыделения из контрольных шпуров g ; увеличению концентрации метана при отбойке угля в забое c ; снижению прочности угля q (рис. 4).

Исследования в данном направлении представляют большую перспективу. Для них нужны современные адаптированные к условиям шахт приборы.



Для реализации способа разработано устройство для замера давления газа в массиве (патент на полезную модель № 64283, КЭЗСБ).

Рис. 3. Способ определения давления газа в угольном пласте

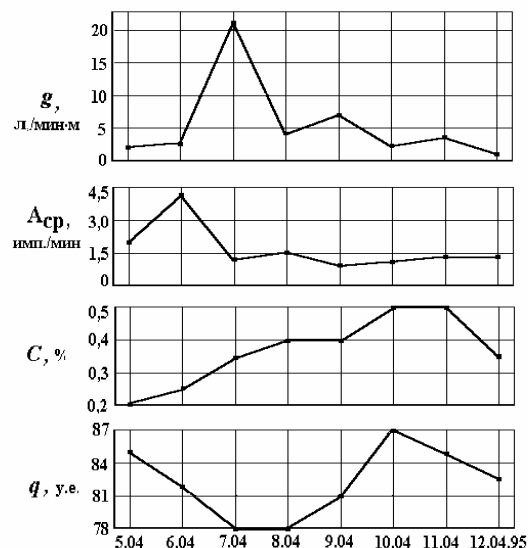
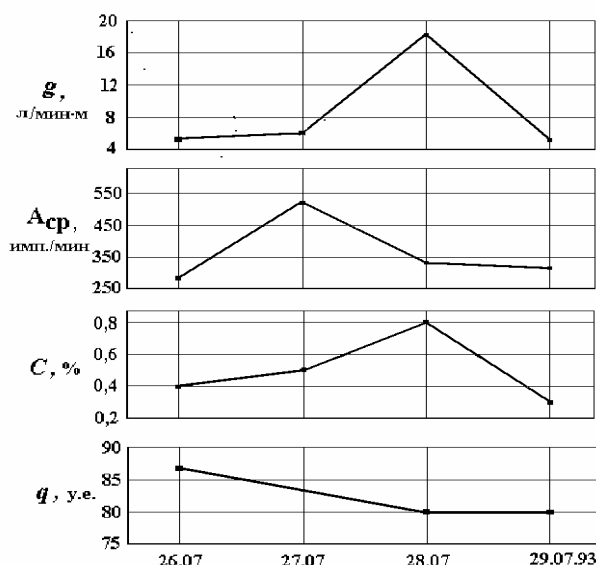


Рис. 4. Сопоставительные графики изменения характеристик выбросоопасности при приближении к выбросоопасной зоне

5. Разработка горнопроходческих и горнодобывающих машин для работы на склонных к газодинамическим проявлениям пластах

В настоящее время практически нет проблемы увеличения добычи угля на пологих и наклонных угольных пластах с точки зрения производительности горной техники. Отечественными и зарубежными производителями разработаны и предлагаются на рынке мощные проходческие комбайны и механизированные комплексы для очистных забоев, обеспечивающие практически любую реальную производительность горных работ. Однако все они имеют существенный изъян. Они не предназначены для отработки газонасыщенных и выбросоопасных угольных пластов.

Необходима разработка горнопроходческих и горнодобывающих машин с программным управлением, обеспечивающим безопасный гибкий режим их работы с уменьшением или увеличением темпа отбойки угля от массива в зависимости от проявления газодинамической реакции пласта на отбойку угля.

В частности, существует технология предупреждения внезапных выбросов угля и газа и внезапных выдавливаний угля с повышенным газовыделением, представляющая собой подвигание забоя выработки с невыбросоопасными параметрами [3, 4]. Ее суть продемонстрирована на рис. 5, где схематично показано изменение зоны влияния выработки на напряженное состояние призабойной части массива x во времени t при движении забоя, начиная от ее величины x_{∞} , соответствующей остановке забоя на длительное (теоретически бесконечное) время.

Для конкретных условий проведения выработки существует критическое значение протяженности зоны влияния выработки $x_{кр}$, соответствующее равенству равнодействующих активных сил, стремящихся разрушить массив, и пассивных сил, препятствующих его разрушению. Если зона влияния уменьшается до величины $x_{кр}$ и менее, то становится возможным внезапный выброс. Так как величина зоны влияния выработки x зависит от параметров подвигания забоя, то, выбирая расчетным методом такие параметры подвигания забоя, при которых x не будет снижаться до $x_{кр}$, можно избежать внезапных выбросов и выдавливаний.

Безопасный режим работы комбайнов можно обеспечить для проходческих комбайнов регулированием диаметра и глубины внедрения в массив рабочего органа, порядком отбойки угля по сечению забоя, скоростью перемещения в плоскости забоя рабочего органа при отбойке угля, а для очистных комбайнов – шириной вынимаемой ленты угля, величиной и стабильностью скорости подвигания комбайна по лаве, порядком подвижки механизированной крепи вслед за комбайном. Необходимо также устанавливать наиболее безопасное распределение циклов отбойки угля во времени.

Для обеспечения невыбросоопасных параметров отбойки угля они должны задаваться программой в зависимости от горно-геологических условий проведения выработки. Желательно, чтобы комбайны могли хотя бы во время осуществления цикла отбойки угля в забое работать как роботизированные механизмы с тем, чтобы рабочие во время этого процесса были выведены из забоя на случай развязывания ГДЯ. При проектировании комбайнов необходимо компоновать их с достаточно мощной буровой установкой для бурения коротких (до 20 м)

опережающих (разгрузочных) скважин, которые наиболее часто применяется в качестве локального способа предотвращения ГДЯ. Это позволит исключить требующие больших затрат времени процессы разминировки комбайна и буровой установки.

При высокой производительности буровой установки, удобно вмонтированной в комбайн, можно при небольшой мощности потенциально выбросоопасной пачки практически выбуривать в ней опережающую забой щель и тем самым быстро снимать газодинамическую активность забоя, предупреждая как выбросы, так и загазирования выработок. Установка позволит оперативно бурить и другие необходимые скважины.

Созданию комбайнов для работы на выбросоопасных пластах должна предшествовать научная проработка данного вопроса с выходом в виде технического задания на их проектирование и изготовление.

6. Образование научного центра техногенной геодинамики

Научный центр техногенной геодинамики целесообразно, с учетом перспективы строительства при Кемеровском научном центре СО РАН Угленаукограда, создать при лаборатории геодинамических явлений в шахтах Института угля со следующими задачами:

оказание научно-технологической помощи шахтам Кузбасса при внедрении и применении комплекса мер по предупреждению ГДЯШ;

внедрение новых разработок в области предупреждения геодинамических явлений;

постоянное обучение и аттестация работников служб (групп) предупреждения газодинамических явлений;

сотрудничество с КузГТУ по вопросам обучения и привлечения к научно-технической деятельности центра студентов.

Проблема повышения безопасности по геодинамическим явлениям на шахтах Кузбасса является очень наукоемкой. Она требует постоянного научно-технического сопровождения горных работ, заключающегося в непрерывном отслеживании поступающей информации об условиях их ведения, ее анализа и выработки по его результатам решений, предупреждающих проявление различных техногенных опасностей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Российская угольная энциклопедия. Т. 1 / Н. К. Гринько А., И. Митейко, В. С. Зыков и др. – М.-СПб: ВСЕГЕИ, 2004. – 649 с.
2. Зыков В. С. Внезапные выбросы угля и газа и другие газодинамические явления в шахтах. – Кемерово: ООО «Фирма ПОЛИГРАФ», 2010. – 334 с.
3. Мурашев В. И. Механизм развязывания внезапных выбросов угля и газа в горных выработках // Основы теории внезапных выбросов угля, породы и газа: Сб. науч. тр. – М.: Недра, 1978. – С. 141–162.
4. Зыков В. С., Черкасов В. С., Славолубов В. В. Исследование возможности предупреждения внезапных выбросов при проходке выбором невыбросоопасных параметров подвигания забоя // Сб. науч. тр./ ВостНИИ. – Кемерово, 1996. – С. 64-68.

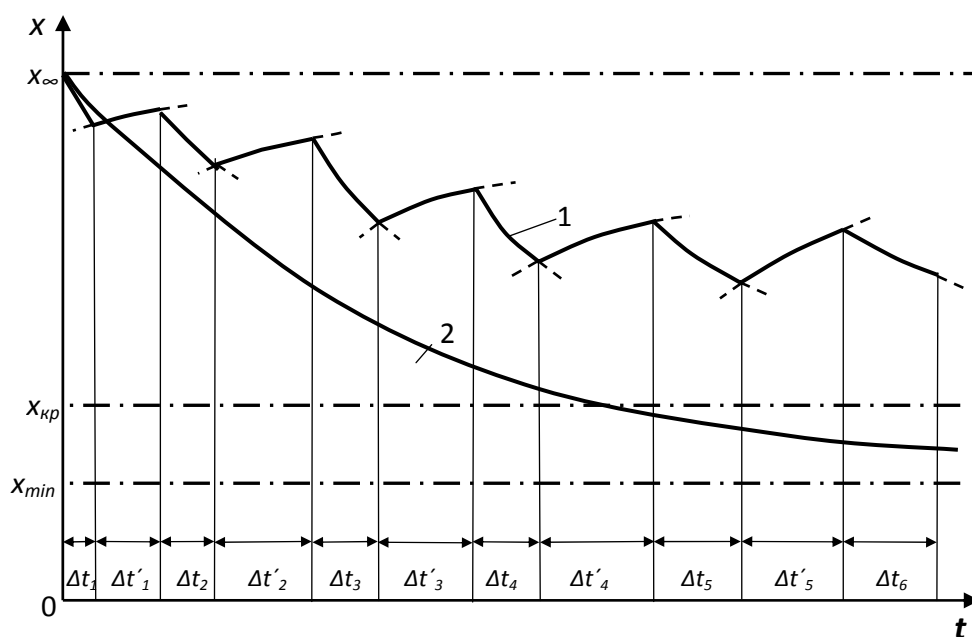


Рис. 5. Изменение во времени протяженности зоны влияния выработки на напряженное состояние призабойной части пласта x в процессе подвигания забоя: 1 – выемка угля заходками; 2 – непрерывная выемка угля

ПРОБЛЕМЫ КЛАССИФИКАЦИИ ТЕХНОГЕННЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ В УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ

*Зыков В.С., д.т.н., проф., вед. науч. сотр., Абрамов И. Л., к.т.н., с.н.с.,
Торгунаков Д. В., вед. инж. (Институт угля СО РАН, г. Кемерово)*

Техногенные динамические явления в угольных шахтах представляют собой внезапно возникающие и протекающие с высокой скоростью и сильным динамическим эффектом движения горных пород, угля, газов и жидкостей вблизи выработок [1].

К ним отнесены горные удары, внезапные выбросы угля и газа, внезапные выбросы породы и газа, суфляры и прорывы газа, прорывы подземных вод, глины, плывунов, внезапные обрушения горных пород, внезапные отжимы и высыпания угля, стреляния горных пород.

Кроме того, существует термин «геодинамические явления в шахтах», которые определены согласно [2] как результат обмена энергией в блочном массиве горных пород, деформирующемся (разрушающемся) в условиях существующего или возникающего предельно напряженного состояния. При этом отмечается, что он объединяет группу динамических и газодинамических явлений, физическая природа которых основана на хрупком разрушении угольных пластов и боковых пород силами горного и газового давления в процессе ведения горных работ, а также выбросы газа в горную выработку.

Однако, как видно из определения и перечисления динамических явлений, они включают в себя все газодинамические явления. То есть получается, что геодинамические явления – это те же динамические явления в шахтах.

Но тогда возникает противоречие с международной классификацией геодинамических явлений в шахтах (ГДЯШ) [2], показанной на рис. 1. В классификации нет места таким динамическим явлениям, как прорывы подземных вод, глины, плывунов. В то же время, принимая во внимание определение геодинамических явлений и то, что приставка «гео» говорит о всех происходящих в недрах Земли динамических явлениях, они должны в ней присутствовать.

При этом термин «техногенные динамические явления в угольных шахтах» будет означать то же, что и «геодинамические явления в угольных шахтах».

Имеет смысл включить в число динамических (геодинамических) явлений и еще один вид явлений, установленный при ведении очистных работ в лаве № 33 пласта XXVII шахты «Первомайская» ОАО «Кузбассуголь» при достижении глубины 500 м и наличии зависшей на большом протяжении кровли пласта, представляющий собой блочное обрушение пород мощной, состоящей из прочного песчаника основной кровли на зависшую над лавой породную консоль с последующим разрушением кромки угольного пласта со стороны забоя в виде горного удара или внезапного выдавливания угля с повышенным газовыделением. Данные явления возникали внезапно, поскольку выполнявшийся в лаве прогноз ударо- и выбросоопасности не позволял заранее уловить возникновения опасности. Призабойная часть пласта переходила в запредельное напряженное состояние в момент обрушения верхних слоев кровли, и тут же происходило ее разрушение. Таким образом, в реализации описанного явления имели место и внезапность, и обмен энергией в блочном массиве, т. е. оно подходит как под определение динамического явления, так и геодинамического.

Нами предлагается термины «техногенные динамические явления в шахтах» и «геодинамические явления в шахтах» объединить в одном термине – «геодинамические явления в шахтах», более коротком и объемлющем все явления.

Из изложенного возникает предложение об уточнении международной классификации ГДЯШ и внесении в нее дополнительных видов явлений. Несомненно, это решение должно быть продискутировано и при положительном к нему отношении принято на международном научном форуме с участием ведущих ученых и специалистов по проблеме геодинамических явлений.

Это первая задача по классификации ГДЯШ, которая ставится Институтом угля СО РАН. Существует и еще одна задача, требующая решения для упорядочения применения терминов в рассматриваемой области горной науки. Кроме двух терминов, применяемых для обозначения рассматриваемых явлений, применяется термин «газодинамические явления».

Согласно [2], к ним отнесены внезапные выбросы угля и газа, внезапные выбросы породы и газа, внезапные выдавливания угля с повышенным газовыделением, внезапные обрушения (высыпания) угля



Рис. 1. Классификация техногенных геодинамических явлений

с повышенным газовыделением). Но согласно «Методических указаний по классификации газодинамических явлений на угольных шахтах» [3] к газодинамическим отнесено гораздо больше явлений. В их число включены суфляры, внезапные прорывы газа из зон геологических нарушений, внезапные разрушения пород почвы с выносом метана и угля, внезапные выбросы угля и газа, внезапные выбросы породы и газа, внезапные обрушения (высыпания) угля с попутным газовыделением, внезапные выдавливания угля с попутным газовыделением, горные удары, горно-тектонические удары, горные удары с разрушением пород (угля) почвы (кровли) выработки, толчки, стреляния. Вполне очевидно, что такие явления, как горные удары, толчки, стреляния, обусловлены фактором горного давления, а внезапные обрушения (высыпания) – гравитационными силами. На процесс разрушения массива в этих явлениях газовый фактор существенного влияния не оказывает. Выделение газа лишь сопутствует данным явлениям. Об этом говорит даже название некоторых из них (внезапное обрушение или высыпание угля с попутным газовыделением).

Необоснованное отнесение явлений к газодинамическим может провоцировать намерения применить способы их предотвращения, направленные в первую очередь на исключение проявления газового фактора. Это мероприятие не позволит получить эффект от его применения для тех газодинамических явлений, реализация которых вызвана другими факторами.

Газодинамическими имеет смысл называть те явления, динамический эффект при проявлении которых в существенной степени зависит от газового фактора. Ниже перечислены явления, которые, с учетом данной позиции, следует отнести к газодинамическим. При этом виды явлений скорректированы с учетом результатов исследований, выполненных за время, прошедшее с момента издания «Методических указаний ...» [3].

1. Внезапные выбросы угля и газа.
2. Внезапные выбросы породы и газа.
3. Суфляры.
4. Внезапные прорывы газа из зоны геологического нарушения.
5. Внезапные прорывы газа из нижележащей пачки угля.
6. Внезапные прорывы и экстремальные выделения газа из под- и надрабатываемых пластов.
7. Внезапные выдавливания (отжим) угля с повышенным газовыделением.

Таким образом, в соответствии с изложенным целесообразно применять в отношении техногенных динамических явлений в угольных шахтах термин «геодинамические явления». Внутри геодинамических явлений следует выделять газодинамические явления. Это позволит внести ясность в данный вопрос и точнее определить задачи решения проблемы борьбы с геодинамическими явлениями в угольных шахтах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Российская угольная энциклопедия. Т. 2 / Н. К. Гринько А., И. Митейко, В. С. Зыков и др. – М.-СПб: ВСЕГЕИ, 2006. – 602 с.
2. Российская угольная энциклопедия. Т. 1 / Н. К. Гринько А., И. Митейко, В. С. Зыков и др. – М.-СПб: ВСЕГЕИ, 2004. – 649 с.
3. Методические указания по классификации газодинамических явлений на угольных шахтах / А. И. Бобров, Л. А. Вайнштейн, М. А. Ильяшов и др. / МакНИИ /; И. М. Петухов, В. П. Кузнецов / ВНИМИ /; И. В. Сергеев, О. И. Хмара / ИГД им. А. А. Скочинского /; В. И. Мурашев, В. С. Зыков / ВостНИИ/; В. Е. Зайденварг, А. М. Обрезан /Минуглепром СССР /; В. Я. Привыко Госгортехнадзор РСФСР /; С. П. Ткачук / Укркомгосгортехнадзор УССР / – Донецк: ЦБНТИ Минуглепрома СССР, 1991. – 18 с.

АННОТАЦИЯ

Рассмотрены существующие классификации техногенных динамических явлений в угольных шахтах. Внесено предложение по упорядочению и конкретизации явлений в зависимости от обуславливающих их факторов. Поставлен вопрос о необходимости внесения дополнений в международную классификацию геодинамических явлений в шахтах.

УДК [551.4+528.481+625.7]: 911.6

СЕЙСМООПАСНОСТЬ ШАХТНЫХ ПОЛЕЙ КУЗБАССА

***В.В.Иванов, профессор, КузГТУ, г. Кемерово
Н.Ф.Сурунов, доцент, КемГУ, г. Кемерово***

Алтае - Саянская складчатая область, являющаяся составной частью горной системы Центральной Азии, сейсмически активна и может рассматриваться как постоянно меняющаяся блочно - иерархическая геофизическая среда. Регулярно происходящие в этой зоне землетрясения свидетельствуют о геодинамической активности земной коры и о происходящих в ней процессах горообразования. Начиная с шестидесятых годов прошлого столетия с развитием сети стационарных сейсмостанций Алтае - Саянского филиала геофизической службы СО РАН, проводятся постоянные наблюдения сейсмической обстановки и с тех пор были зарегистрированы три сейсмических активизации региона. Последняя связана с сильнейшим Кош - Агачским землетрясением на Горном Алтае в 2003 году. До сих пор в этом районе наблюдаются землетрясения силой от 4 до 6 баллов по шкале Рихтера. Это не могло не сказаться на сейсмической обстановке в Кузбассе.

Кемеровская область является современной сейсмически опасной территорией в составе Западно-Сибирского региона, где за последние два столетия происходили землетрясения силой в 6 - 7 баллов по шкале Рихтера, причем землетрясения неоднократно фиксировались на территории Кузбасса и прилегающих областей. Наиболее значительные сейсмические события произошли в 1898, 1903, 1995 годах. До 2000 года по сейсмическому районированию территория Кемеровской области была отнесена, в основном, к 6-балльной зоне с локальными семибалльными участками, охватывающими густонаселенные промышленные районы. Начиная с 2000 года, в соответствии с современными картами общего сейсмического районирования Российской Федерации (ОСР-97), практически вся территория Кемеровской области, при определенных условиях, может быть отнесена к

территориям с 7 - балльной сейсмичностью, а юг области - к территориям с 8-балльной сейсмичностью, с периодичностью повторения землетрясений указанной балльности порядка 100 лет. Таким образом, в зону 8-балльной сейсмичности попадают густонаселенные города Кемеровской области – Новокузнецк, Междуреченск, Мыски, осинники, а также важные промышленные объекты – Кузнецкий и Западно – сибирский металлургический комбинаты, алюминиевый и ферросплавный заводы, Томь – Усинская и Калтанская ГРЭС, угольные шахты и разрезы Кузбасса и другие предприятия.

В связи с этим в 2005 году в Кузбассе была разработана и принята программа «Сейсмобезопасность территории Кузбасса на 2005 – 2010 годы», в соответствии с которой необходимо было построить и запустить в эксплуатацию шесть новых сейсмостанций, а также построить, оснастить научным оборудованием и запустить в действие геодинамический полигон по изучению сейсмической обстановки на юге Кузбасса.

С 2005 года такой полигон в районе г. Междуреченска был запущен и на нем с помощью современной научной аппаратуры были начаты регулярные наблюдения за смещениями блоков земной коры. Наблюдения на этом полигоне в течение трех последующих лет показали, что среднегодовые смещения блоков земной коры в этом регионе составляют в среднем 20 – 25 мм / год (для сравнения – в самом сейсмически опасном районе – в горах Гималаи, эти смещения составляют 50 – 60 мм / год). Количественная оценка приращений действующих напряжений составила от 20 до 150 МПа, что характерно для напряжений, снимаемых в земной коре при крупных землетрясениях. На основании этих исследований был сделан вывод о том, что все шахтные поля юга Кузбасса, включая и территорию вплоть до г. Ленинска – Кузнецкого являются сейсмоопасными, что может приводить к учащению динамических процессов и явлений на шахтах и разрезах (внезапные выбросы угля и газа, горные удары, оползневые явления и т.п.).

Дальнейшие события подтвердили сделанные выводы, т.к. начиная с 2005 года в районе г. Полысаево начали регистрироваться мелкие землетрясения, которые происходили над- и под горными выработками действующих шахт на глубинах от 400 до 800 метров от поверхности земли.

Исследования, проведенные Алтае – Саянской геофизической службой СО РАН в этом районе, позволили установить, что горные работы как бы провоцируют землетрясения в силу высоких тектонических напряжений в данном районе, но эти работы играют также положительную роль, поскольку снимают тектонические напряжения.

Таким образом, Кузбасс в настоящее время является тектонически активным регионом, где в силу активизации Алтае – Саянской складчатой области сохраняется сейсмоопасность шахт и разрезов Кузбасса.

Аннотация

Приведены результаты прямых геодезических измерений современных движений блоков земной коры юга Кузбасса. Показано, что скорость смещений составляет от 20 до 25 мм / год, что свидетельствует о высокой тектонической активности юга Кузбасса. Сделан вывод о том, что все шахтные поля в этом районе сейсмоопасны, что может приводить к внезапным выбросам угля и газа, горным ударам и другим динамическим явлениям на шахтах и разрезах Кузбасса.

Ключевые слова: земная кора; горные породы; шахтные поля; сейсмическая опасность; смещения; геодинамические процессы

Abstract

The results of direct geodesic measurements of average annual displacements of the earth's crust blocks on the geodynamic range in the south Kuzbass are presented in the given paper. Block displacements achieve around 20 – 25 mm / year. It allows drawing a conclusion of region high tectonic activity and danger of dynamic phenomena in Kuzbass underground and open – cast miners.

Key words: Earth's crust; rocks; mine field; displacements; geodynamic range

ЭКСПЕРТНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ АНАЛИЗА, ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ НА ШАХТЕ

А.В.Кожин, В.Е.Шехтман, доцент кафедры САУ НФИ КемГУ, Новокузнецк

Высокие риски травм и аварий с тяжелыми последствиями – реальность современных технологий угледобычи. В связи с этим имеется объективная потребность анализа всей совокупности данных, описывающих процесс угледобычи с целью управления этими рисками. Полноценно такой анализ можно провести лишь на основе автоматизированных систем для учета замечаний и предписаний надзорных служб, а также травм и аварий на шахте [1]. Однако обычно автоматизированные учетные системы (УС) нацелены на поддержку оперативной деятельности (контроль исполнения, представление текущей ситуации, несколько регламентированных отчетов). Это не позволяет выявлять тенденции, оценивать результаты, вскрывать угрожающие направления и объективно существующие закономерности ...

В связи с этим была разработана система, которая, будучи настроена на использование базы данных конкретной УС, способна

1. формировать по запросу пользователя – неспециалиста в области информационных технологий широкий спектр наглядных представлений (как их понимает производственный персонал)
2. поддерживать проведение “интеллектуального анализа” с целью выявления объективных закономерностей, действующих в данной предметной области на конкретном предприятии

В рамках первого направления реализована интерфейсная среда для специалиста по безопасности (пользователю нет необходимости разбираться в более или менее сложных структурах данных, характерных для УС) как средство формулировать заранее не предусмотренные вопросы и в приемлемое время получить ответы (итеративный стиль анализа) [2]. Это оказалось возможным достичь, если предложить пользователю неструктурированный список реквизитов по каждому из направлений анализа. Задача пользователя – выбрать интересующие реквизиты в рамках одного из направлений, определить расчетные показатели (если необходимо), виды обобщения и группировки, виды сортировок и отбора (фильтрации) данных. После того, как сформирован запрос такого рода, среда должна самостоятельно, основываясь на знании обычно весьма сложной схемы базы данных, сформулировать запрос к ней и представить результат в виде таблицы (для обозначения этого механизма мы используем термин “гибкие запросы”). Иногда такого представления достаточно, однако чаще желательно подвергнуть результат в виде таблицы некоторым преобразованиям, таким как определение одних столбцов таблицы в качестве независимых координат, а других – в качестве значений на этих координатах. Очевидно, этого можно добиться, привлекая так называемую “многомерную модель данных” и технологию OLAP [3].

В качестве примера типичного несложного запроса, с которыми имеют дело аналитики, возьмем одно из направлений анализа – замечания. На рис. 1 представлено начальное окно со списком реквизитов, характеризующих данное направление анализа. Отметим только необходимые реквизиты, зададим подсчет количества предписаний по типам участков, ограничимся данными с начала 2006 г., зададим порядок по убыванию количества предписаний. Результат запроса приведен на рис. 2.

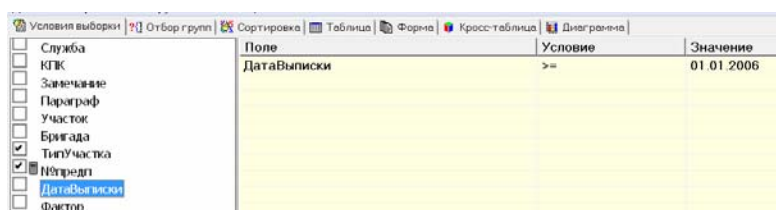
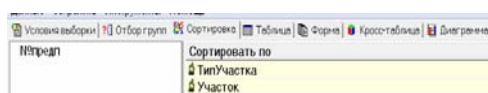


Рисунок 1. Формулировка запроса

ТипУчастка	Кол-воИлтредп
Проходческий	1327
Монтажный	418
Добычной	417
Проч. (подземн)	189
Поверхностный	67
	1

Рисунок 2. Результат запроса

Если желательно детализировать данные по участкам, то для этого следует лишь добавить единственный реквизит (отметив его галочкой) и изменить способ упорядочивания (рис. 3):



ТипУчастка	Участок	Кол-воИлтредп
Монтажный	МУ-1	108
Монтажный	МУ-2	66
Монтажный	МУ-3	70
Монтажный	МУ-4	27
Монтажный	УПДТ	59
Монтажный	ЦРК	37
Поверхностный	А и С	14
Поверхностный	ТК	18
Поверхностный	УВГП	5
Поверхностный	УКР	7
Поверхностный	УКТС	6
Поверхностный	УШСУ (очистные сооруж	1
Поверхностный	ЭМЦ	6
Проходческий	№ 3	225
Проходческий	№ 4	136

Рисунок 3. Запрос с детализацией по участкам.

Таблица на рисунке 3 справа трудно обозрима. Поэтому воспользуемся представлением “кросс-таблица” (рис. 4). Видим, что получается значительно более наглядное представление. Еще повысить наглядность можно за счет обращения к изобразительным возможностям деловой графики: на рисунке 5 представлены в виде диаграммы данные кросс-таблицы, снабженные сведениями о дате выписки.

Условия выборки	Отбор групп	Сортировка
Тип Участка	Проходческий	
Участок	Сумма "Кол_Нпредл"	
№ 6	145	
№ 7	172	
№ 12	123	
№ 15	159	
№ 19	183	
№ 28	160	
МУК-96 (2)	21	
ОШПУ №2	2	
ОШПУ №3	1	

Рисунок 4. Кросс-таблица

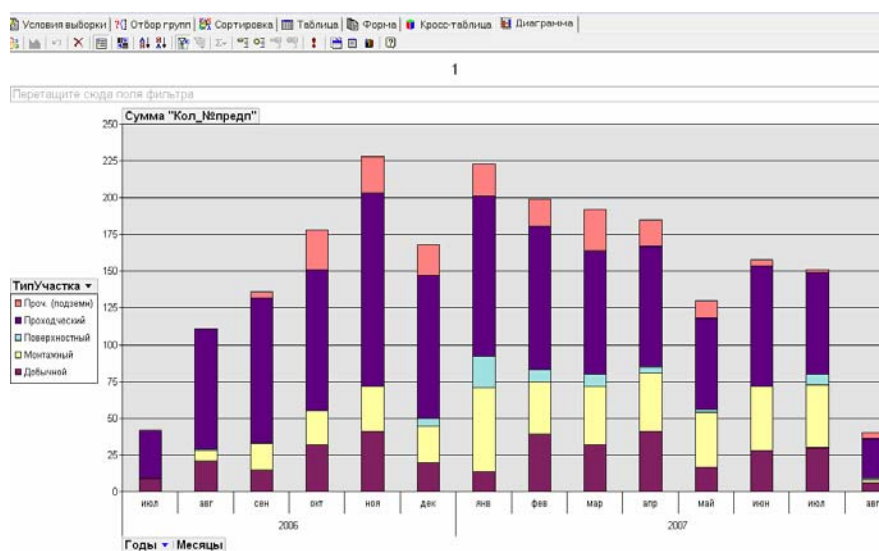


Рисунок 5. Диаграмма по данным кросс-таблицы с рис.4

Отметим, что все описанные стадии осуществления запроса легко выполняются специалистом в предметной области – это может быть инженер по ТБ, руководитель предприятия, представитель надзорной инстанции. Формулировка вопроса (запроса) и затраты времени на ответ в разных представлениях не превышают секунды, основная работа по формулировке запроса выполняется с помощью манипулятора мышь. Любой из запросов, получаемых в такой системе, строится на основе реальных данных, зафиксированных и хранимых в УС.

В рамках второго направления предполагается нарастить аналитические возможности системы за счет привлечения более глубоких методов анализа. Так из опыта эксплуатации описанной системы, можно сделать вывод о целесообразности применения алгоритмов выявления ассоциаций, решающих деревьев, нейронных сетей. Целью здесь может являться построение особого, чисто “информационного” бизнес-процесса, способствующего превращению данных в информацию, пригодную для выработки динамических, обоснованных и ясных управляющих воздействий. В качестве примера углубленного анализа приведем результат работы мастера выявления ассоциативных правил (рис. 6):

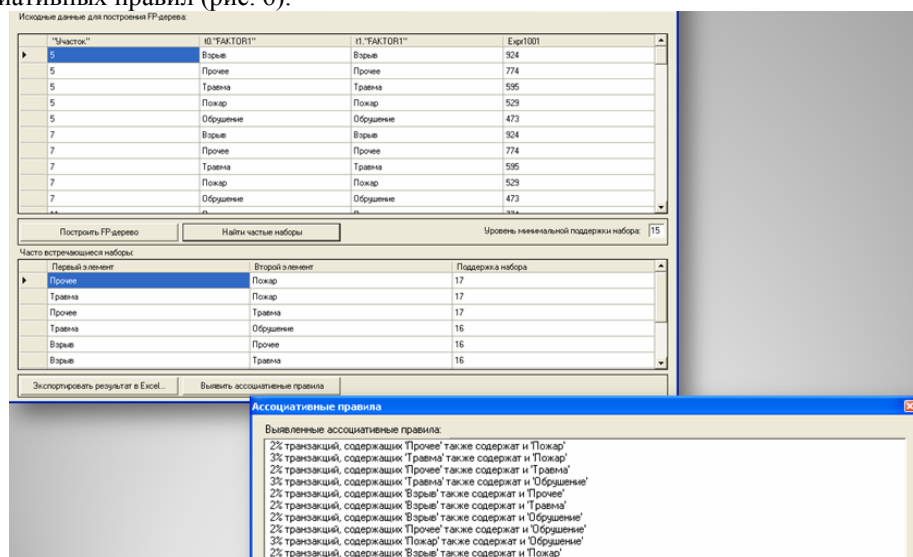


Рисунок 6. Пример сеанса выявления ассоциаций

На основе опыта применения описанной выше системы анализа производственной безопасности авторы выработали видение будущего направления развития. Оно заключается в разработке системы, позволяющей вскрывать закономерности, определяющие уровень трамвоопасности и аварийности на шахтах. На основе выявленных закономерностей становится возможным построение экспертной системы для прогнозирования уровня опасности и для выработки управляющих воздействий, способных снизить опасность травм и аварий. План исследований состоит в проведении статистического анализа случайных процессов с целью отслеживания существенных изменений в фазовом пространстве, описывающем объект исследования – состояние производственной безопасности, и определения методологии основной работы моделирования многомерного случайного процесса, описывающего производственный процесс.

Далее предполагается осуществить проектирование, в ходе которого будет разработана информационно-алгоритмическая модель экспертной системы. Предполагается, что в результате реализации проекта будет создан исследовательский пакет программ, реализующий математическую модель и алгоритмы формулировки рекомендаций и объяснений, изучены возможности снижения травмоопасности и аварийности на опасных производствах (на шахтах в частности). В качестве факторов, затрудняющих проведение этого плана, следует отметить следующие. Текущее состояние системы может определяться характеристиками, часть из которых являются ненаблюдаемыми – они не включаются в число параметров, накапливаемых УС и должны оцениваться по косвенным данным. Кроме того, для системы в целом не может быть корректно определена единая целевая функция. В отдельных звеньях возможно существование скрытых локальных целей управления, в общем случае несовпадающих между собой. Таким образом, проблема оптимального управления не может быть поставлена в классической форме. Можно говорить о так называемом «рациональном» управлении, под которым понимают организацию мероприятий, управленческих действий, созданию технологических условий, приводящих систему с высокой вероятностью в нормальное (номинальное, рациональное) состояние. Следовательно, для реализации принципов рационального управления, прежде всего, необходимо ответить на следующие вопросы:

- какое состояние системы следует считать нормальным;
- как определить область нормального состояния объекта (план рационального управления, как альтернатива оптимального плана управления);
- что следует сделать, чтобы привести систему в рациональное состояние.

Для системы управления описанного класса можно рассматривать следующие задачи.

Анализ. На выделенном промежутке времени (интервал анализа) на основе результатов наблюдений за изменениями состояния системы во времени:

- оцениваются параметры системы (интенсивностей потоков, плотность весов), зависящие от времени, в том числе и в виде доверительных интервалов;
- определяются классы, к которым следует отнести те или иные случайные процессы системы – стационарный, линейный, полиномиальный, марковский, нормальный, пуассоновский и т.д.;
- выявляется факт и характер зависимостей между отдельными компонентами состояния объекта;
- определяются отдельные элементы, вид, форма представления, соответствие с элементами формализованного языка описания плана рационального управления с точностью до параметров, подлежащих оцениванию;
- вычисляются числовые параметры плана рационального управления, план корректируется с целью получения доказательно эффективного управления;
- на промежутке наблюдения выделяются интервалы, на которых произошли отклонения от плана рационального управления, каждому такому интервалу ставится в соответствие строка, определяющее характер отклонения и в случае необходимости числовые значения переменных состояния системы на этом интервале и параметров плана.
- выявляется факт и характер зависимостей между отдельными отклонениями от элементов плана рационального управления.

Прогноз. На выделенном промежутке времени (интервал прогноза) на основе результатов анализа решаются следующие задачи:

- для каждого момента времени из промежутка прогноза вычисляется оценка состояния системы на основе прогноза параметров системы;
- дается прогноз среднего значения числа событий, весов, среднего и достоверного времени ожидания первого события на интервале прогноза и состояния системы в эти моменты времени;
- на промежутке прогноза выделяются интервалы, на которых в соответствии с прогнозируемым состоянием системы будут наблюдаться отклонения от плана рационального управления, каждому такому интервалу ставится в соответствие строка, определяющая характер отклонения и в случае необходимости числовые значения переменных состояния системы на этом интервале и параметров плана.

Управление. На основе выявленных фактов и видов зависимостей между отдельными компонентами состояния объекта, отдельными отклонениями от элементов плана рационального управления на промежутке анализа даются управленческие рекомендации на основе прогнозируемых значений состояния системы и отклонений от плана с целью обеспечить низкую вероятность отклонения от плана для каждого момента времени на промежутке прогноза. В данном случае интервалы прогноза и управления совпадают.

Литература

1. ВИСТ Групп. “Единая книга предписаний и формирование сменных нарядов” <http://www.vistgroup.ru/products/ekp/> [электронный ресурс].
2. Шехтман В. Е. Инструментальная база анализа производственной безопасности. Безопасность горных предприятий: Сборник Научных трудов по материалам симпозиума “Неделя горняка-2008”. Отдельный выпуск Горного информационно-аналитического бюллетеня. – 2009. – 352 с. – М.: Издательство “Мир горной книги”.
3. Г. Гарсия-Молина, Джеффри Ульман, Дж. Уидом. Системы баз данных. Полный курс.: Пер. с англ. – М.: Издательский дом “Вильямс”, 2003. – 1088 с.: ил.

Аннотация

В тезисах представлен опыт авторов по разработке аналитических систем для встраивания их в автоматизированные учетные системы, применяемые на шахтах для оперативного управления производственной безопасностью. Кроме того, излагаются пути развития систем анализа, в частности, обосновывается цель – разработка экспертной системы для анализа, прогноза и управления производственной безопасностью на основе вскрытия закономерностей, определяющих уровень травмоопасности и аварийности на шахтах. Методологией при ее построении служит многомерная статистическая обработка случайных процессов.

Annotation

The theses presented to the authors' experience in the development of analytical systems for integration into automated accounting systems used in mines to-day management of production safety. In addition, outlines the development of systems analysis, in particular, the goal is justified - the development of expert systems for analysis, forecasting and management of industrial safety on the basis of autopsy laws which determine the level of traumatic accidents in mines. Methodology in its construction is a multi-dimensional statistical analysis of random processes.

УДК 622.4.: 622.831.325.3

ПЕРСПЕКТИВНАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ГАЗОВОЙ СРЕДЫ, ОКРУЖАЮЩЕЙ АТМОСФЕРЫ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ УГОЛЬНЫХ ШАХТ И ПОДЗЕМНЫХ ОБЪЕКТОВ

***Котлярский А.И., генеральный директор, д.т.н., Черняк З.А.,
технический директор, д.т.н. ЗАО «ПРОМТЕХ», Москва, РФ***

Новая система мониторинга и управления (типа Sentro 8) конструктивно является станцией многоцелевого назначения, которая может конфигурироваться в соответствии с конкретными требованиями как к параметрам безопасности газовой среды и окружающей атмосферы, так и к технологическим параметрам.

Данная разработка представляет значительный интерес в первую очередь, для угольных шахт, поскольку позволяет сравнительно простыми способами объединять датчики, контроллеры, сигнализаторы и другие устройства в компактные искробезопасные восьмиканальные станции мониторинга и управления, каждая из которых может одновременно контролировать концентрацию до 4 различных горючих или токсичных газов с помощью интеллектуальных заменяемых модулей совместно с температурой, давлением или влажностью окружающей среды, скоростью потока воздуха в системе вентиляции, или включать по требованию любой набор других дистанционно подключенных датчиков.

Каждый измерительный модуль предварительно откалиброван и оснащен своим персональным процессором, интеллектуальной базой данных с массивом памяти для хранения до 4000 информационных точек и схемами формирования сигнала. Станции позволяют непрерывно отображать затребованные данные, хранить сервисные параметры, такие как текущие значения, параметры калибровки, пороговые уставки, а также режим самодиагностики. Станции позволяют также обеспечить простую замену требуемых модулей, сервисное обслуживание, периодическую поверку и калибровку.

Все датчики и устройства, включаемые в станцию, объединены универсальной цифровой шиной сбора и передачи информации, что позволяет подключать ее непосредственно в магистральную сеть для передачи информации в диспетчерскую.

Преимущества для шахт состоят в том, что новая система мониторинга может контролировать любые параметры окружающей среды и технологического оборудования в одном пакете, такие как температуру, вибрации, состояние насосов и конвейеров, с одной стороны, а также концентрацию опасных газов, например, метана, кислорода, окиси углерода, с другой стороны.

Указанные выше преимущества позволяют снизить длину кабельных соединений, трудоемкость и стоимость монтажных, пусконаладочных работ и обслуживания, уменьшить вероятность аварийных ситуаций, снизить вес, габариты и требования к хранению, обеспечить простую и быструю калибровку без отключения питания и т.д. Возможность передачи информации непосредственно по стандартным протоколам означает возможность объединения любого количества систем единым магистральным кабелем, реализации мониторинга и управления от главной диспетчерской, а также позволяет обеспечить на каждом объекте типовое оборудование и единую методику их обслуживания.

Компактный и прочный корпус в исполнении IP65, с защитой от электромагнитного излучения, оснащен большим ЖК-дисплеем высокой яркости и четкости, обеспечивающим информацию по всем 8 каналам с инструкциями и диагностическими данными. Кроме того, станция имеет встроенный динамик, тревожную световую сигнализацию и влагозащищенную клавиатуру.

Таким образом, новая система Sentro 8 может использовать стандартный RS485 интерфейс для подключения к сети, объединяющей до 32 измерительных станций, и к центральной диспетчерской с пакетом SCADA - программ по единому каналу связи. Реализация такой линии связи на расстояния, превышающие ограничение в 1 км при использовании стандартного кабеля, обеспечивает максимальную эффективность системы и возможность мониторинга и управления от единого диспетчера.

Эта система является примером разработки жизнеустойчивого изделия, которое может в будущем адаптироваться и для других целей. Любые требуемые в дальнейшем разработки для объектов, где необходимо обеспечивать мониторинг газовой среды или состояние объекта, могут быть вписаны в существующую архитектуру.

Нельзя также пройти мимо требований безопасности. Если ранее систему с датчиками требовалось помещать в большую и тяжелую взрывобезопасную оболочку, то небольшие габариты новой станции легко позволяют применять ее в опасных зонах и в разных проектах, с высокой степенью исполнения корпуса по пылевлагозащите, что является крайне важным критерием в тяжелых отраслях промышленности и в шахтах. Также создаются предпосылки для разработки полностью искробезопасных измерительных систем, что снижает риск создания аварийно-ненадежных систем, включающих комбинации различного оборудования.

УДК 622.457.36

ОРГАНИЗАЦИЯ КОМБИНИРОВАННОГО ПРОВЕТРИВАНИЯ ВЫЕМОЧНЫХ УЧАСТКОВ УГОЛЬНЫХ ШАХТ В УСЛОВИЯХ ЭНДОГЕННОЙ ПОЖАРООПАСНОСТИ

*Курта И.В., Никулин А.Н., СПГГУ, г. Санкт-Петербург,
E-mail - IvanKurta@yandex.ru*

В статье предложены варианты изолированного отвода метановоздушной смеси при многоштрековой подготовке высокогазоносных выемочных участков на склонных к самовозгоранию угольных пластах.

Ключевые слова: вентиляция, изолированный отвод, метан, самовозгорание.

Variants isolated removal a methane-air mix at long wall preparation on colliery are offered in the article.

Keywords: ventilation, isolated removal, methane.

Из отечественной и зарубежной практики известно, что работа очистных забоев с высокой нагрузкой на высокогазоносных угольных пластах возможна только с применением высокоэффективной подземной дегазации выемочных участков в сочетании с применением эффективных схем проветривания.

Промышленное применение комбинированных схем проветривания выработок выемочных участков, отработанных с использованием газоотсасывающих вентиляционных установок, выявило как положительные, так и отрицательные аспекты их использования.

Одним из основных достоинств данного способа управления метановыделением является перераспределение воздушных потоков в сторону выработанного пространства, способствующее его аэродинамической изоляции и снижающее метанообильность очистного забоя, что позволяет увеличивать нагрузки на лаву.

К недостаткам следует отнести большую протяженность неподдерживаемых выработок, по которым производится отвод МВС, зачастую с неконтролируемыми и нерегулируемыми концентрациями метана. С увеличением длины выемочного столба эффективность и зона влияния газоотсасывающего вентилятора существенно уменьшаются.

Все это, наряду с ограниченной областью применения данной технологии, а также наличием случаев вспышек и взрывов метановоздушных смесей на шахтах, где применялся газоотсос, актуализирует изыскания по их совершенствованию.

При отработке выемочных участков длинными столбами с нарезкой двух и более штреков с каждой стороны столба становится возможной организация изолированного отвода метановоздушной смеси даже в условиях эндогенной пожароопасности. Изолированный отвод в таких случаях может осуществляться за счет общешахтной

депрессии или депрессии, создаваемой газоотсасывающим вентилятором при отводе МВС по системе поддерживаемых горных выработок - в первом случае, при помощи дегазационной установки - во втором.

При подготовке выемочного участка тремя параллельными штреками отвод МВС производится по частично поддерживаемому и погашаемому за лавой штреку на сбойку либо сбоечную скважину, в зависимости от оценки пожароопасности на участке и скорости подвигания лавы и затем по среднему штреку и системе горных выработок (поверхностной скважине) выдается на поверхность (рис. 1).

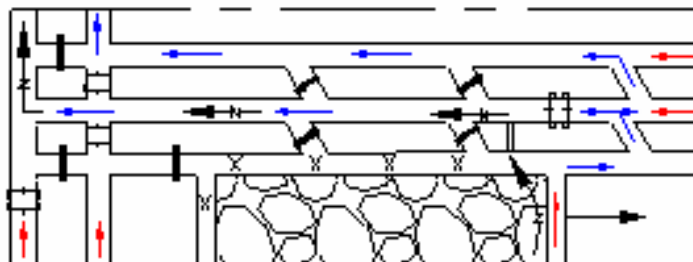


Рис.1 Изолированный отвод МВС при трехштрековой подготовке.

При этом протяженность частично поддерживаемой за лавой выработки - минимальна; появляется возможность осуществлять контроль содержания метана в МВС на всем пути отвода; проведение дополнительных выработок в значительной степени уменьшает аэродинамическое сопротивление выемочного участка; в аварийной ситуации выход горнорабочих обеспечен практически при любой протяженности выемочного поля. Применение возможно как при нисходящем, так и при восходящем порядке отработки угольных пластов, при подвигании лав по падению и по восстанию.

О целесообразности внедрения данной технологии, свидетельствует положительный опыт управления метановыделением на выемочных участках шахты «Котинская» ОАО «СУЭК-Кузбасс», подготовленных двумя штреками, (уголь склонен к самовозгоранию) с использованием сбоечных скважин, пробуренных с параллельного штрека через целик на погашаемый за лавой штрек.

Расчеты параметров проветривания выемочных участков [1] должны производиться на основе фактических значений метановыделений, полученных по лавам-аналогам за весь период их отработки после посадки основной кровли и только при их отсутствии - по прогнозным значениям, определяемым в соответствии с действующими нормативными документами. Расчет производится в следующей последовательности.

1. Расход воздуха для проветривания призабойного пространства:

$$Q_{оч} = 100 \cdot I_{оч} \cdot K_n / (C - C_0), \text{ м}^3 / \text{мин},$$

где $I_{оч}$ - газовыделение из разрабатываемого пласта, $\text{м}^3 / \text{мин}$

C - допустимая ПБ концентрация метана, %

C_0 - концентрация метана в поступающем воздухе, %

2. Утечки воздуха через выработанное пространство:

$$Q_{ут} = Q_{оч} \cdot (K_{ут.в} - 1), \text{ м}^3 / \text{мин},$$

где $K_{ут.в}$ - коэффициент утечек воздуха через выработанное пространство.

Для ликвидации опасных скоплений метана на сопряжении лавы с вентиляционной выработкой коэффициент эффективности отвода метана должен быть не менее 0,5. Для обеспечения такой эффективности расход МВС, поступающей в неподдерживаемую за лавой выработку $Q_{ни}$, должен составлять $0,3Q_{ут}$.

3. Расход МВС, отводимой по неподдерживаемой выработке:

$$Q_{отс} = 0,3 \cdot Q_{ут} + Q_{ни} = 1,3Q_{ут}, \text{ м}^3 / \text{мин}$$

4. Количество отводимого метана:

$$I_{отс} = I_{вп} + 0,3 \cdot I_{оч}, \text{ м}^3 / \text{мин}$$

где $I_{вп}$ - газовыделение выработанного пространства, $\text{м}^3 / \text{мин}$

Должно соблюдаться условие:

$$Q_{отс} > 100 \cdot I_{отс} \cdot K_n / (C - C_0), \text{ м}^3 / \text{мин}$$

где C - допустимая концентрация метана в газоотводящей выработке, %

Если это условие не соблюдается, то необходимо применять дегазацию выработанного пространства.

5. Расход воздуха для разбавления метана, выделяющегося на очистном участке:

$$Q_{отс} = 100 \cdot (I_{оч} + I_{вп}) I_{отс} \cdot K_n / (C - C_0), \text{ м}^3 / \text{мин}$$

6. Расход воздуха, подаваемый по промштреку к смесительной камере:

$$Q_{под} = Q_{уч} - Q_{отс}, \text{ м}^3 / \text{мин}$$

Величины $I_{оч}$, $I_{вп}$, K_n , $K_{ут.в}$ рассчитываются по методикам[2].

Протяженность газодренажной выработки (расстояние между соседними вентиляционными сбойками) должно быть таким, чтобы этот участок выработки не попадал в зону опорного давления. Если отрабатывается пласт опасный по самовозгоранию, то, кроме того, очистной забой должен проходить этот участок штрека за время меньшее инкубационного периода или же отвод МВС должен производиться через специально пробуренные сбоечные скважины (рис. 1). Размер целика между конвейерным и промежуточным штреками определяется условиями удароопасности разрабатываемого пласта и устойчивостью самого целика и должен быть не более 6 метров, что бы имелась возможность нижней лавой отработать межлавные целики без проходки новых или восстановления старых выработок. Кроме того, через такой целик рационально бурить дегазационные скважины с промежуточного штрека в купол обрушения выработанного пространства, для организации комплексной дегазации.

Список используемой литературы.

1. «Руководством по проектированию вентиляции угольных шахт», Макеевка, 1989г.

УДК 622.284.74

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЦ ЗОН ДЕЗИНТЕГРАЦИИ ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ ПОДЗЕМНЫХ ВЗРЫВАХ

ЛИС С.Н., главный технолог ТОО «ИПКОН», г.Караганда, Казахстан

При проведении горных работ и создании полости внутри горного массива происходит разрушение приконтурных пород с образованием зон различной степени их дезинтеграции. Изменение структуры и прочностных характеристик горных пород и массива определяет не только снижение их несущих свойств, но также приводит к нарушению естественных режимов энерго- и массообмена в значительной по объёму области. Зоны, образующиеся при подработке и надработке пластов, а также вокруг подготовительных и капитальных горных выработок достаточно хорошо изучены (см. например [1]). Малоизученным остаётся вопрос о зонах дезинтеграции горных пород при образовании полости внутри горного массива подземным взрывом. Поэтому особый интерес представляет исследование закономерностей образования таких зон при подземных взрывах и сравнение этих закономерностей с закономерностями образования зон дезинтеграции при других способах

образования полости внутри массива. Результаты таких исследований позволяют не только решать практические задачи горного производства, но и вывести общие закономерности образования зон дезинтеграции горных пород при образовании полости в горном массиве и, используя эти закономерности, прогнозировать свойства и поведение горных пород на различном удалении от полости.

В работе [2] представлены результаты исследований основных характеристик горных пород и массива в ближней зоне подземных ядерных взрывов, проведенных в штольнях горного массива Дегелен и скважинах горного массива Балапан Семипалатинского испытательного полигона. При анализе механического состояния массива горных пород после взрывного воздействия в этой работе использовался подход, основанный на делении среды на области (зоны), отличающиеся структурными и механическими характеристиками.

Вблизи эпицентра взрыва расположена камуфлетная полость, относительный радиус полости $R_c/q^{1/3}$ примерно $7 \text{ м/кт}^{1/3}$ (q – мощность взрыва в килотоннах ТНТ). По результатам инженерно – геологических и геофизических работ, проведенных с целью изучения влияния взрывов в штольнях на массив горных пород, определены относительные радиусы зон дезинтеграции горных пород, которые приведены в таблице 1[2].

Таблица 1 – Зоны дезинтеграции горного массива при проведении взрывов в штольнях

№ зоны	Наименование зоны	Характеристика зоны	Относительный радиус ($R_c/q^{1/3}$)
I	Зона смятия горных пород	Примыкает непосредственно к полости. Породы, в зоне изменённые, легко превращаются в материал типа песка при незначительном механическом воздействии. Зёрна минералов в породах раздроблены многочисленными микротрещинами, некоторые минералы потеряли естественные свойства и форму. Резко снижаются прочностные и упругие свойства породы. Проницаемость породы резко повышается.	$12 \div 14$
II	Зона дробления	Массив раздроблен новыми и подновлёнными естественными трещинами. Массив имеет вид бутовой кладки с нарушенными швами. В начале зоны породы раздроблены до мелкого щебня, а к периферии – до кусков размером десятки сантиметров в поперечнике. Количество трещин увеличивается в $4 \div 40$ раз по отношению к естественному. Общая пористость массива достигает 10,5%.	$20 \div 25$
III	Зона интенсивной трещиноватости	Суммарное количество трещин увеличивается в 2 – 4 раза. Массив приобретает ярко выраженное блочное строение. Размер кусков определяется в основном естественной трещиноватостью. Размер блоков уменьшается к центру от $1,0 \div 3,0$ до $0,2 \div 0,8$ м. Наибольшую раскрытость имеют пологие трещины. По крутым трещинам происходят срывы, сколы и смещения. Прочность породы от центра взрыва к периферии постепенно возрастает, упругие свойства также становятся близкими к естественным.	$35 \div 40$
IV	Зона подновлённых трещин	Раскрытие существующих трещин, ширина раскрытия $2 \div 10$ мм. Наблюдается интенсивное смещение отдельных блоков.	$50 \div 60$

V	Зона неупругих деформаций массива	Скорость продольных волн в массиве меньше первоначальной на $5 \div 10$ %. Проницаемость близка к естественной. Наблюдается проявление «скрытой» трещиноватости, изменение упругих характеристик массива.	$120 \div 130$

В результате инженерно-геологических и геофизических исследований, проведенных в местах ядерных взрывов в скважинах площадки Балапан, выделены следующие зоны (таблица 2):

Таблица 2 – Зоны дезинтеграции горного массива при проведении взрывов в скважинах

№ зоны	Наименование зоны	Характеристика зоны	Относительный радиус ($R_c/q^{1/3}$)
I	Зона смятия горных пород	Горные породы превращены в рыхлый пылевой материал с включением обломков изменённых пород размером не более $3 \div 4$ см. Общая пористость в $2 \div 6$ раз превышает начальную.	$13 \div 17,6$
II	Зона дробления	Разрушенная горная масса с размерами кусков от $2 \div 3$ до $5 \div 7$ см. Пористость массива горных пород увеличивается $2 \div 3$ раза по сравнению с первоначальной.	$24 \div 34$
III	Зона интенсивной трещиноватости	Зона характеризуется появлением новых трещин по естественным микротрещинам, текстурным элементам горных пород и зонам механических ослаблений. По радиальным направлениям образуются сколы, по концентрическим – разрывы. Прочностные свойства пород снижены на $20 \div 30$ %. Коэффициент проницаемости среды увеличивается до 1000 раз, причём наибольшее увеличение отмечается по простиранию пород. Общая пористость массива – $10 \div 25$ %.	$50 \div 55$
IV	Зона подновлённых трещин	Новообразованные трещины в пределах зоны не наблюдаются, разрушенность массива обусловлена раскрытием существующих трещин. Прочностные свойства пород в зоне снижены на $10 \div 15$ %	$65 \div 70$

В работе [1] границы зон различного геомеханического состояния в подработанном массиве определяются последовательностью приведенной в таблице 3. Члены этого ряда являются положительными корнями уравнения:

$$X^{n+1} + X - 1 = 0; \quad (1)$$

где: n – порядковый номер члена данной последовательности.

Таблица 3– Корни уравнения (1)

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
X	0,50	0,6180	0,6823	0,7245	0,7549	0,7781	0,7965	0,8117	0,8243	0,8351	0,8444

Рассчитаем границы зон дезинтеграции горного массива при проведении штольневых взрывов в соответствии с последовательностью, приведенной в таблице 3. Расчёт производится из предположения, что отношение относительного радиуса первой зоны к относительному радиусу второй зоны должно равняться первому члену последовательности приведенной в таблице 4, а отношение относительного радиуса второй зоны к относительному радиусу третьей зоны второму члену последовательности и т.д.:

$$R1 / R2 = 0,5; R2 / R3 = 0,618 \text{ и т. д.}$$

При таком подходе достаточно знать границу одной из зон, чтобы определить границы остальных зон. Поскольку наиболее полно исследована зона I, то примем значение границы этой зоны из диапазона, приведенного в таблице 1: $R1 = 12,0$. Тогда $R2 = 24,0$; $R3 = 39,0$ и т. д. Результаты проведенных расчётов и их сравнение с результатами, полученными экспериментально, приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Сравнительная таблица результатов полученных экспериментально и расчётным методом при проведении взрывов в штольнях.

№ зоны	Наименование зоны	Граница зоны (R_i), определённая экспериментально	Граница зоны (R_i), определённая расчётным методом	Отклонение, %
I	Зона смятия горных пород	12 - 14	12	0
II	Зона дробления	20 - 25	24	0
III	Зона интенсивной трещиноватости	35 – 40	39	0
IV	Зона подновлённых трещин	50 - 60	57	0
			79	
			105	
V	Зона неупругих деформаций	120 - 130	135	3,8

Как видно из таблицы 4, результаты, полученные экспериментально и расчётным методом, практически совпадают, что подтверждает предложенную теорию. При этом можно прогнозировать, что экспериментами не установлены (пропущены) ещё две зоны с границами в районе 79 и 105 м.

Проведём аналогичные расчёты для определения границ зон дезинтеграции пород при проведении взрывов в скважинах. Результаты этих расчётов приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Сравнительная таблица результатов полученных экспериментально и расчётным методом при проведении взрывов в скважинах.

№ зоны	Наименование зоны	Граница зоны (R_i), определённая экспериментально	Граница зоны (R_i), определённая расчётным методом	Отклонение, %
I	Зона смятия горных пород	13 — 17,6	15,5	0
I	Зона дробления	23 - 34	31	0
I II	Зона интенсивной трещиноватости	50 – 55	50	0
I V	Зона подновлённых трещин	65 - 70	73	4,3

Как видно из таблицы 5, расчётные и экспериментальные данные практически полностью совпадают.

Связанные отношением объекты своей множественностью способны выражать ряд интенсивностей («степеней») определённых параметров системы, что в действительности воплощено в ряде следующих друг за другом чётко различающихся между собой специфик или состояний качества. Переход от одного уровня организации системы, режима функционирования к другому означает, в частности, смену отношений рассматриваемых параметров (изменение их кратности), соответствующих её отдельным устойчивым состояниям.

Выход системы за пределы одного из вариантов свидетельствует о радикальных изменениях в составе её структурных компонентов, о приобретении этой системой нового функционального облика.

Таким образом, структура системы горных пород при образовании полости в горном массиве подчиняется чёткому математическому закону, независящему от способа образования этой полости. Пространственные связи, лежащие в основании системной организации пород – важнейшие из тех, что создают её реальную значимость, структурную оформленность, обуславливают последовательность изменения состояния этой системы.

Список использованных источников

1. Лис С.Н. Определение границ зон геомеханического состояния и газовой динамики в подработанном горном массиве/Труды Международной научной конференции «Наука и образование – ведущий фактор стратегии «Казахстан – 2030» (Сагиновские чтения №3), 23 – 24 июня 2011 г., Часть 3.- Караганда: КарГТУ, 2011, С. 171 – 173.

2. Адушкин В.В., Спивак А.А. Изменение свойств горных пород и массивов при подземных ядерных взрывах// Физика горения и взрыва, 2004, т.40, № 6, С. 15 – 24.

АННОТАЦИЯ

В докладе предложен алгоритм для определения границ зон различной степени дезинтеграции горных пород при подземных взрывах.

THE SUMMARY REPORT

In the report the algorithm for delimitation of zones of various degree of decomposition of rocks at underground explosions is offered.

УДК: 622.279

ПЕРСПЕКТИВЫ ХИМИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ШАХТНОГО МЕТАНА И ГОРЮЧИХ ГАЗОВ ПОДЗЕМНОЙ ГАЗИФИКАЦИИ УГЛЕЙ

*Г.А. Мандров, к.х.н., В.И. Клишин, д.т.н., В.Я. Шахматов, к.т.н.,
Институт угля СО РАН, Кемерово*

Одним из перспективных направлений вовлечения шахтного метана в технологическую переработку является химическое превращение его в различные экономически выгодные и полезные химические продукты на месте его добычи. Среди таких продуктов следует отметить синтетические жидкие топлива – высокооктановый бензин и дизельное топливо. По таким технологиям известны некоторые сообщения (Литвина А.Д., 2005). Предлагаемые газо-химические установки, способны обеспечить производство дополнительного количества высококачественных моторных топлив, используя в качестве исходного сырья природные и попутные газы отдаленных месторождений, а так же шахтный метан, что одновременно решает проблему рентабельной транспортировки энергоносителей к месту их потребления и способствует сокращению выбросов в атмосферу парниковых газов. На отмеченных установках осуществляется конверсия метана (концентрация не ниже 80%) через синтез-газ в синтетическое жидкое моторное топливо с помощью одностадийного каталитического процесса. Для получения синтез-газа из метана используется технология паро-кислородной конверсии метана, позволяющая получать синтез-газ состава, необходимого для последующего одностадийного каталитического превращения его с высокой селективностью в синтетическое жидкое топливо. Используемый в технологическом процессе бифункциональный цеолитовый катализатор имеет низкую себестоимость и высокую селективность по заданному продукту, что является его важным преимуществом.

Другим направлением переработки шахтного метана является парциальное окисление молекулярным кислородом на катализаторах с получением метанола.

Предложены различные технологические схемы, по одной из которых (Кузнецов Б.П., 2006) предлагается каскадная схема окисления метана до метанола по реакции: $2\text{CH}_4 + \text{O}_2 = \text{CH}_3\text{OH} + \text{Q}$

Конверсия метана протекает успешно при условии полного сжигания кислорода, содержащегося в исходном газе. При избытке кислорода протекают побочные реакции: $2\text{CH}_4 + 3\text{O}_2 = 2\text{CO} + 4\text{H}_2\text{O} + \text{Q}$



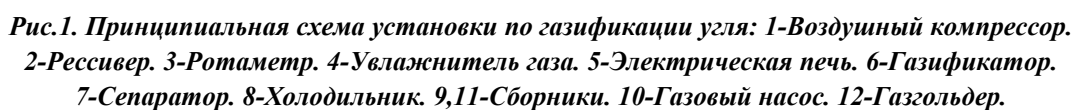
К настоящему времени разработаны технологии с помощью которых выделяющийся в процессе добычи угля метан обогащается с помощью мембранно-сепарационных установок до концентраций, пригодных для проведения сложных химических реакций, например, для получения ацетилена окислительным пиролизом метана (Ельчанинов Е.А., 2006). По предлагаемой технологии метано-кислородная смесь в горелке реактора превращается в газы пиролиза. Окислительный пиролиз метана представляет собой сумму последовательных и параллельных реакций, в результате которых кроме ацетилена образуются различные постоянные газы, а также сопутствующие примеси в виде пирогенетической влаги, смолы, ароматических углеводородов, сажи. Пройдя очистку от сопутствующих примесей газы пиролиза направляются на выделение ацетилена. Оптимальное количество ацетилена образуется при соотношении $\text{O}_2 : \text{CH}_4 = 0,55 - 0,65$.

Приведенный краткий обзор известных технологий по химическому превращению метана показывает, что процессы превращения шахтного метана тесно связаны с процессами, которые происходят при наземной и подземной газификации углей (ПГУ). Так, в наземном газификаторе основной практической задачей является создание эффективного очага горения на поверхности угля, где происходят главные химические окислительно-восстановительные реакции взаимодействия кислорода с углеродом и продуктами их промежуточного реагирования. Газификация твердого топлива в наземном газификаторе представляет научный и практический интерес еще и потому, что позволяет планомерно переходить к процессам более масштабной и сложной подземной газификации, в которой на базе основных компонентов газа ПГУ (оксида углерода и водорода) в мировой практике получают ценные химические продукты (Крейнин Е.В., 2004).

В настоящее время накоплен богатый научный и практический опыт в области ПГУ. Характер гетерогенно-гомогенных реакций при ПГУ достаточно разнообразен. Кислород взаимодействует с углеродом, водородом, окисью углерода, метаном. Углерод коксового остатка реагирует с водяным паром, водородом, двуокисью углерода, а окись углерода реагирует с водородом и водяным паром. При ПГУ газообразование происходит по тем же химическим реакциям, что и в наземном слоевом газификаторе. Независимо от условий наземной или подземной газификации, в том числе, при коксовании или полукоксовании углей, состав компонентов постоянных газов различается только по процентному содержанию, а не наименованию постоянных газов (CO , CO_2 , O_2 , H_2 , CH_4). При этом условия газификации оказывают существенное влияние на выход тех или иных компонентов. Так, повышение давления увеличивает выход метана в продуктах газификации.

При ПГУ очень часто излишки горючего газа просто сжигаются на свечу, хотя известные технологии по переработке синтез-газа могут способствовать разработке методов превращения горючих газов ПГУ в целевые продукты. Для этого, в первую очередь, необходимо научиться управлять составом горючего газа в соответствии с предполагаемым направлением его использования. В настоящее время проблема управления постоянством состава горючих газов ПГУ, по-прежнему, нуждается в своем эффективном решении. Другой немаловажной задачей является разработка эффективных технологий очистки газа ПГУ от сопутствующих примесей (пыль, смола, органические соединения) с их дальнейшей утилизацией. Особую опасность для каталитических процессов представляют летучие смолы. Поскольку все существующие способы переработки синтез-газа являются каталитическими, то даже следы летучих смол, попавших на катализатор, приведут к отравлению его активной поверхности и выведут из строя весь процесс синтеза. В этом плане достаточно отметить, что основная масса коксохимических заводов высококалорийный газ после коксовых батарей сжигают на свечу, а не используют в дальнейших химических синтезах не только из-за технологической безопасности коксовых батарей, но также потому, что из газосборника коксовый газ выходит несколько перегретым и в нем всегда присутствуют летучие смолы.

Поскольку при ПГУ газообразование происходит по тем же химическим реакциям, что и в наземном слоевом газификаторе, нами разработана лабораторная установка для газификации углей в наземных условиях. В основу технологического процесса положен эффект «обратной тепловой волны» (Степанов С.Г., 2003). Принципиальная схема установки приведена ниже.



Что касается освоения химических технологий переработки горючих газов ПГУ, то здесь в первую очередь необходимо научиться управлять составом горючего газа в соответствии с направлением его предполагаемого использования, а также добиться внедрения глубоких методов очистки горючего газа от летучих смол.

АННОТАЦИЯ

Разработана опытная установка, позволяющая варьировать рабочие параметры процесса газификации угля и обрабатывать различные методические приемы по улавливанию летучих смол.

THE SUMMARY REPORT

The experience unit allowing to vary working parameters of coal gasification process and to fulfil various methodical receptions of flying resins catching is developed.

УДК 658.51

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СИСТЕМ БЕЗОПАСНОСТИ ШАХТЫ

*О.В. Михайлова, к.т.н., доцент кафедры систем автоматизации управления
Новокузнецкий институт (филиал) ФГБОУ ВПО «КемГУ», г. Новокузнецк
А.С. Полосухин, инженер, Новокузнецкий филиал ГОУ ВПО «Национальный
исследовательский Томский политехнический университет», г. Новокузнецк*

В работе анализируется современное состояние многофункциональных систем безопасности шахты на территории Кемеровской области, приводятся результаты сравнительного анализа имеющихся на рынке России систем, обеспечивающих связь, оповещение и определение местоположения персонала, делаются выводы.

In work is analysed modern condition of the multifunctional systems to safety of the mine on territory of the Kemerovo area, happen to the results of the benchmark analysis of the available Russia on the market of the systems, providing relationship, notification and determination of the location of the personnel, are done findings.

В соответствии с пунктом 41 Правил безопасности в угольных шахтах ПБ 05-618-03 с изменениями от 20.12.2010 г., «шахта должна быть оборудована комплексом систем и средств, обеспечивающих решение задач организации и осуществления безопасного производства и информационной поддержки контроля и управления технологическими и производственными процессами в нормальных и аварийных условиях - многофункциональной системой безопасности».

В ее состав входят «автоматические электрические, электронные и программируемые системы, обеспечивающие:

- а) аэрологическую защиту;
- б) контроль состояния горного массива, контроль и прогноз внезапных выбросов и горных ударов;
- в) противопожарную защиту;
- г) связь, оповещение и определение местоположения персонала:

- система наблюдения и определения местоположения персонала в подземных выработках (позиционирование);

- система аварийного оповещения с возможностью передачи сообщений об аварии независимо от его местоположения до, во время и после аварии;

- система поиска и обнаружения людей, застигнутых аварией, с определением местоположения во время аварии и в течение 36 часов после неё через слой породы толщиной не менее 20 м с погрешностью ± 2 м;

- система оперативной, технологической, громкоговорящей и аварийной подземной связи;

- система прямой телефонной и дублирующей её альтернативной связи с аварийной горноспасательной службой, обслуживающей шахту...

Сигнал аварийного оповещения автоматически дублируется в горноспасательную службу, обслуживающую шахту» [1].

На сегодняшний день практически ни одна из шахт Кемеровской области подсистемами аэрологической защиты, контроля состояния горного массива, контроля и прогноза внезапных выбросов и горных ударов не оборудована.

Системы противопожарной защиты имеют весьма ограниченный набор функций.

Таблица 1 - Возможности существующих систем связи, оповещения и определения местоположения персонала.

Характеристики системы		Наименование системы и компания-разработчик													
		SBGPS (НПФ Granch)	(Информационная	(Mine Radio Systems)	(Becker Mining Systems)	«Радиус-2»	СПАС «МИКОН» (Ингортех)	СПГТ-41 (УралТехИс)	Горснабавтоматика (Эниконп)	Иибис+ АППО	(ЭлТэк)	Дейта-экспресс в месте «САТ»	Комплекс шахтной телефонной связи искробезопасный ШТСИ4		
<u>Наблюдение за местоположением объектов</u>		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Мах сигн., м		20	до 50	20-30		80м	50	25-100м	10-250 м	10 – 50м					
Тр,ч		24				7		16-24	16-24						
<u>Оповещение</u>		+	+	+	+	+	+	–	+	–		+	+	+	+
СВЯЗЬ	Оперативная	+	+	+	+		+				???	???		+	+
	Технологическая	+	+	+	+	+			+					+	+
	Громкоговорящая		–	+								+	+	+	+
	Аварийная				+	+			+			+	+	+	+
Персональный вызов		+	+	+	+	+		+	+		+	+	+	+	+
<u>Поиск и спасение людей под землей</u>		+	–	+	+	+	+	–	+	+		+	+	–	–
Мах (завал), м				до 25		5-15 (±1)	(±2)		6	???		???	???		
Тр (поиск)									24 ч	???		???	???		

Немного лучше обстоят дела с подсистемами связи, оповещения и определения местоположения персонала. Результаты сравнительного анализа этих подсистем, представленных на рынке России, приведены в таблице 1.

Однако, ни одна из них в полной мере не соответствуют требованиям, предъявляемым последней редакцией Правил техники безопасности по функциональным возможностям, а также требуемой структуре связи многофункциональной системы безопасности шахты с контролирующими организациями (рисунок 1), так как автоматического дублирования сигнала аварийного оповещения в горноспасательную службу, обслуживающую шахту, ни в одной из существующих систем не производится.

Кроме того, в силу специфики программного обеспечения, разрабатываемого специально для работы с оборудованием конкретного производителя, хотя и открытого для приема-передачи данных извне, ни одна из подсистем связи, оповещения и определения местоположения персонала не может являться основой для создания многофункциональной системы безопасности шахты.

Эти системы должны разрабатываться индивидуально для каждой шахты как интегрированные автоматизированные информационно-управляющие системы, осуществляющие обмен данными с уже существующими и вновь создаваемыми подсистемами управления технологическими и производственными процессами предприятия в автоматическом или автоматизированном режиме.

Принятые в таблице условные обозначения:

??? – сведения отсутствуют;

+ - существует в системе;

_ - не существует в системе;

+ _ - возможно подключение к системе;

Тр - время поддержания работоспособности: (поз.) - при прекращении подачи электроэнергии от основных источников, (поиск) - после аварии;

Мах - максимальная дальность обнаружения: (завал) - сквозь завал, (откр.) - в открытых подземных выработках, м;

Мах сигн. - максимальное расстояние для улавливания сигнала, м.

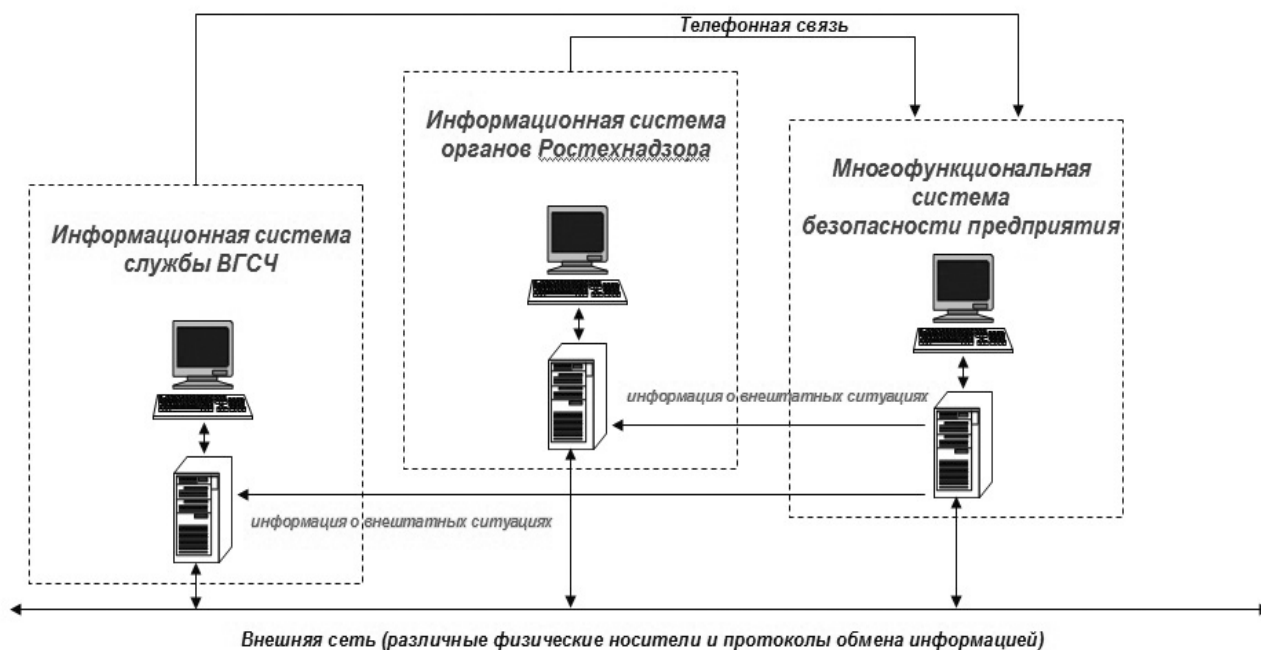


Рисунок 1 – Требуемая структура связи многофункциональной системы безопасности шахты с контролирующими организациями

Применение только организационных мер для обеспечения взаимодействия между элементами многофункциональной системы безопасности шахты неизбежно приведет к возникновению аварийных ситуаций из-за больших объемов передаваемой и обрабатываемой информации и присутствия человеческого фактора.

Оптимальное сочетание программно-аппаратных средств, применяемых для создания таких систем, может быть определено индивидуально для каждой шахты и не требует унификации.

Однако, при этом минимальный перечень распознаваемых и прогнозируемых многофункциональной системой аварийных ситуаций, а также требования к достоверности, степени защищенности и периодичности предоставляемой подсистемами информации должны быть закреплены нормативными документами, обязательными для всех предприятий угольной отрасли.

Список литературы

ПБ 05-618-03 Правила безопасности в угольных шахтах с изменениями от 20.12.2010 г.
www.radius-nvic.ru
www.eltechrussia.ru
www.inbis-gua.ru
www.becker-mining.com
www.comnews.ru
www.granch.ru
www.advis.ru

МОДУЛИ ПОРОШКОВОГО ПОЖАРОТУШЕНИЯ «ТУНГУС» ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОБЪЕКТОВ УГОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

***Работа объединенных секций «Промышленная безопасность в угольной отрасли»
и «Проблемы угольного метана: метанобезопасность угольных шахт, извлечение
и использование метана».***

Авторы: Никитин Д.Н. Ненашев Р.В.

ЗАО «Источник плюс», созданное специалистами Федерального научно-производственного центра «Алтай» для решения конверсионных задач, является одним из ведущих предприятий России по разработке средств порошкового пожаротушения.

На предприятии разработана и освоена в серийном производстве широкая номенклатура эффективных и надежных средств пожаротушения, получивших название модулей порошкового пожаротушения (МПП) «Тунгус», которые обеспечивают тушение очагов пожара на ранней стадии их возникновения в автоматическом, автономном, самосрабатывающем режимах. По техническим, технико-экономическим и эксплуатационным характеристикам они превосходят существующие отечественные и зарубежные аналоги. Сохраняют работоспособность в течение 10 лет без технического обслуживания. Являются изделиями многократного использования.

Модули находят широкое применение в нефтяной, газовой, горно-рудной промышленности, на объектах, транспорта, Министерства обороны, стройиндустрии.

МПП «Тунгус» обеспечивают тушение электрооборудования находящегося под напряжением без ограничения по величине пробивного напряжения огнетушащего порошка. Благодаря этому они находят широкое применение для противопожарной защиты объектов энергетики – трансформаторных подстанций, кабельных каналов, туннелей, шахт.

Для обеспечения пожарной безопасности угольных шахт и объектов горнорудной промышленности в ЗАО «Источник плюс» разработаны и освоены в серийном производстве взрывозащищенные модули порошкового пожаротушения (МПП) «Тунгус (Н-РП)» с маркировкой взрывозащиты МПП РП ExiaI X и МПП «Тунгус(Н-РО-Х)» с маркировкой взрывозащиты РО ExiaI/OExiaII CT3. Новые разработки предназначены для использования в подземных выработках шахт, рудников, наземных строений, опасных по газу и/или пыли. Для оперативного подавления очагов пожара разработаны установка залпового тушения огня «Тунгуска» и забрасываемое в очаг пожара вручную устройство МПП «Тунгус 5-Р».

Разработанные изделия обеспечивают защиту объектов на площади от 2 до 80 м², в объеме от 2,4 до 250 м³ с высоты от 1 до 16 метров. Они имеют настенное, потолочное и напольное исполнения, обеспечивают выброс огнетушащего порошка в любом направлении, поэтому при их использовании исключается возможность образования теневых зон и обеспечивается надежное тушение очагов пожара в течение нескольких секунд с момента их возникновения. При использовании различных модификаций МПП «Тунгус» может быть обеспечена

противопожарная защита объектов любой конфигурации и протяженности. Имеется специальное исполнение МПП, обеспечивающее возможность их эксплуатации в диапазоне температур от минус 60 до плюс 90°C.

Огневые испытания МПП «Тунгус», проведенные в рудниках на объектах ООО «Югстрой» подтвердили их высокие технические и эксплуатационные характеристики. С их помощью были успешно проведены испытания по тушению очагов пожара на конвейерных лентах.

МПП «Тунгус» рекомендованы к применению Техническим Советом по развитию угольной отрасли, промышленной и экологической безопасности Кемеровской области для использования в угольной промышленности. Институт горного дела Сибирского отделения Российской Академии наук подтвердил целесообразность использования МПП «Тунгус» в рудниках, машинных камерах, подземных электростанциях, на складах ВВ и в иных капитальных горных выработках.

МПП «Тунгус» внедрены на объектах угольной и горнорудной промышленности Кузбасса и Краснодарского края, а используемый в их составе высокодисперсный огнетушащий порошок «Исто-1» рекомендован НЦ «ВОСТНИИ» и ЗАО «Межведомственная комиссия по взрывному делу» при Академии Горных наук для использования в системах взрывоподавления – локализации взрывов АСВП-ЛВ с целью защиты подземных горных выработок угольных шахт.

УДК 622.44

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ И ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ КРУПНЫХ ОСЕВЫХ ВЕНТИЛЯТОРОВ ГЛАВНОГО ПРОВЕТРИВАНИЯ ШАХТ СЕРИИ ВО

*Н.Н. Петров, г.н.с., д.т.н., Н.В. Панова, аспирант, Н.А. Квитка, инженер,
УРАН ИГД СО РАН, г. Новосибирск*

Надежность вентиляторных установок главного проветривания (ВУГП) является одним из основных условий устойчивой работы горных предприятий и безопасности ведения подземных горных работ. Важнейшим параметром их надежности является наработка на отказ основных узлов и деталей, неисправность которых может вызвать аварийную ситуацию в целом на шахте. Статистический анализ отказов ВУГП, приведенный в работе [1] показал, что до 75% отказов осевых вентиляторов приходится на выход из строя трансмиссионных валов и зубчатых соединительных полумуфт.

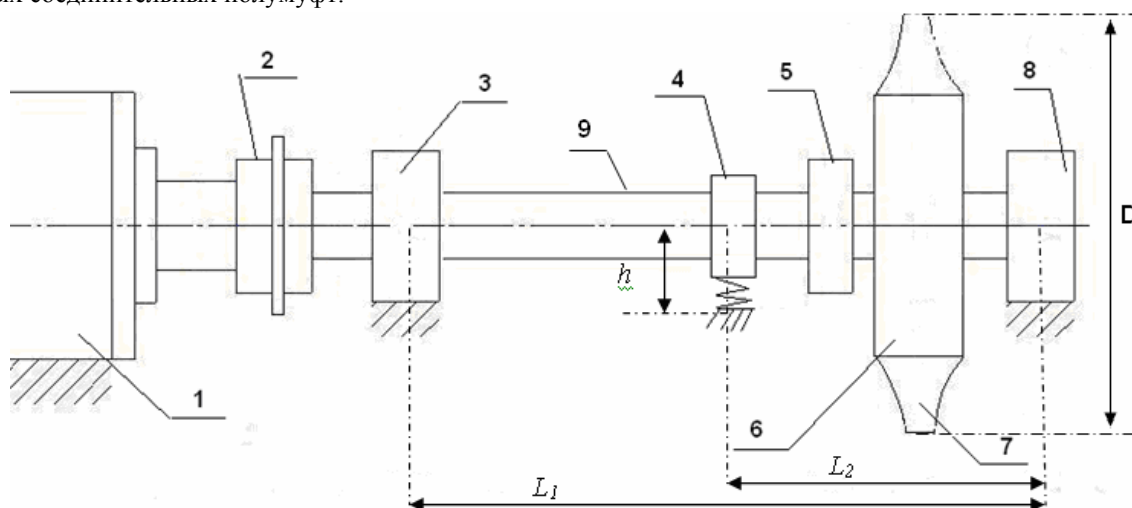


Рис.1 Компоновочная схема роторов вентиляторов серии ВО

1 – эл. двигатель; 2 – муфта зубчатая; 3 – радиальная опора; 4 – демпферная опора; 5 – механизм поворота лопаток РК; 6 – РК; 7 – двойная листовая лопатка; 8 – радиально-упорная

Новый ряд осевых вентиляторов главного проветривания серии ВО [2], компоновочная схема которых показана на (рис.1), содержит машины с диаметром рабочего колеса D равным 2100, 2400, 3000, 3600, 4300 и 5000 мм. Для которых расстояние между основными опорами L_1 находится в пределах $1.7D - 1.74D$ мм. Расстояние между демпферной опорой и радиально-упорной L_2 в диапазоне $0.72D - 0.76D$ мм. Максимальное смещение коренного вала ротора h для различных проектов вентиляторов составляет $2.4 \cdot 10^{-4} - 1.4 \cdot 10^{-3}$ мм. Крупные вентиляторы диаметром рабочего колеса 4300 мм с мощностью электропривода до 4800 кВт и частотой вращения до 750 об/мин и 5000 мм с мощностью электродвигателя до 6500 кВт и частотой вращения до 500 об/мин осваиваются в производстве. На стадии проектирования выполнялись прочностные расчеты основных элементов: коренных валов роторов с подшипниковыми опорами, корпусов рабочих колес (РК), сдвоенных листовых лопаток РК и т.п.

Одна из проблем, решенных при разработке нового ряда шахтных вентиляторов был отказ от существующих сложных схем каналов подвода воздуха и как следствие изменение в конструкции вентилятора традиционных трансмиссионных валов на длинные коренные валы и увеличение расстояния между опорами. Например, в проекте с рабочим колесом диаметром 4300 мм длина коренного вала между радиальной и радиально-упорной опорами достигает значения $L_1 = 7760$ мм. При этом основной задачей анализа при проектировании был расчет на собственные формы и частоты колебаний, для достижения необходимой отстройки от возможного резонанса (условие устойчивой работы $\omega_{рабочая} < 0.7 \omega_{кр}$).

Второй задачей анализа является расчет напряженно-деформированного состояния (НДС) основных узлов ротора вентилятора. Для оценки прочности проверяется выполнение условия $\sigma \leq \sigma_t$ и вычисляется запас прочности $n = \sigma_t / \sigma$, при этом коэффициент запаса должен быть не менее 1.3. Так же немало важным является определение максимальных деформаций. В проекте с диаметром РК 4300 мм вследствие значительного расстояния между опорами, и при учете центробежных сил максимальный прогиб коренного вала ротора достигает значения 4.1 мм. Известно [4], что максимально допустимое значение прогиба $[f] = (0.0001 - 0.0005) \cdot l$. Следовательно, для рассматриваемого проекта значение максимального прогиба не вкладывается в пределы допустимого.

Для повышения надежности ротора вентиляторов серии ВО и ограничения прогиба коренного вала ротора была дополнительно установлена демпферная опора (рис. 2) ограничивающая колебания и перемещения в четырех направлениях [3].

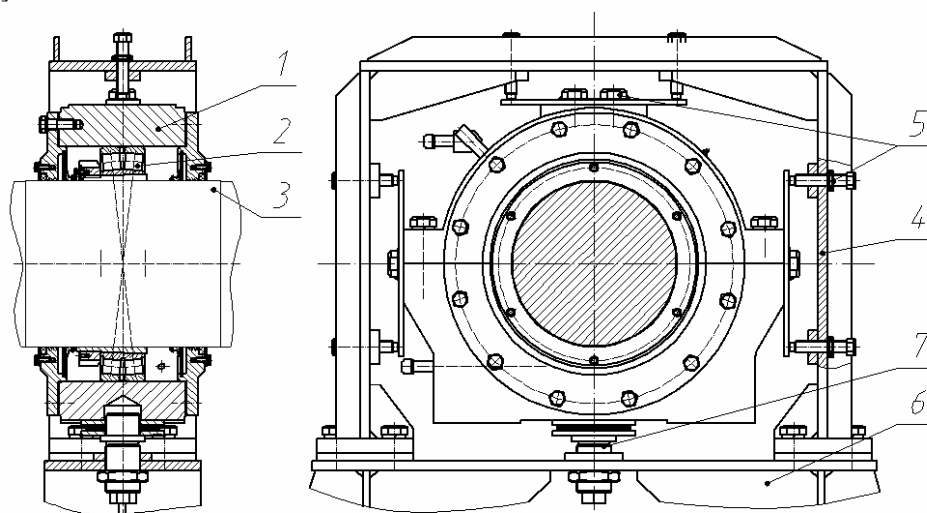


Рис.2 Демпферная опора.

1 – корпус подшипника, 2 – роликоподшипник сферический с закрепительной втулкой, 3 – коренной вал ротора, 4 – каркас съемный, 5 – упругие элементы, 6 – опора корпуса рам, 7- регулируемая

Упругое крепление подшипников к корпусу машины может быть осуществлено различными конструктивными путями. В настоящее время широкое применение получили упругие опоры, выполненные в виде

отдельной детали (или нескольких деталей) устанавливаемой между подшипником и корпусом машины. Ранее упругие опоры конструировались, как правило, с применением витых пружин. Расчет витых пружин и технология их изготовления хорошо разработаны. Однако существенным недостатком в этом случае является резкое увеличение габаритов подшипникового узла. Так же широкое применение в промышленности нашла упругая опора в виде упругого кольца, снабженного радиальными равномерно чередующимися наружными и внутренними выступами. Внутренние выступы воспринимают давление от обоймы подшипника, а наружные передают это давление на жесткий корпус. Достоинство этих опор состоит в надежности, а также в том, что при сравнительно небольших габаритах они позволяют получить упругие опоры требуемой жесткости [5]. Недостатком является не возможность регулирования.

Не регулируемые упругие элементы (5) на рис.2 для нового ряда осевых вентиляторов серии ВО сконструированы с применением рессор и необходимы для отстройки от резонанса. В качестве упругих элементов регулируемой упругой опоры используются тарельчатые пружины ГОСТ 3057-90. Тарельчатые пружины из рессорно-пружинной стали работают при температуре от минус 60 до плюс 120°C. Стандарт не распространяется на пружины, предназначенные для работы в агрессивных или иных средах, когда необходимо применять специальные материалы, что удовлетворяет условиям работы вентилятора. Применение основано на отличии тарельчатых пружин от другого типа пружин следующими характеристиками:

- высокая допустимая нагрузка при незначительной деформации пружины;
- большая компактность по сравнению с пружинами другого типа;
- для достижения требуемых нагрузочных характеристик возможно использование комбинаций различных пружин.

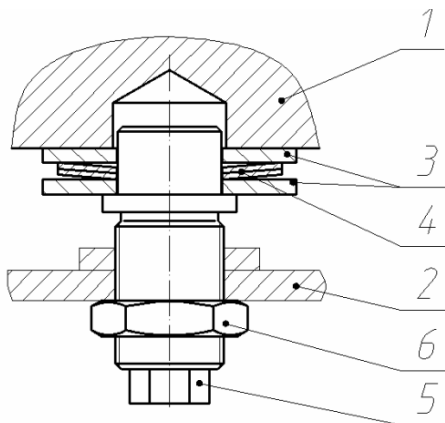


Рис.3 Регулируемая упругая опора в демпфере

1 - корпус подшипника, 2 - опорная поверхность, 3 – шайба переходная, 4 – набор

В опоре используется двухпараллельная схема сборки пакета пружин типа 2 с наклонными кромками и опорными плоскостями.

При применении демпферной опоры повышаются собственные частоты колебаний, корректируется значение прогиба за счет изначальной регулировки пакета пружин по заданной нагрузке и наблюдается более равномерное распределение нагрузки между подшипниками демпферной и радиальной опор, помимо этого система регулирования (рис.3) позволяет компенсировать проседание пружин во время эксплуатации. В системе регулирования палец является направляющей для пакета тарельчатых пружин и регулировочным винтом, гайка необходима для стопорения от произвольного раскручивания и надежной фиксации пальца на необходимую величину сжатия пружин.

Решение изложенных проблем и применение демпферной опоры позволили повысить надежность и эксплуатационную долговечность крупных осевых вентиляторов главного проветривания шахт серии ВО, создание которых имеет для России принципиальное значение, т. к. большая часть горного машиностроения осталась за рубежом.

Список литературы

Демочко С.И., Кузнецов А.В., Паршинцев В.П. Неисправности шахтных вентиляторных установок главного проветривания. - М.: Недра, 1990.

Петров Н.Н. Осевые вентиляторы главного проветривания шахт повышенной адаптивности, экономичности и надежности. «Труды XXII международного горного конгресса». Турция, г. Стамбул. 12-16 сентября 2011г., на 9-ти страницах.

Кушуль М.Я., Шляхтин А.В. Уравновешивание гибких роторов. Изд-во АН СССР. «Механика и машиностроение», 1964, №2.

Горшков А.Г., Трошин В.Н., Шалашилин В.И. Сопротивление материалов: Учеб. пос. 2-е изд., испр. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 544с.

А.С. Кельзон, А.П. Зобнин, А.В. Кузьмин. Исследование упругой опоры с кольцевым упругим элементом. Вибротехника, 2[36], 1979.

Аннотация: в статье изложен комплекс мер по повышению надежности и эксплуатационной долговечности нового ряда осевых вентиляторов серии ВО. Рассматривается возможность применения длинных валов с демпферной опорой.

Annotation: in article the series of measures on increase of reliability and operational durability of a new number of axial fans of a series VO is stated. Possibility of application of long shaft with an elastic support is considered.

УДК 621.634-253.5:533.6

РАЗРАБОТКА НОВЫХ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ СХЕМ ДЛЯ РЕВЕРСИВНЫХ ВЕНТИЛЯТОРОВ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

***Петров Н.Н., г.н.с., д.т.н., Грехнёва Е.Ю., аспирант,
УРАН ИГД СО РАН, г. Новосибирск***

Проблемы развития горного дела во все времена относились к числу приоритетных государственных задач. Одним из важных факторов развития горного дела является совершенствование вентиляции горных предприятий, что обуславливает актуальность разработки новых образцов вентиляционного оборудования, в том числе разработки новой реверсивной аэродинамической схемы для осевых вентиляторов малой мощности.

В рамках работ, проводимых Институтом горного дела СО РАН, научно-исследовательским и опытно-конструкторским институтом «АЭРОТУРБОМАШ» совместно с Институтом гидродинамики им. Лаврентьева, было показано, что реверсивные вентиляторы диаметром меньше 2400 мм не целесообразно выполнять с поворотными на ходу лопатками. Следовательно, для создания рабочих колес реверсивных и регулируемых на ходу вентиляторов малой мощности необходимо рассматривать способ их регулирования и реверсирования изменением соответственно частоты и направления вращения.

Группой исследователей (В. Г. Караджи, Ю.Г. Московко, И. В. Брусиловский и др.) установлено [1], что достаточные реверсивные характеристики неповоротно-лопастных рабочих колес обеспечиваются при использовании лопаток S-образной формы. Однако методы расчета геометрии таких лопаток недостаточно разработаны.

Для проектирования решеток рабочих колес используются различные методы численной оптимизации, основанные на решении прямых задач обтекания решетки с привлечением тех или иных итерационных алгоритмов решения задач гидрогазодинамики.

В отечественной литературе для решения обратной задачи проектирования решеток рабочих колес широко используется метод "дискретных вихрей" [2]. Этот метод был применен нами в ходе решения задачи расчета геометрических параметров решетки лопаток рабочего колеса реверсивных вентиляторов главного проветривания со сдвоенными листовыми лопатками [3].

При исследовании обтекания решетки сдвоенных S – образных лопастей рабочего колеса вводятся предположения, которые берутся за основу математической модели: 1) лопасти колеса тонкие (это предположение позволит упростить задачу, рассматривая профили кольцевой решетки как разрезы на комплексной плоскости); 2) среда моделируется идеальной несжимаемой жидкостью; 3) течение потенциально; 4) справедлива гипотеза цилиндрических сечений.

В рамках введенных предположений, основываясь на гидродинамической теории решеток и теории функции комплексного переменного можно прийти к системе сингулярных интегральных уравнений относительно интенсивности вихрей $\gamma_j(\xi_j)$ [3]:

$$\text{Im} \left\{ e^{i\alpha_m} \left[\frac{1}{2ih} \sum_{j=1}^2 \int_{L_j} \gamma_j(\xi_j) (\text{cth } \pi(z_m - \xi_j) + 1) d\xi_j + V_\infty \right] \right\} = 0. \quad (1)$$

Дополнительные условия, накладываемые на рассматриваемое течение, могут быть сформулированы относительно функции $\gamma_j(\xi_j)$: 1) постоянство циркуляции скорости потока вокруг профилей решетки для всех цилиндрических сечений; 2) безударность входа потока в решетку, т.е. равенство касательных скоростей жидкости у передней кромки и снизу профиля.

Для решения полученной системы сингулярных уравнений (1) использовался метод "дискретных вихрей", идея которого состоит в следующем. Непрерывный вихревой слой, моделирующий несущую поверхность и след за нею, заменяется системой дискретных вихрей. На несущей поверхности выбираются точки, называемые контрольными (расчетными), в которых выполняется условие непротекания. Задача нахождения неизвестных циркуляций дискретных вихрей сводится к системе линейных алгебраических уравнений, которая решается численно методом Гаусса с выбором максимального элемента [4].

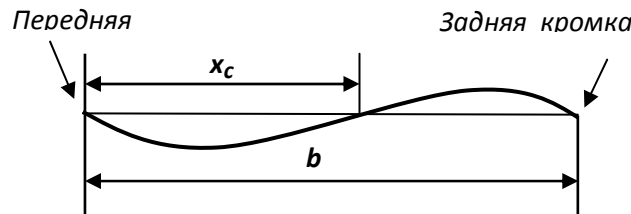


Рис.1 S-образная лопасть рабочего колеса: b - хорда профиля, x_c – расстояние от передней кромки профиля до точки перегиба.

В результате получено значение суммарной циркуляции вокруг профилей решетки в каждом сечении

лопатки: $\Gamma_i = \sum_{k=1,2} \gamma_i(\xi_k)$, $i=1..m$, m – количество выбранных сечений. Далее вводим целевую функцию:

$f_i = \left| \Gamma_k - \Gamma_i \right|$, где i - номер сечения. При этом f_i – функция от параметров, определяющих геометрию решетки.

Дальнейшая задача сводится к нахождению минимума целевой функции f_i .

Количество варьируемых параметров можно сократить, используя дополнительные условия.

При решении задачи аэродинамического проектирования рабочих колес реверсивных осевых вентиляторов важную роль имеет выбор функции, описывающей срединную линию профилей решетки рабочего колеса.

В работе было исследовано 4 вида функции:

$$y_1(x) = \begin{cases} G_1(x), & 0 \leq x \leq x_c / 2 \\ G_2(x), & x_c / 2 \leq x \leq x_c \\ G_3(x), & x_c \leq x \leq (b + x_c) / 2 \\ G_4(x), & (b + x_c) / 2 \leq x \leq b \end{cases}; \quad (2) \quad y_2(x) = \begin{cases} P_1(x), & 0 \leq x \leq x_c / 2 \\ P_2(x), & x_c / 2 \leq x \leq x_c \\ P_3(x), & x_c \leq x \leq (b + x_c) / 2 \\ P_4(x), & (b + x_c) / 2 \leq x \leq b \end{cases}; \quad (3)$$

$$y_3(x) = \begin{cases} E_1(x), & 0 \leq x \leq (b + x_c) / 2 \\ E_2(x), & (b + x_c) / 2 \leq x \leq b \end{cases}; \quad (4) \quad y_4(x) = \begin{cases} F(x), & 0 \leq x \leq b \end{cases}; \quad (5)$$

где $G_1(x)$, $G_4(x)$, $P_1(x)$, $P_4(x)$, $E_1(x)$, $F(x)$ – полиномы 2 и 4-й степени, $G_2(x)$, $P_3(x)$ – косинусоиды, $P_2(x)$, $G_3(x)$, $E_2(x)$ – синусоиды.

Методом "дискретных вихрей" были получены расчетные зависимости коэффициентов подъемной силы C_{y0} и профильного сопротивления C_{x0} от угла атаки α для четырех исследуемых профилей (рис.2).

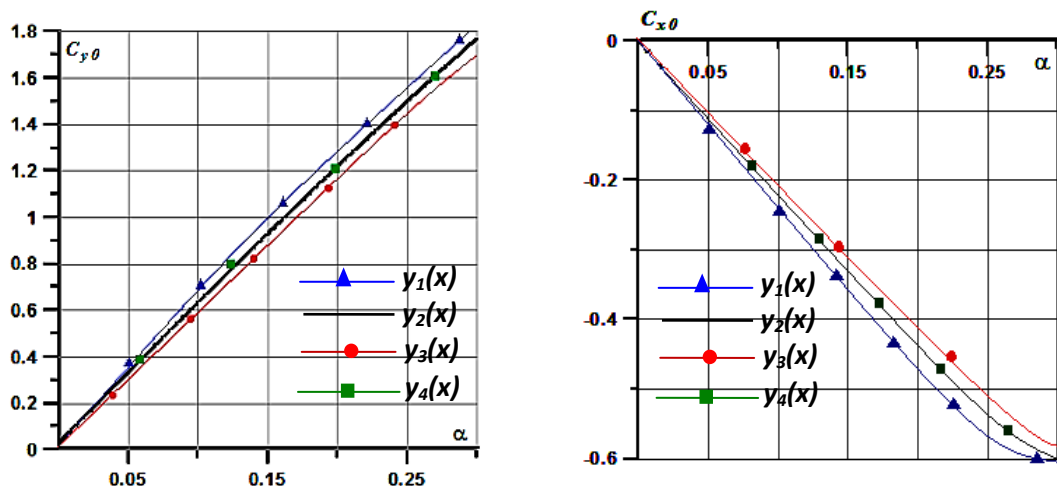


Рис. 2. Расчетные зависимости коэффициентов аэродинамических сил от угла атаки для исследуемых профилей.

Из полученных расчетных зависимостей видно, что срединная линия тонкого профиля, описываемая функцией $y_1(x)$ имеет наибольший максимальный коэффициент подъемной силы $C_{y \max}$ (следовательно, и наибольшую суммарную циркуляцию вокруг профиля) и наименьший минимальный коэффициент профильного сопротивления $C_{x \min}$. Таким образом, тонкий профиль со срединной линией $y_1(x)$ имеет наибольший параметр аэродинамического совершенства $C_{y \max} / C_{x \min}$.

В результате проведенных исследований, в качестве исходной для расчета геометрических параметров рабочего колеса осевого реверсивного вентилятора малой мощности была выбрана функция $y_1(x)$, состоящая на $1/4$ из полинома 4-й степени, $1/4$ косинусоиды, $1/4$ синусоиды и $1/4$ из полинома 2-й степени.

Другим дополнительным условием является взаимное расположение лопастей в решетке. Был проведен численный анализ относительных эпюр скоростей вдоль поверхностей S-образных “профилей” (рис.3), который позволил оценить эффективность обтекания решетки, диапазон рациональных режимов ее использования, а также возможность возникновения отрыва потока.

Значения индуктивной скорости в точках расположения вихрей i для каждого из “профилей” определяется из выражения

$$\omega_{t i n} = - \sum_{n=1}^2 \sum_{k=1}^{i-1} \gamma_{k n} \varphi_{t k i n} - \sum_{n=1}^2 \sum_{k=i+1}^{m_n} \gamma_{k n} \varphi_{t k i n},$$

где $\varphi_{t k i n}$ – составляющая безразмерной скорости, касательной к поверхности n -го “профиля” сдвоенной решетки, вызванная k -ым вихрем в точке расположения i -го вихря.

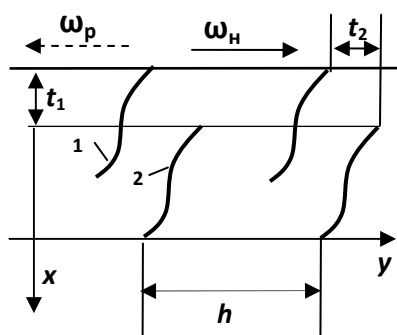


Рис. 3. Взаимное расположение сдвоенных лопастей рабочих колес: h – шаг решетки, t_1 – расстояние между “профилями” по оси x , t_2 – расстояние между “профилями” по оси y , 1,2 – соответственно первая и вторая лопасти, ω_n , ω_p – направление вращения решетки при нормальной и реверсивной работе

Было проведено численное исследование обтекания “профилей” при различных значениях параметров t_1 и t_2 , при этом значения параметра t_1 изменялись в диапазоне $0 \div 35 \cdot h$, а параметр t_2 – в диапазоне $0.05 \cdot h \div 0.25 \cdot h$.

На рис.4 показаны относительные скорости сверху и снизу “профилей” для двух предельных случаев: а) самого не рационального расположения “профилей”: $t_1=0$, $t_2=0.25h$, б) наиболее рационального: $t_1=0.16h$, $t_2=0.15h$.

Из графиков видно, что в первом варианте на входе в “профили” наблюдаются значительные градиенты скорости, которые могут привести к возникновению в реальном течении местных отрывных зон. Во втором случае имеет место наиболее эффективный для решеток тонких S-образных “профилей” режим обтекания.

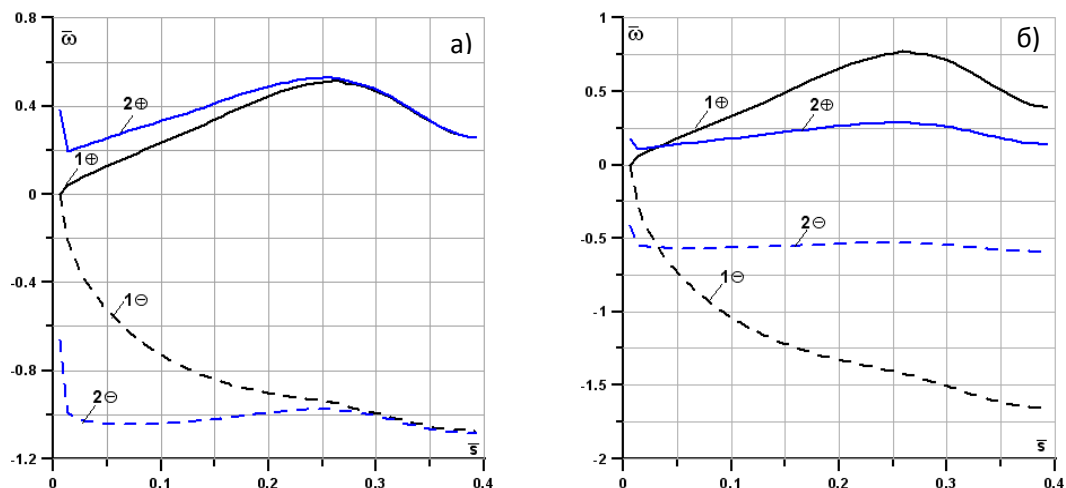


Рис.4 относительные скорости сверху и снизу профилей при различных значениях параметров t_1 и t_2 : а) $t_1=0$, $t_2=0.25h$, б) $t_1=0.16h$, $t_2=0.15h$

Проведенные исследования позволили разработать аэродинамические схемы и конструкции рабочих колес реверсивных вентиляторов малой мощности диаметром 1000, 1200 и 2100 мм, на основе которых спроектированы реверсивные вентиляторы местного проветривания [5].

Список литературы:

- Брусиловский И. В. Аэродинамика и акустика осевых вентиляторов. Труды ЦАГИ им. проф. Н. Е. Жуковского // М.: Издательский отдел ЦАГИ, 2004, вып. 2650.
- Белоцерковский С. М., Лифанов И.К. Численные методы в сингулярных интегральных уравнениях и их применение в аэродинамике, теории упругости, электродинамике // М.: "Наука", 1985.
- Петров Н.Н., Попов Н.А., Батяев Е.А., Новиков В.А. Теория и проектирование реверсивных осевых вентиляторов с поворотными на ходу лопатками рабочего колеса // ФТПРПИ. - 1999. - № 5. - с. 79-92.
- Петров Н.Н., Грехнёва Е.Ю. Методы проектирования и расчета лопаточных систем осевых вентиляторов // Труды конференции с участием иностранных ученых "Фундаментальные проблемы формирования техногенной геосреды". Т. III. Машиноведение, 2010, с.292-297
- Петров Н.Н., Грехнёва Е.Ю. Разработка аэродинамических схем для реверсивных вентиляторов местного проветривания. Энергетическая безопасность России. Новые подходы к развитию угольной промышленности : Труды международной научно-практической конференции, Кемерово, 2010, с.53-55

Аннотация: Рассмотрена задача разработки новых аэродинамических схем реверсивных вентиляторов малой мощности. Предложена методика расчета геометрии реверсивных рабочих колес, основанная на методе дискретных вихрей. Проведено исследование и выбор функции, описывающей срединную линию профиля.

Abstract: The problem of designing of new aerodynamic schemes of reversible low power fan is considered. The technique of calculation of geometrical parameters of reversible impellers based on the methods of discrete eddies is proposed. The research and choice of the function describing a median line of a profile is carry out.

АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА РУДНИЧНОЙ АТМОСФЕРЫ К НЕПРЕРЫВНОМУ ДИСТАНЦИОННОМУ КОНТРОЛЮ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ПРИКОНТУРНОЙ ЧАСТИ ПЛАСТА

Плаксин Максим Сергеевич, м.н.с., Институт угля СО РАН, г. Кемерово

АННОТАЦИЯ: Приведены основные результаты анализа динамики метанообильности подготовительных выработок, проводимых по угольным пластам различной выбросоопасности. Показано недостаточность технических возможностей системы рудничного мониторинга требованиям автоматизированного контроля газодинамического состояния приконтурной части пласта.

ABSTRACT: the basic results of the analysis of dynamics methane emission the development workings spent on coal seams of various outburst hazard Are resulted. Complete conformity of technical features of system of miner monitoring to requirements of the automated control gas-dynamic conditions marginal part of seam.

В настоящее время шахты Кузбасса оснащаются современными электронными системами аэрогазового мониторинга горных работ. Мгновенно поступающая на поверхность информация может использоваться в качестве базовой для оценки газодинамической опасности призабойной части пласта при проведении подготовительной выработки.

По данным отображенным на рисунке 1 можно судить о качестве поступающей информации.

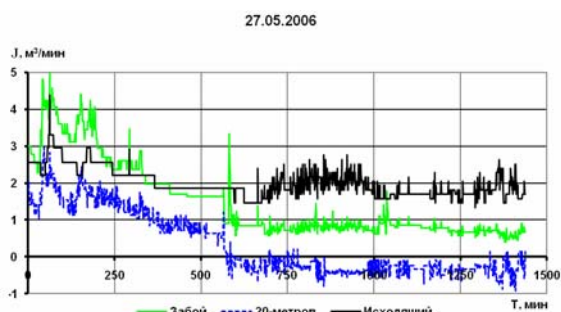


Рис.1. Фрагмент динамики метанообильности подготовительной выработки

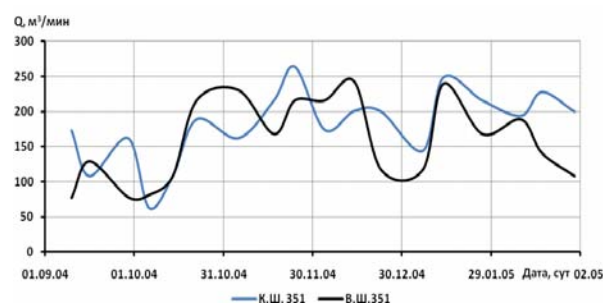


Рис.2. Разность расходов воздуха в забое и на исходящей струе подготовительных выработок

Типовая схема аэрогазового мониторинга по длине тупиковой выработки [1], состоит из 3-х датчиков замера концентрации метана и датчика расхода воздуха, но для целей контроля опасности изменений структуры, свойств и состояний массива каждый из них малопродуктивен. Анализ горнотехнологических данных показал, что причины этому следующие.

Показания забойного датчика имеют ярко пульсирующий характер в связи с турбулентными процессами в зоне его расположения, что затрудняет оценку ситуаций, формирующихся в приконтурной части пласта.

Датчик концентрации метана, установленный на расстоянии 20 м от забоя, оказывается, как правило, в зоне утечек воздуха через стык вентиляционных труб и показывает концентрацию газа, меньшую показаний не только забойного датчика, что логично, но и датчика на исходящей из выработки струе. На рисунке 2 показана разность декадных замеров расхода воздуха в забое и устье протяженной выработки. Расход воздуха с приближением к устью выработки нарастает, а приток метана через ее борта снижается. Следовательно, концентрация метана в 20 метрах от забоя не может быть ниже, чем на исходящей струе.

Показания датчика концентрации метана, установленного у устья выработки, имеют меньшие пульсации, но на их абсолютную величину накладывает влияние процесс продольно-турбулентной диффузии и динамика газокинетической реакции призабойной части пласта сглаживается, что также затрудняет суждения об уровне опасности.

Естественно решение интегрировать по соответствующей модели показания всех трех датчиков. Но анализ данных для выработок длиной в сотни метров показал, что концентрация метана у устья выработки столь сильно теряет связь с динамикой процессов у забоя, что может служить только для оценки общей метанообильности.

В результате рассмотрения газогемеханических процессов в приконтурной части пласта на основе явления зональной дезинтеграции [2] установлено, что для наиболее типичных горнотехнологических условий схема размещения датчиков будет обеспечивать решение задач контроля уровня газодинамической активности при размещении второго датчика на расстоянии от забоя 50-70 м при скорости его подвигания до 200 м/месяц. А надежность информации может быть повышена путем совмещения датчиков концентрации метана и скорости вентилиционной струи во всех точках контроля (рис.3).

Далеко не все шахты России полностью оснащены электронными системами мониторинга. Достаточно значительная часть этих наблюдений выполняется аппаратурой «Метан» с самописцами на диаграммной ленте (рис.4). Как показал опыт неоднократных попыток автоматизации прогноза выбросоопасности [3] на этом техническом уровне обеспечить оперативность объективной оценки ситуаций невозможно. Для устранения затруднения ИУ СО РАН совместно с ЗАО «Мета» был разработан и изготовлен прибор для преобразования графической информации в цифровую (ППГИЦ) (Рис.4.). При этом был произведен обзор рынка программного обеспечения для преобразования графического изображения в данные электронных таблиц. Выбор был сделан в пользу программного обеспечения «GetData Graph Digitizer v2.22». Обработав графический рисунок отрезка ленты самописца (Рис.5) получили в результате табличные данные, о точности которых можно делать выводы из сравнения рис.4 и рис. 6.

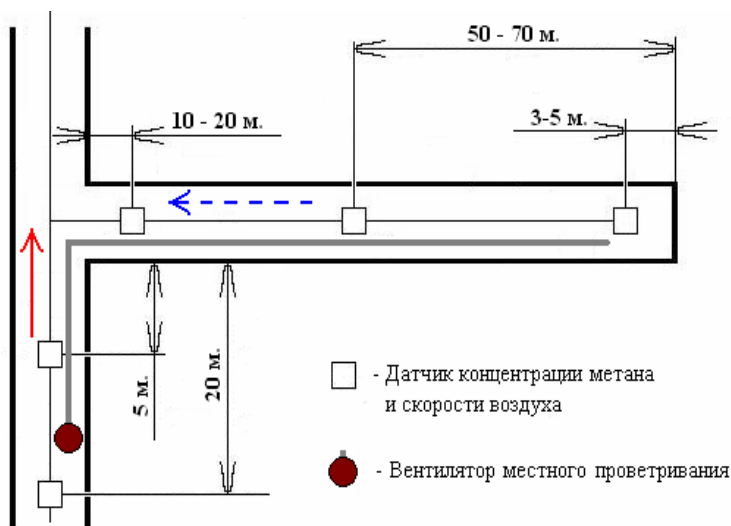


Рис.3. Схема рекомендуемых изменений расположения замерных станций

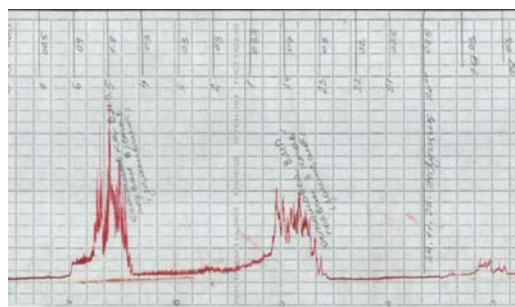


Рис.4. Отрезок ленты самописца



Рис.4. Прибор ППГИЦ

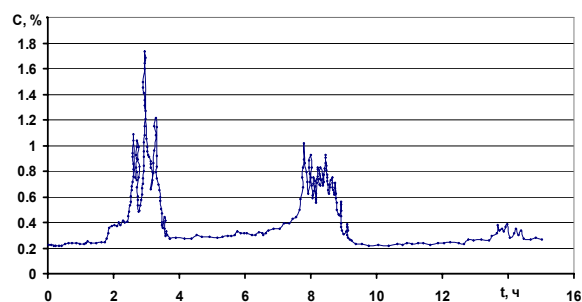


Рис.6. Изменение концентрации на основании оцифрованных данных

Основные характеристики ППГИЦ приведены в таблице.

Таблица

Ширина ленты бумажного рулона	10 мм	Скорость протяжки ленты	0,5 м/мин
Максимальная длина ленты	15 м	Масса прибора в корпусе с ноутбуком	6 кг
Протяжка бумажной ленты пошаговая	297 мм	Габаритные размеры с корпусом	430x130x310 мм

Разработанный прибор ППГИЦ может быть рекомендован к применению на шахтах, использующих ленточные самописцы в качестве регистратора информации, для последующего ее перевода в цифровые данные с целью оперативной оценки газодинамической активности приконтурной части пласта.

Метанообильность подготовительной выработки отражает газоистощение приконтурной части пласта. И по мере подвигания забоя выработки по угольному пласту, зоны геологических нарушений содержат в своей структуре уголь с существенно отличающимися газокинетическими характеристиками. Выявление которых – является главной задачей оперативных методов оценки газодинамической активности пласта.

Как показывают исследования, использование поступающих без обработки данных о метанообильности малоинформативно (рис.1), необходимо использовать интегральный показатель, более «обобщенно» отражающий состояние приконтурной части пласта. В качестве примера, на рис. 7 в масштабе канонической шкалы зональной дезинтеграции пород [2] отражено изменение среднечасовой метанообильности непосредственно перед внезапным выбросом.

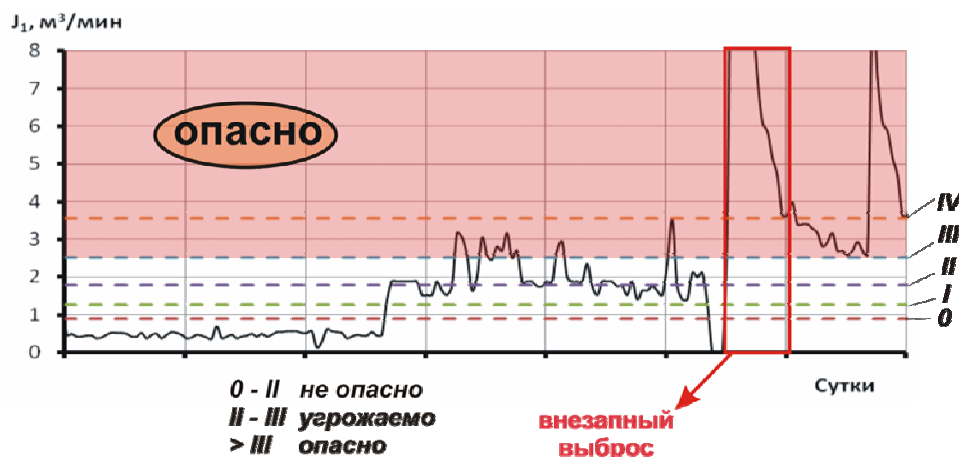


Рис.7. Общее метановыделение из выработки перед внезапным выбросом в канонической шкале

Преимущества автоматизации прогноза на основе новых научных знаний не только повышают надежность, но своей оперативностью отвечают запросам промышленности по повышению темпов горнопроходческих работ. Нормативный метод текущего прогноза выбросоопасности при проведении выработок по угольным пластам на выбросоопасных глубинах существенно ограничивает скорости их проведения. Тогда как не более 10 % от общей протяженности проводимых подготовительных выработок проходится в зонах реальной выбросоопасности. Эта «перестраховка» является показателем системной недостаточности метода.

Таким образом, получаемая с учетом установленных закономерностей и разработанных технических средств информация о динамике метанообильности подготовительных выработок, позволяет ранжировать газодинамическую активность пласта по уровням опасности.

Работа выполнена с поддержкой финансирования по интеграционному проекту СО РАН № 61 «Землетрясения, горные удары, внезапные выбросы породы, угля и газа: механизмы формирования и критерии прогнозирования катастрофических событий».

Список литературы:

Методические рекомендации о порядке проведении аэрогазового контроля в угольных шахтах (РД-15-06-2006). Серия 05. Выпуск 13 / Колл.авт. – Федеральное государственное унитарное предприятие «Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России», 2007.

Опарин, В. Н. Зональная дезинтеграция горных пород и устойчивость подземных выработок / В.Н. Опарин, А.П. Тапсиев, М.А. Розенбаум, В.Н. Рева, Б.П. Батдиев, Э.А. Троп, А.И. Чанышев. – Новосибирск: Изд-во СО РАН. –2008. –278 с.

Методика прогноза газодинамических явлений с использованием аппаратуры контроля метана при проведении подготовительных выработок. - Кемерово: ИУ СО РАН, 1994. - 14 с.

УДК 622.831+004.6

ПОБД СОБСТВЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ ГПНТБ СО РАН «МЕТАН В УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ»: ХАРАКТЕРИСТИКА И АНАЛИЗ ИНФОРМАЦИОННОГО МАССИВА

О.Л. Лаврик (заместитель директора по научной работе),

В.В. Рыкова (старший научный сотрудник),

Е.И. Лукьянова (заведующая сектором Отдела научной библиографии)

Государственная публичная научно-техническая библиотека СО РАН, Новосибирск

Современные информационные технологии позволили библиотекам совершить прорыв в информационно-библиографическом обслуживании пользователей, обеспечивая свободный доступ к мировым информационным ресурсам. С другой стороны лавинообразный рост потока документов приводит к тому, что необходимая информация теряется в нем, так как материал неструктурирован, выявляется много нерелевантного материала, так называемого «информационного шума». Оптимальным решением данной проблемы является создание проблемно-ориентированных баз данных (ПОБД), в которых материал тщательно отобран из наиболее релевантных источников, проанализирован и структурирован согласно разработанному рубрикатору. Полученный информационный продукт ориентирован на конкретную проблему, создается в тесном сотрудничестве с потребителем, отвечает предъявляемым им требованиям.

Для решения проблем, связанных с газовойделением в угольных шахтах ГПНТБ СО РАН создает реферативную ПОБД «Метан в угольных шахтах» с глубиной ретроспективы 30 лет для информационного сопровождения научных исследований ученых и специалистов в рамках Международного интеграционного проекта № 60 «Комплексные междисциплинарные исследования факторов прогноза и генезиса внезапных выбросов и взрывов метана в угольных шахтах России и Украины» [1]. Основой для создания БД послужили РЖ ВИНТИ «Горное дело», прикнижная и пристатейная библиография, доступные ресурсы Интернет. Текущее пополнение осуществляется путем обследования обязательного экземпляра, получателем которого является ГПНТБ СО РАН; зарубежных изданий, получаемых по подписке и международному книгообмену, удаленных БД. Каждый документ вышеозначенной ПОБД включает полное библиографическое описание, расширенную аннотацию или реферат, индексы рубрикаторов ГРНТИ и тематического, а также предметные рубрики. Для

реферирования документов, большую их часть пришлось просматривать de visu. Монографические издания снабжены индексами УДК и ББК. Информационный массив (ИМ) включает самые разнообразные виды документов: монографии, статьи из журналов и научных сборников, материалы конференций, симпозиумов, конгрессов, словари, справочники, учебные пособия, авторефераты диссертаций, обзоры, методические рекомендации, патенты, депонированные рукописи, отчеты. Осуществление ретроспективного поиска в БД возможно по разделам рубрикаторов, авторам, редакторам, составителям, году, месту издания, словам и словосочетаниям из заглавий и аннотаций (рефератов), издающим организациям, географической ссылке (при ее наличии в документе), виду и языку публикации. При необходимости можно объединить поисковые поля и осуществить «сложный» поиск по нескольким параметрам одновременно, например, можно найти работы какого-либо автора за определенные годы, или монографии по заданной теме за какой-либо период, или публикации по нужному региону по заданной тематике. Пилотный вариант БД выставлен в Интернете на сайте библиотеки по адресу www.spsl.nsc.ru. ПОБД будет представлен для пользователей в начале 2012 г.

Наукометрические исследования представляют собой новый информационных продукт обзорно-аналитического характера, дающий представление о временной, видовой, тематической, языковой структуре ДИП, отражающий вклад отдельных научных коллективов и ученых в разработку конкретной проблемы, показывающий наиболее продуктивные периодические и весомые монографические издания в данной области научного знания, основные районы полевых работ и тематику конференций, симпозиумов, рабочих встреч, касающихся данной проблематики [2]. ИМ БД «Метан в угольных шахтах» составил более 4500 документов за период 1980-2010 гг. Временная структура ИМ БД показана на Рис. 1, отражающая общую тенденцию роста количества документов за 30-летний период, что подтверждает актуальность исследуемой проблематики.

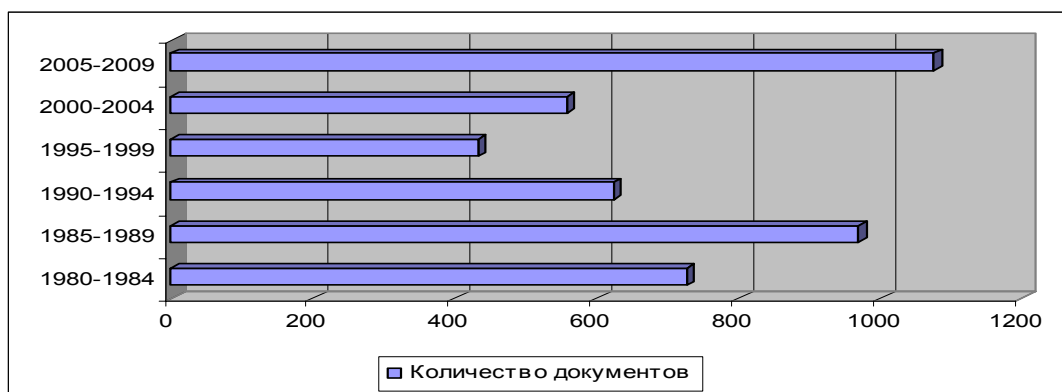


Рис. 1. Временная структура ИМ

В 90-е годы отмечалось резкое снижение публикационной активности, что объясняется экономическими трудностями реформенного периода и уменьшением финансирования, когда расходы на НИОКР сократились в 40 раз, а на научные исследования в 15 раз [3]. Причем минимум документов приходится на период 1993-1998 гг. Вероятно, в первые годы кризисного периода исследовательские работы проводились, базируясь на задел, сделанный в докризисное время. В 2000 г. наметилась устойчивая тенденция роста объема публикаций по рассматриваемой тематике. В последние 5 лет прирост ИМ составлял от 200 до 300 документов в год, так как издания, вышедшие в свет в 2009 и 2010 гг. продолжают активно поступать в фонд библиотеки, окончательное количество записей за данный период будет существенно выше.

Анализ видовой структуры ИМ, отраженный на круговой диаграмме (Рис. 2), показал, что более половины документов (55%) БД составляют статьи из периодических и продолжающихся изданий. Журнальные статьи, будучи самым оперативным источником информации, содержат материалы исследований, завершенных, как правило, 1-2 года назад, а совокупность материалов из периодики является обобщением состояния дел на переднем крае изучения проблемы.

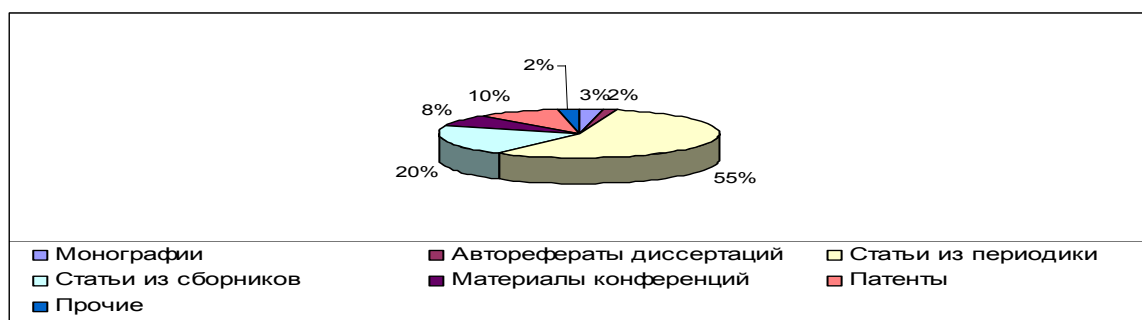


Рис. 2. Видовая структура ИМ

Наиболее продуктивными периодическими изданиями по избранной теме являются «Безопасность труда в промышленности», «Горный информационно-аналитический бюллетень», «Уголь Украины», «Уголь», «Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых», «International Journal of Coal Geology» - это так называемые «ядерные» журналы, вмещающих в себя основную массу публикаций. Пятая часть (20%) ИМ представлена статьями из тематических научных сборников, причем этот вид изданий был популярнее в доперестроечное время по данной проблеме. Отличительная черта анализируемого ИМ – значительная доля патентов (10%), которые являются индикатором инновационной составляющей отрасли. Материалы конференций составили 8% ИМ. Конференции играют значимую роль в обмене информацией между учеными и специалистами и позволяют судить о состоянии современных научных и прикладных исследований. Тематика научных форумов, проведенных в 2010-11 гг., является свидетельством интереса ученых и специалистов к проблеме метана в угольных шахтах в настоящий момент: «Фундаментальные проблемы формирования техногенной геосреды» (Новосибирск), «Энергетическая безопасность России: новые подходы к развитию угольной промышленности» (Кемерово), «Гео-Сибирь-2011» (Новосибирск). Монографии и авторефераты составляют лишь 5% ИМ. Значимость этих видов документов, несмотря на их малую численность, несомненна, так как в них обобщены результаты многолетних исследований. Следует отметить рост монографических изданий в последнее пятилетие, то есть наблюдается переход от накопления информации к ее осмыслению, анализу и синтезу.

Репертуар отбираемой литературы расширен за счет включения электронных публикаций (издания на оптических дисках, поступающие в библиотеку в составе обязательного экземпляра, полнотекстовые БД зарубежных журналов (Scopus, e-Library и др.). Включение информации об электронных публикациях делает возможным оптимизировать структуру БД путем организации системы гиперссылок от библиографических описаний на полные тексты источников (доступ к которым возможен только в сети ГПНТБ СО РАН). Электронные документы составили 10% ИМ БД.

Характеризуя ИМ, важно назвать активно публикующихся авторов и авторские коллективы. Среди авторов, наиболее плодотворно работающих по данной проблеме, хотелось бы отметить А.Т. Айруни и В.С. Забурдяева (Институт горного дела им. А.А. Скочинского), С.В. Сластунова и К.С. Коликова (Московский государственный горный университет), Г.Я. Полевщикова (Институт угля СО РАН), В.А. Рудакова (Кузбасский государственный политехнический университет) (более 50 публикаций в БД). Из научных коллективов (кроме вышеперечисленных) активно развивают данное направление исследований Восточный НИИ по безопасности работ в горной промышленности (Кемерово), Институт комплексного освоения недр РАН (Москва), Государственный НИИ горной механики и маркшейдерского дела (Санкт-Петербург), Макеевский НИИ по безопасности работ в горной промышленности и Донецкий политехнический институт (Украина).

Тематическая структура ИМ БД (Рис. 3) совпадает с предметным рубрикатором, который структурирован следующим образом:

1. Состояние проблемы метана на угольных шахтах. Нормативно-правовые акты (1%);
2. Факторы, влияющие на метано(газо)выделение (11%);
3. Процессы метано(газо)выделения на угольных шахтах (18%);
4. Внезапные взрывы и выбросы метана на угольных шахтах (21%);
5. Методы прогноза и контроля метано(газо)опасности на угольных шахтах (12%);
6. Способы управления (предотвращения) метано(газо)опасности на угольных шахтах (34%);
7. Использование (утилизация) метана(газа) угольных месторождений (3%).

Следует отметить, что более трети ИМ – материалы, относящиеся к способам управления выделением метана, как наиболее актуальному аспекту проблемы, обеспечивающему безопасность работы на шахтах.

Значительное количество работ посвящено исследованию внезапных выбросов и взрывов газа, а также процессов метановыделения. Почти одинаковое количество работ освещает вопросы, связанные с методами прогноза газовыделения и факторами, влияющими на выделение метана из угольных пластов.

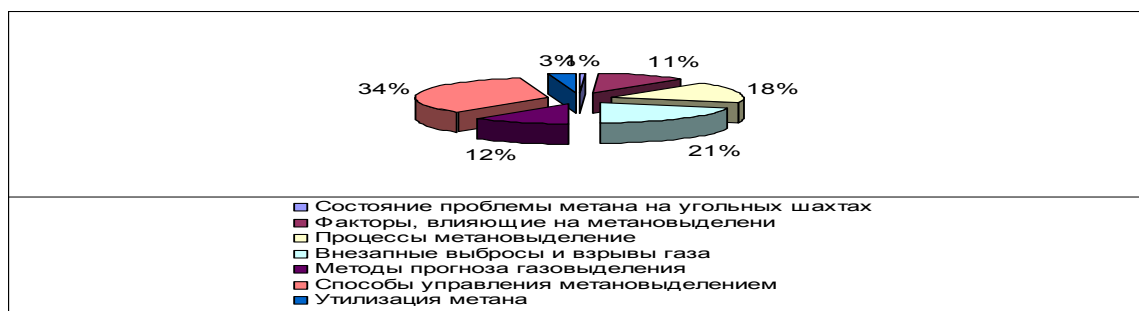


Рис. 3. Тематическая структура ИМ

В языковой структуре БД документов на русском языке в 5 раз больше, чем на иностранных (преимущественно английском). Англоязычные работы - это статьи из иностранных журналов, результаты научных программ и проектов, выполненные в рамках сотрудничества российских и зарубежных ученых и представленные на международных конференциях.

Таким образом, проведен наукометрический анализ ИМ ПОБД, который выявил особенности тематической, видовой, языковой структуры БД, ее динамику, ядерную группу журналов, авторов и учреждения, отличающиеся наивысшей публикационной активностью. Анализ свидетельствует об увеличении информационного потока по рассматриваемой тематике, высоком интересе, проявленном к ней учеными и специалистами. ПОБД «Метан в угольных шахтах» станет хорошей источниковой базой, доступной для всех заинтересованных ученых и специалистов. БД находится в свободном доступе для пользователей Интернета на сайте библиотеки (опции «Электронная библиотека» или «Базы данных»). Документы, информация о которых представлена в наших БД, хранятся в фондах ГПНТБ СО РАН или библиотеках сети, поэтому их можно легко получить по межбиблиотечному абонементу в электронной или традиционной форме. Информацию из БД собственной генерации ГПНТБ СО РАН можно также получить по электронной почте, обратившись по адресу onb@spsl.nsk.ru в Отдел научной библиографии.

Литература

Рыкова В.В., Лукьянова Е.И. Особенности формирования проблемно-ориентированной базы данных «Метан в угольных шахтах» // Распределенные информационные и вычислительные ресурсы (DIRC'2010) : XIII Рос. конф. с участием иностр. ученых (Новосибирск, 30 нояб. – 3 дек. 2010 г.): прогр., тез. докл. – Новосибирск, 2010. – С. 39-40. + CD-ROM.

Состояние и развитие основных направлений научных исследований: библиометрический анализ : сб. науч. тр. / ГПНТБ СО РАН ; ред. Соболева Е.Б. Новосибирск, 2003. 182 с.

Заятдинов Ф.Г. Образование и наука в трансформирующемся обществе // Социол. исслед. 1998. № 11. С. 66-72.

Аннотация: В статье представлена краткая характеристика проблемно-ориентированной базы данных собственной генерации ГПНТБ СО РАН «Метан в угольных шахтах». Проведенный наукометрический анализ БД выявил особенности ее тематической, видовой, языковой структуры, динамику, а также ядерную группу журналов, авторов и учреждения, отличающиеся наивысшей публикационной активностью.

Abstract: A brief characteristics of problem-oriented data base of SPSTL SB RAS own generation “Methane in coal mines” is represented in the article. A scientimetric analysis of DB has been done, which showed its topical, language, type structure, dynamics, as well as the nuclear group of periodicals, authors and institutions with high publication activity.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ И ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ВЗРЫВА МЕТАНОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ В КОМПЛЕКСНО-МЕХАНИЗИРОВАННОМ ЗАБОЕ

В.В. Сенкус, Б.М. Стефанюк, К.Д. Лукин, С.Н. Нагайчук, Вал. В. Сенкус

Новокузнецкий филиал-институт ГОУ ВПО

«Кемеровский государственный университет», г. Новокузнецк

Аннотация. В статье рассматривается возможность реализации автоматизированные системы контроля и предотвращения пылеметановоздушной смеси в комплексно-механизированном забое и обосновываются ее параметры.

Annotation. In article considered realization of automated control system for prevented explosion of fume and aeromethane composite in longwall mine and proved its characteristics.

В работах [1-3] представлены различные автоматизированные системы контроля и управления параметрами воздуха в помещениях цехах, забоях, представляющих взрывоопасность каких либо ингредиентов.

В работе [4] предложен способ мониторинга атмосферы угольной шахты, при котором измеряют концентрацию метана и оксида углерода, взвешенной угольной пыли, температуру воздуха и его скорость в горных выработках, отличающийся тем, что дополнительно измеряют абсолютную влажность воздуха и зольность взвешенной угольной пыли, по величинам измеряемых параметров определяют текущее фактическое значение коэффициента взрывобезопасности шахтной выработки и шахты, который рассчитывается по зависимости

$$K = \frac{x_{\text{мНПВ}}}{x_{\text{м}}} \left\{ 1 - \left(\frac{c_n}{c_{\text{нНПВ}}} \right)^m \right\}^{\frac{1}{m}},$$

$$\text{при } m = 0,66551 - 0,12818 \left(\frac{x_{\text{м}}}{x_{\text{мНПВ}}} \right);$$

$$\text{или } m = 0,53694 + 0,12818 \left(\frac{c_n}{c_{\text{нНПВ}}} \right)^{\frac{1}{3}};$$

$$x_{\text{мНПВ}} = 4,9 + 0,009 \gamma^{2,34};$$

$$c_{\text{нНПВ}} = \left\{ 11,8 + 0,29 (V^{\Gamma} - 27,5)^2 \right\} \left(\frac{65}{65 - A^c} \right) + 0,357 \gamma^{1,65};$$

где K – фактический коэффициент взрывобезопасности шахтной выработки (шахты) в текущий момент; $x_{\text{м}}$ – концентрация метана, % объемные; $x_{\text{мНПВ}}$ – нижний предел взрываемости (НПВ) метана, % объемные; c_n – концентрация взвешенной угольной пыли, г/м³; $c_{\text{нНПВ}}$ – нижний предел взрываемости угольной пыли, г/м³; m – показатель степени взаимодействия взрываемости пылеметановоздушной смеси в соответствие с экспонидным законом; 0,53694; 0,66551 – постоянные слагаемые показателя m в соответствующих зависимостях; 0,12818 – коэффициент переменной слагаемой показателя m ; 4,9 – НПВ сухого метана, % объемные; 0,009 – коэффициент повышения НПВ метана влажностью атмосферы, (%)/(г/м³)^{2,34}; γ – абсолютна влажность воздуха, г/м³; 11,8 – НПВ сухой угольной пыли углей Кузбасса при выходе летучих веществ 27,5 % и нулевой зольности, г/м³; V^{Γ} – выход летучих веществ, %; 0,29 – коэффициент повышения НПВ угольной пыли с изменением выхода летучих веществ, (г/м³)/(%)²; A^c – зольность угольной пыли, % ($A^c < 65$ %); 65 – предельная зольность взвешенной угольной пыли, выше которой пыль не взрывается, %; 0,357 – минимальный коэффициент повышения НПВ угольной пыли за счет влажности атмосферы, (г/м³)/(г/м³)^{1,65}; и сопоставляют полученный коэффициент взрывобезопасности с коэффициентом взрывобезопасности, требуемым Правилами безопасности (ПБ) для конкретного типа выработок,

для выдачи в реальном времени информации о взрывобезопасной ситуации в шахтной атмосфере как основу для принятия управляющих решений.

Способ флегматизации взрыва метановоздушной смеси в очистном комплексно-механизированном забое, предложенный в работе [5], включает измерение абсолютной влажности воздуха, подаваемого на проветривание, подачи воздуха в забой и его температуры, отличающийся тем, что в качестве флегматизатора используют диспергированную воду с расходом зависящем от расхода воздуха подаваемого на проветривание, его температуры и относительной влажности.

Система флегматизации метановоздушной смеси в очистном комплексно-механизированном забое [5], включает трубопровод воды для орошения и подавления пыли с подводами для секций крепи, приборы автоматического контроля температуры, расхода и относительной влажности воздуха, подаваемого на проветривание и микропроцессор управления, отличающаяся тем, что содержит повыситель давления на 4,0±0,2 МПа с подачей до 340 см³/с, в частности насос, подключенный к ставу оросительной системы, прибор измерения относительной влажности воздуха на выходе из очистного забоя и сеть форсунок с соплами диаметром 1,2±0,1 мм, которые располагают попарно у кровли выработки и рассредоточивают по длине очистного забоя, с последовательным включением их в работу от микропроцессора для увлажнения воздуха перед и/или за очистным комбайном в зависимости от направления его движения по забою, при этом диспергированные струи воды от форсунок направлены встречно потоку воздуха и в зоны выделения метана: забой и/или выработанное пространство, а начальные их части для безопасности закрыты защитным экраном, выступающим перед соплами форсунок на величину, превышающую расстояние от сопла до начала распада струи в 1,5-1,8 раза и составляющее 105-126 мм.

Автоматизация контроля шахтной атмосферы и параметров оборудования и предотвращение взрыва пылеметановоздушной смеси в комплексно-механизированном забое проводится на основе способа и системы флегматизации взрывов в очистном комплексно-механизированном забое.

Поставленная цель достигается тем, что при постоянном контроле показаний измерительных приборов, положения комбайна в забое, задвижек и электроклапанов, которые записывают в «черный ящик», непрерывно анализируют отклонение входных и выходных параметров от заданного и приближение содержания метана, пыли и ее зольности, оксида углерода в шахтной атмосфере к нижнему пределу взрываемости пылеметановоздушной смеси и вырабатывают управляющие воздействия с предворением для рассредоточенной подачи расчетного объема тонкодисперсной воды от высоконапорного насоса через высоконапорный трубопровод, электроклапаны и тонкоструйные форсунки в пространство комплексно-механизированного забоя для обеспечения точки росы в шахтной атмосфере с учетом фактической температуре, при этом тонкодисперсную воду подают встречно струе потока воздуха в забое до и/или после очистного комбайна с учетом направления его движения и транспортного запаздывания системы.

Автоматизированная системы контроля и предотвращения взрыва пылеметановоздушной смеси в комплексно-механизированном забое представлена на рисунке 1, на которой приняты следующие условные обозначения: 1-9 – измерительные приборы содержания метана, оксида углерода, температуры, скорости потока воздуха в забое, относительной влажности воздуха, пыли, зольности пыли, давления в трубопроводах, положения комбайна в забое; 10 – распределительная коробка; 11 – независимый блок питания измерительных приборов; 12 – модуль передачи данных; 13 – линии связи; 14 – контроллер; 15 – блок управления; 16 - линии управления; 17 – оросительный трубопровод; 18 – ручная задвижка; 19 – задвижка с электроприводом; 20 – высоконапорный насос; 21 - низконапорный трубопровод; 22 – высоконапорный трубопровод; 23 - электроклапан; 24 – тонкоструйная форсунка; 25 – очистной комбайн.

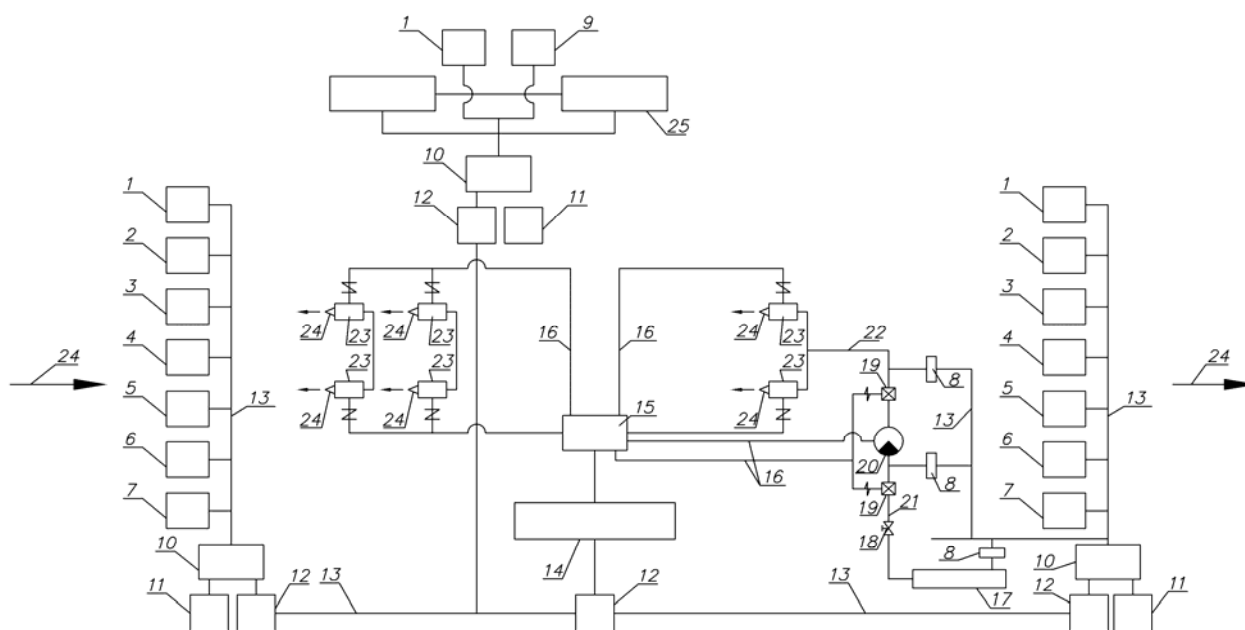


Рисунок 1 - Автоматизированная системы контроля и предотвращения взрыва пылеметановоздушной смеси в комплексно-механизированном забое

Автоматизированная система контроля и предотвращения взрыва пылеметановоздушной смеси в комплексно-механизированном забое работает в трех режимах: запуска, рабочем и отключения.

В пусковом режиме после нажатия кнопки проверка готовности контроллер производит проверку рабочего состояния измерительных приборов 1-9, ручной задвижки 18, электрозадвижек 19 и электроклапанов 23 и заносит данные в «черный ящик» для последующего анализа работы системы. В случае неисправности оборудования и приборов выдается сообщение, что запуск автоматизированной системы запрещен и блокируется кнопка пуск. После устранения неисправностей система приводят в режим ожидания до нажатия на кнопку пуск на контроллере 14. При нажатии на нее блок управления 15 по линиям управления 16 производят сброс воздушных подушек в гидросистеме путем последовательного открытия электроклапанов 23, предварительно включив систему сигнализации. Затем система определяет положение очистного комбайна по датчику 9, и система переходит в рабочий режим. В рабочем режиме производят расчет параметров по алгоритму заявки [5], периодическое занесение расчетных данных в «черный ящик» и производят впрыскивание тонкодиспергированной воды от высоконапорного насоса 20 через тонкоструйные форсунки 24 расчетного объема путем кратковременного включения электроклапанов 23, находящихся до или/и после комбайна в зависимости от направления его движения. Время включение электроклапанов зависит от заданного объема диспергации воды и их количества, находящихся в зоне активного газовыделения с учетом скорости движения потока воздуха 24 в очистном забое.

В режиме отключения все параметры измерительных приборов и задвижек записывают в «черный ящик», закрывают электрозадвижки 19 высоконапорного насоса 20, производят сброс воды из высоконапорного трубопровода 22, включив сигнализацию, и контроллер 14 выдает сообщение об окончании работы системы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Патент РФ № 2224184. Автоматизированная система контроля и управления параметрами воздуха в технологической линии группового хранения вооружения, техники или оборудования. МПК F 24 F 11/00, F 24 F 3/14, E 04 H 6/00. Патентообладатель(и): ООО "НПО Резерв". Авторы: Погорелов Ф.И., Куцын А.А., Старостин М.М., Москалев В.С., Полетаев В.В. Заявл.22.05.2002. Оpubл. 20.02.2004. Бюл. № .
2. Патент РФ № 2278270 . Устройство автоматической локализации взрывов и пожаров в горных выработках. МПК E 21 F 5/00 (2006.01). Патентообладатель(и): ООО МП Милак. Авторы: Иванов Ф.И., Камынин Ю.Н. Камынин В.А. Солопий А.Н. Иванов И.И.. Заявл. 11.10.2001. Оpubл. [20.06.2006](#).
3. Заявка № 2003103111/28, 04.02.2003. Способ контроля аварийной газозаванности пространства, путей вывода людей на свежую струю и устройство для его осуществления. МПК G 01 N 1/00. Заявитель(и): ООО МП Милак. Автор(ы): Камынин В.А., Камынин Ю.Н. заявл.. 19.12.2001. Оpubл. 10.09.2003.

4. Патент РФ № 2373397. Способ мониторинга атмосферы угольной шахты. МПК Е 21F 7/00. Заявит. и авторы: В.В. Сенкус, В.С. Гершгорин, Б.М. Стефанюк, Сенкус Вал.В. С.Г. Фомичев и др. Заявл. 17.12.2007. Оpubл. 20.11.2009. Бюл. № 32.

5. Заявка РФ № 2010115020/03(021206). Способ флегматизации взрыва метановоздушной смеси в очистном комплексно-механизированном забое и система для его реализации. МПК Е 21D 23/00, Е 21D 23/03. Заявит. и авторы: В.В. Сенкус, К.Д. Лукин, Б.М. Стефанюк, Сенкус Вал.В. и др. Заявл. 14.04.20010.

УДК 622.52

РАЗРАБОТКА СПОСОБА ОТРАБОТКИ СВИТ ПЛАСТОВ АНТИКЛИНАЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Вал. В. Сенкус, БМ., Стефанюк, В.В. Сенкус, Н.И. Конакова, Вас. В. Сенкус

Новокузнецкий филиал-институт ГОУ ВПО «Кемеровский государственный университет»;

Аннотация. В статье рассматривается способ разработки свит пластов антиклинального месторождения.
Annotation. In article considered complex method of suite seam mining on anticlinal deposits.

При разработке крутых пластов особую трудность составляет отработка свит антиклиналей, которой посвящаются многие работы.

Известен способ разработки крутопадающих пластов открытым способом, включающий проведение выездной и разрезной траншей в покрывающих породах, проведение въездной и разрезной траншей по пласту полезного ископаемого с последующей отработкой одного или обоих бортов разрезных траншей в направлении простирания пласта [1]. Недостатком способа является большой объем вскрышных пород и потеря угля.

В комбинированном способе разработки месторождений полезных ископаемых верхние горизонты месторождения отрабатываются открытым способом, а нижние - подземным способом [2]. Недостатком способа является большой объем вскрышных пород, их переэкскавация в процессе отработки месторождения и созданием неблагоприятной экологической обстановки.

В работе [3] предлагается способ разработки верхних горизонтов полезных ископаемых, включающий вскрытие месторождения и последующую выемку полезного ископаемого параллельными траншеями, верхние контуры которых удалены друг от друга на определенное расстояние. Вскрытие осуществляют поэтапно углубленными траншеями с выемкой межтраншейного массива открытыми работами в направлении к центру до полного слияния в один котлован. Подземные горные работы ведутся погоризонтно в направлениях от внешних бортов траншей к границам месторождения. Недостатком способа разработки является узкая область применения ограниченная углом залегания крутопадающих пластов, большие объемы пород от вскрыши месторождения и созданием неблагоприятной экологической обстановки в угледобывающем регионе.

Комплексный способ разработки пластовых месторождений [4], включающий: вскрытие месторождения открытыми горными выработками - продольной разрезной траншеей по протиранию пластов и его отработку, вскрытие и подготовку пластов подземными горными выработками и их отработку, отличается тем, что вскрытие пластов в бортах продольной разрезной траншеи месторождения производят поперечными разрезными траншеями, которые закладывают в крест простирания пластов из продольной разрезной траншеи, обеспечивая доступ к пластам для заложения устьев подземных горных выработок. При проведении поперечной разрезной траншеи в плоскости пластов формируют пластовые уступы, на которых располагают промежуточные промплощадки перед устьями подземных горных выработок, а ось заложения заезда в поперечную разрезную траншею располагают под углом к оси продольной разрезной траншеи равным углу образуемому длиной и шириной заложения пластовых уступов. Недостатком способа разработки является большие объемы пород от вскрыши месторождения, сложность подготовки уступов.

Способ рекультивации открытых горных выработок [5], включающий: отделение плодородного слоя при вскрытии запасов полезных ископаемых и складирование горных пород при их отработке, планировку открытых горных выработок закладкой горной породой и нанесение плодородного слоя с восстановлением растительности в соответствии с направлением использования земель, отличается тем, что при закладке пород в открытые горные выработки с поверхности земли формируют наклонную траншею к оставляемой открытой части обнаженного выхода пласта в бортах горной выработки, которая обеспечивает доступ и последующую подземную отработку, оставленных запасов месторождения, и будет являться частью промплощадки. При рекультивации горных

выработок с запасами углей склонных к самовозгоранию производится изоляция оставляемой открытой части обнаженного выхода пласта в бортах горной выработки, при этом производят антипирогенную обработку обнаженного выхода пласта в бортах горных выработок, а при затоплении, оставляемой траншеи, ее борта формируют из водонеразмокаемых горных пород.

Целью работы является увеличение полноты выемки полезного ископаемого, снижение потерь запасов, объемов вскрышных работ и экологического ущерба.

Поставленная цель достигается тем, что вскрытие пластов производят разрезной траншеей по линии перегиба антиклинали до глубины залегания нижнего пласта, вскрытие свиты пластов осуществляют по обе стороны антиклинали спаренными наклонными стволами, проводимыми из разрезной траншеи по пластам, а при отработке пластов подземным способом используют панельную и/или погоризонтную при пологом залегании пластов и этажную и подэтажную – при крутом залегании пластов системы разработки с механизированной выемкой угля на пологих и гидравлической и/или слоевой механической на крутых пластах с полным обрушением кровли, при этом водосборники шахтного водоотлива устраивают в нижних точках стволов по обе стороны антиклинали и оснащают устройствами для обезвоживания горной массы при гидравлической и/или механогидравлической выемке угля.

Сущность способа поясняется рисунками, где: на рисунке 1 представлена схема вскрытия пластов месторождения открытым способом на плане поверхности; на рисунке 2 – схема вскрытия пластов месторождения открытым способом на вертикальном разрезе (разрез А-А); на рисунке 3 – схема подготовки и отработки пласта подземным способом (разрез А-А).

Вскрытия месторождения производят продольной разрезной траншеей 1 до выходов пластов 2, 3, 4 и отработку мощного пласта 3 по простиранию до границы горного отвода открытым способом.

Вскрытие пластов 2,3,4 разрезной траншеей 1 производят по линии перегиба антиклинали, подготовку свиты пластов ведут спаренными 5 наклонными стволами со сбойками 8, проводимыми по пласту (рисунок 3) при пологом залегании пластов и отрабатывают пласты механизированным способом длинными и/или короткими столбами с полным обрушением кровли, а при крутом спаренными и/или одиночными диагональными наклонными стволами в верхнем 6 и нижнем пластах 7 (рисунок 2), проводимыми из разрезной траншеи по пластам с углом наклона 13-18° к горизонтальной плоскости для конвейерной транспортировки горной массы, которые сбивают между собой квершлагами 9 (рисунок 2), а при отработке пластов используют этажную и подэтажную системы разработки с гидравлической и/или слоевой механической выемкой угля с полным обрушением кровли, при этом водосборники шахтного водоотлива 10 (рисунок 3) устраивают в нижних точках стволов по обе стороны антиклинали и оснащают устройствами для обезвоживания горной массы при гидравлической и/или механогидравлической выемке угля.

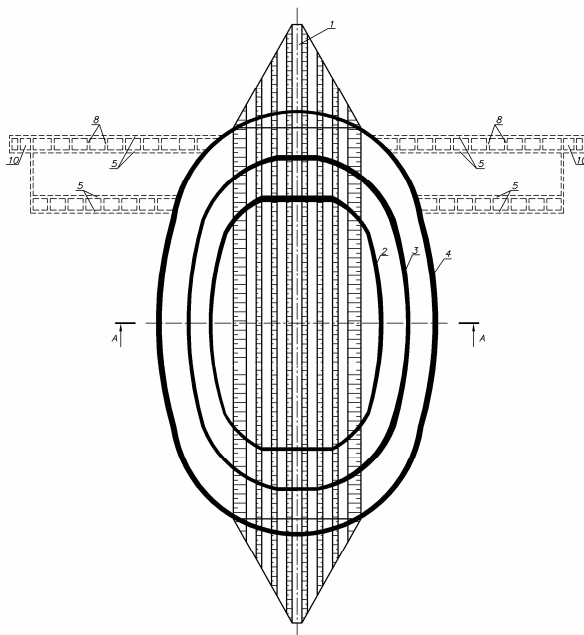


Рисунок 1 - Способ разработки свит пластов антиклинальных месторождений

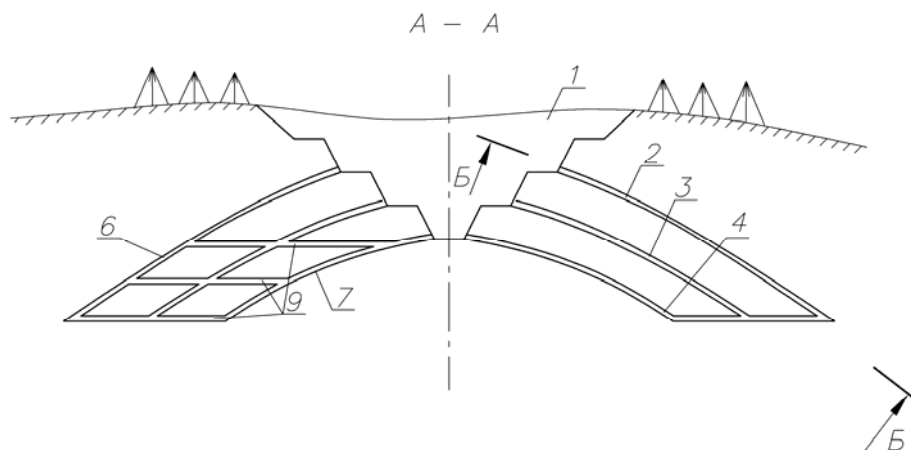


Рисунок 2 - Способ разработки свит пластов антиклинальных месторождений (разрез А-А)

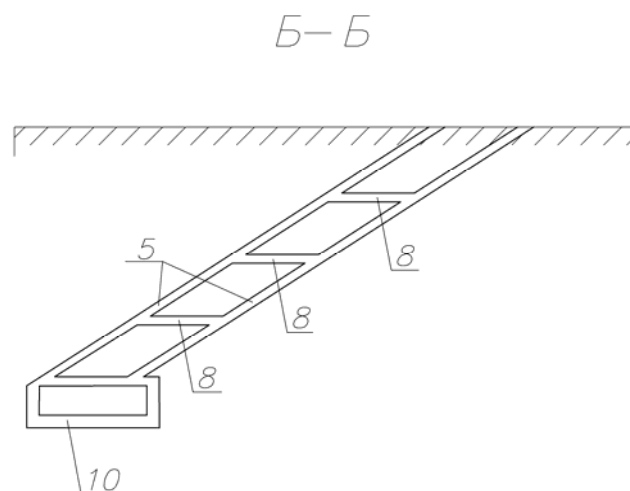


Рисунок 3 - Способ разработки свит пластов антиклинальных месторождений (разрез Б-Б)

Предлагаемый способ повышает полноту выемки полезного ископаемого и снижает потери запасов, объемы вскрышных работ и экологический ущерб.

Литература

1. Горное дело. / Ю.П. Астафьев, В.Г. Банзюков, О. Г. Шепун, Г.С. Сулима, В.С. Полянский, - М. : Недра, 1980. - С.14-15.
2. А.с. СССР № 1439240. Комбинированный способ разработки месторождений полезных ископаемых. МКИ Е 2І С 4І/02.
3. Патент РФ № 97101942.Способ разработки верхних горизонтов полезных ископаемых. МКИ Е 2І С 4І/00.
4. Патент РФ № 2295036. Комплексный способ разработки пластовых месторождений полезных ископаемых. Заявит. Сенкус В.В., Фомичев С.Г., Сенкус Вал.В., Стефанюк Б.М., Сенкус Вас.В. Патентообл. Сенкус В.В., Фомичев С.Г., Сенкус Вал.В., Стефанюк Б.М., Сенкус Вас.В.Заявл. 23.05.2005. Оpubл. 10.07.2007. Бюл. № 7.
5. Патент РФ № 2297533. Способ рекультивации открытых горных выработок. Заявит. Сенкус В.В., Фомичев С.Г., Сенкус Вал.В., Сенкус Вас.В. Патентообл. Сенкус В.В., Фомичев С.Г., Сенкус Вал.В., Сенкус Вас.В. Заявл. 26.08.2005. Оpubл. 20.04.2007. Бюл. № 11.

РАЗРАБОТКА СПОСОБА ОТРАБОТКИ СВИТ ПОЛОГИХ ПЛАСТОВ СИНКЛИНАЛЬНЫХ И БРАХИСИНКЛИНАЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

*Вал. В. Сенкус, Н.И. Конаковой, В.В. Сенкус, Вал. В. Сенкус
Новокузнецкий филиал-институт ГОУ ВПО
«Кемеровский государственный университет», г. Новокузнецк*

Аннотация. В статье комбинированный способ разработки свит пологих пластов синклинальных и брахисинклинальных месторождений угля.

Annotation. In article considered complex method of suite gentle seam mining on synclinal deposits.

Многие ученые и специалисты горной промышленности, а так же научно-исследовательские и проектно-конструкторские институты предлагают различные способы разработки свит пологих пластов синклинальных и брахисинклинальных месторождений.

В работе [1] способ разработки крутопадающих пластов открытым способом, включающий проведение выездной и разрезной траншей в покрывающих породах, проведение выездной и разрезной траншей по пласту полезного ископаемого с последующей отработкой одного или обоих бортов разрезных траншей в направлении простираения пласта. Недостатком способа является большой объем вскрышных пород и потерь угля.

Известен комбинированный способ разработки месторождений полезных ископаемых, где верхние горизонты месторождения отрабатываются открытым способом, а нижние - подземным способом [2]. Недостатком способа является большой объем вскрышных пород, их переэкскавация в процессе отработки месторождения и созданием неблагоприятной экологической обстановки.

В работе [3] предлагается способ разработки верхних горизонтов полезных ископаемых, включающий вскрытие месторождения и последующую выемку полезного ископаемого параллельными траншеями, верхние контуры которых удалены друг от друга на определенное расстояние. Вскрытие осуществляют поэтапно углубленными траншеями с выемкой межтраншейного массива открытыми работами в направлении к центру до полного слияния в один котлован. Подземные горные работы ведутся погоризонтно в направлениях от внешних бортов траншей к границам месторождения. Недостатком способа разработки является узкая область применения ограниченная углом залегания крутопадающих пластов, большие объемы пород от вскрыши месторождения и созданием неблагоприятной экологической обстановки в угледобывающем регионе.

Комплексный способ разработки пластовых месторождений [4], включающий: вскрытие месторождения открытыми горными выработками - продольной разрезной траншеей по протиранию пластов и его отработку, вскрытие и подготовку пластов подземными горными выработками и их отработку отличается тем, что вскрытие пластов в бортах продольной разрезной траншеи месторождения производят поперечными разрезными траншеями, которые закладывают в крест простираения пластов из продольной разрезной траншеи, обеспечивая доступ к пластам для заложения устьев подземных горных выработок. При проведении поперечной разрезной траншеи в плоскости пластов формируют пластовые уступы, на которых располагают промежуточные промплощадки перед устьями подземных горных выработок, а ось заложения заезда в поперечную разрезную траншею располагают под углом к оси продольной разрезной траншеи равным углу образуемому длиной и шириной заложения пластовых уступов. Недостатком способа разработки является большие объемы пород от вскрыши месторождения, сложность подготовки уступов.

Способ рекультивации открытых горных выработок [5], включает: отделение плодородного слоя при вскрытии запасов полезных ископаемых и складирование горных пород при их отработке, планировку открытых горных выработок закладкой горной породой и нанесение плодородного слоя с восстановлением растительности в соответствии с направлением использования земель и отличается тем, что при закладке пород в открытые горные выработки с поверхности земли формируют наклонную траншею к оставляемой открытой части обнаженного выхода пласта в бортах горной выработки, которая обеспечивает доступ и последующую подземную отработку, оставленных запасов месторождения, и будет являться частью промплощадки. При рекультивации горных выработок с запасами углей склонных к самовозгоранию производится изоляция оставляемой открытой части обнаженного выхода пласта в бортах горной выработки, при этом производят антипирогенную обработку

обнаженного выхода пласта в бортах горных выработок, а при затоплении, оставляемой траншеи, ее борта формируют из водонеразмокаемых горных пород.

Целью настоящей работы является увеличение полноты выемки полезного ископаемого, снижение потерь запасов, объемов вскрышных работ, экологического ущерба и улучшения вентиляции подземных выработок.

Поставленная задача достигается (рисунок 1) тем, что разработку синклинального и/или брахисинклинального месторождения, вскрытие и подготовку свит пластов ведут двумя разрезными траншеями и сбивают спаренными подземными горными выработками, проводимыми по пластам через нижние точки мульд синклиналей пластов и/или близко к ним.

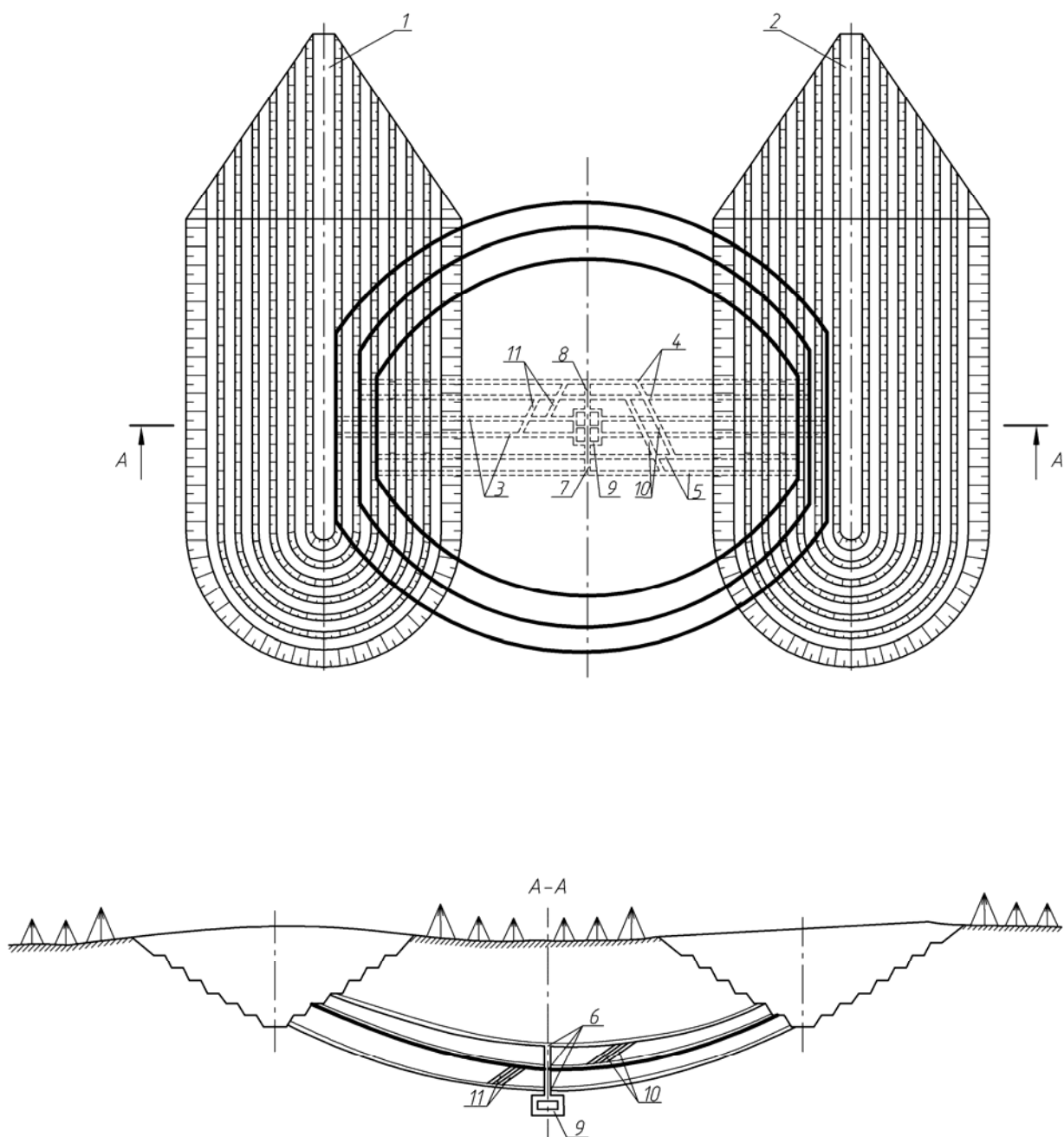


Рисунок 1 - Комплексный способ разработки свит пологих пластов синклинальных и брахисинклинальных месторождений

Из них бурятся скважины, из которых бурят скважины и/или проводят горные выработки для улучшения проветривания, доставки материалов и перепуска шахтного притока в нижнюю точку последнего пласта, где закладываются водосборники, подготовка пластов в зависимости от угла падения осуществляют погоризонтной и/или панельной схемам, отработку пластов подземным способом ведут длинными столбами и в зависимости от их

угла падения по простиранию и/или падению, механизированным способом с полным обрушением кровли, а выемку угля в зонах нарушений, предохранительных и барьерных целиках производят короткими забоями механическим, механогидравлическим и/или гидравлическим способами.

Для обеспечения проветривания при больших размерах синклинали нижних пластов спаренные выработки верхних пластов сохраняют путем оставления предохранительных целиков по бортам и почве выработок, сбивают их с нижними вентиляционными выработками и используют как фланговые вентиляционные стволы, а для предотвращения подработки сбивающих горных выработок по пластам их проводят смещенными относительно друга.

Предлагаемый способ повышает полноту выемки полезного ископаемого и снижает потери запасов, объемы вскрышных работ и экологический ущерб.

Литература

1. Горное дело. / Ю.П. Астафьев, В.Г. Банзюков, О. Г. Шепун, Г.С. Сулима, В.С. Полянский, - М. : Недра, 1980. - С.14-15.
2. А.с. СССР № 1439240. Комбинированный способ разработки месторождений полезных ископаемых. МКИ Е 2I С 4I/02.
3. Патент РФ № 97101942. Способ разработки верхних горизонтов полезных ископаемых. МКИ Е 2I С 4I/00.
4. Патент РФ № 2295036. Комплексный способ разработки пластовых месторождений полезных ископаемых. Заявит. Сенкус В.В., Фомичев С.Г., Сенкус Вал.В., Стефанюк Б.М., Сенкус Вас.В. Патентообл. Сенкус В.В., Фомичев С.Г., Сенкус Вал.В., Стефанюк Б.М., Сенкус Вас.В. Заявл. 23.05.2005. Оpubл. 10.07.2007. Бюл. № 7.
5. Патент РФ № 2297533. Способ рекультивации открытых горных выработок. Заявит. Сенкус В.В., Фомичев С.Г., Сенкус Вал.В., Сенкус Вас.В. Патентообл. Сенкус В.В., Фомичев С.Г., Сенкус Вал.В., Сенкус Вас.В. Заявл. 26.08.2005. Оpubл. 20.04.2007. Бюл. № 11.

УДК 622.82

СПОСОБ ФЛЕГМАТИЗАЦИИ ВЗРЫВОВ МЕТАНОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ В ОЧИСТНОМ ЗАБОЕ

***В.В. Сенкус, Б.М. Стефанюк, К.Д. Лукин, С.Н. Нагайчук, Вал. В. Сенкус
Новокузнецкий филиал-институт ГОУ ВПО
«Кемеровский государственный университет»; г. Новокузнецк***

Аннотация. В статье рассматривается способ флегматизации взрывов метана в очистном забое.

Annotation. In article considered method of phlegmatization methane explosion in longwall mine.

Анализ литературных источников показывает, что для пылеподавления в очистных и подготовительных забоях используется форсунки для распыления жидкости [1], включающие корпус с водоподводящим каналом и соплом, вкладыш, имеющий проточку со стороны подачи жидкости и каналы для прохода жидкости, и регулятор, содержащий усеченный конус и подпружиненный шток, которые отличаются тем, что, для повышения эффективности корпус имеет камеру закручивания, при этом проточка выполнена в форме усеченного конуса. На усеченный конус установлен регулятора со стороны проточки, образующий регулируемый кольцевой зазор, который через каналы для прохода жидкости соединен с камерой закручивания, а шток регулятора снабжен иглой, имеющей в сечении форму звезды.

В работе [2] предложен способ пылеподавления, который характеризуется тем, что связывание и коагуляция пыли осуществляется в воздушном потоке аэрозоля, включающего воздухонаполненные водные (98%) пены высокой кратности, в состав которых входит поверхностно-активное вещество, представленное глицерином (0,2-0,4%), а в качестве стабилизатора - олеиновой кислотой (0,8-1,2%) и содой каустической (0,4-0,6%), а пылеподавление осуществляется выдуванием раствора через сопла форсунки на запыленные поверхности.

В работе [3] рассматривается установка для пылеподавления, которая включает блок управления, источник высокого давления, емкости сифонного типа с ионизированной водой противоположных полярностей, форсунки тонкого распыления, электромагнитные пневмо- и гидравлические клапаны, нагнетающие и продувочные воздухопроводы, водяные магистрали, устройство развязки воздушных и водяных магистралей, цепи управления и контроля.

В работе [4] представлено перекрытие секции механизированной крепи, включающее плиту, в окне которой размещен цилиндр с поршнем для подачи воды и пылеподавления.

Флегматизацию взрывов и снижение вероятности их появления можно достичь распылением диспергированных химических веществ [5].

В работе [6] представлены результаты исследований, которые доказывают, что влажность воздуха повышает нижний предел и понижает верхний предел взрываемости. Однако влажность воздуха, подаваемого для проветривания горных выработок.

Известно, что

Исследованиями [7] подтверждено, что метан инициирует взрывы взвешенной угольной пыли в соответствии с экспоненциальным законом, при этом применяемое на комбайнах водяное пылеподавление – орошение, в силу естественных свойств дождевых капель, снижает абсолютную влажность воздуха в шахтной атмосфере и повышает вероятность взрыва метановоздушной смеси при пылеподавлении.

Вода имеет, созданную водородными связями молекулы H_2O , надмолекулярную структуру: совокупность – колония – миникапля [8]. Основа структуры – совокупность имеет размер 2,6 нм, а чтобы диспергировать воду до уровня совокупности необходимо разорвать не более 5% водородных связей, и совокупности становятся за счет поверхностного натяжения, угла смачиваемости и активизированных водородных связей связующими для различных веществ в газовой среде, в том числе для метана.

Диспергация воды зависит от числа Вебера We (отношения напора капли в атмосфере к поверхностному натяжению) и происходит при $We > 70$ [9]. При размере совокупности 2,6 нм число Вебера имеет размерность $We > 104$, поэтому давление струи на выходе из форсунки должно быть не менее 4,0+0,2 МПа.

В работе [10] предложен способ мониторинга шахтной атмосферы угольной шахты, при котором измеряют концентрацию метана и оксида углерода, взвешенной угольной пыли, температуру воздуха и его скорость в горных выработках, дополнительно измеряют абсолютную влажность воздуха, которая является естественным флегматизатором взрываемости пылеметановоздушной смеси, зольность взвешенной угольной пыли, которая является флегматизатором взрываемости угольной пыли. По результатам измерений рассчитывается фактический коэффициент взрывобезопасности забоя и сравнивается с коэффициентом взрывобезопасности, требуемым Правилами безопасности для конкретного типа выработок для принятия управляющих решений.

Целью настоящей работы является повышение уровня безопасности взрываемости метановоздушной смеси в очистных комплексно-механизированных забоях угольных шахт путем использования в качестве флегматизатора диспергированной воды.

Решение поставленной задачи достигается тем, что в качестве флегматизатора используют Расход диспергированной воды зависит от расхода воздуха подаваемого на проветривание, его температуры и относительной влажности и определяется по формуле

$$Q_{вл} = Q_{воз} \left(16 - \frac{\varphi}{100} \gamma_{т.рос.} \right)$$

где $Q_{вл}$ – расход влаги на очистной забой, г/с; $Q_{воз}$ – расход воздуха на проветривание очистного забоя, м³/с; 16 – требуемый расход влаги на 1 м³ воздуха, г/м³; φ – относительная влажность воздуха, подаваемого на проветривание, %, 100 – максимальная относительная влажность воздуха, %; $\gamma_{т.рос.}$ – точка росы при определенной температуре воздуха, г/м³.

Диспергирование воды производят тонкими струями из форсунок с диаметром сопел 1,2+0,1 мм при давлении 4,0+0,2 МПа, обеспечивая критическое число Вебера на уровне $(2,8+0,3) \cdot 10^6$, при котором размеры капель диспергированной влаги достигают 50+20 нм, а при выделении из угольного пласта метан образует пузырьки с размерами 40+20 мкм, всплывающие со скоростью 2,8+2,0 см/с. При плотностях метана, влаги и сухого

воздуха, которые находятся в соотношении $\rho_{CH_4} < \rho_{вл} < \rho_{воз}$, воздух выталкивает влагу в сторону выделения метановых пузырьков, которая обволакивает их и создает защитный барьер флегматизации.

Система флегматизации метановоздушной смеси в очистном комплексно - механизированном забое содержит повыситель давления на 4,0+0,2 МПа с подачей до 340 см³/с, в частности насос, подключенный к ставу

оросительной системы, прибор измерения относительной влажности воздуха на выходе из очистного забоя и сеть форсунок с соплами диаметром $1,2 \pm 0,1$ мм, которые располагают попарно у кровли выработки и рассредоточивают по длине очистного забоя, с последовательным включением их в работу от микропроцессора для увлажнения воздуха перед и/или за очистным комбайном в зависимости от направления его движения по забою, при этом диспергированные струи воды от форсунок направлены встречно потоку воздуха и в зоны выделения метана: забой и/или выработанное пространство, а начальные их части для безопасности закрыты защитным экраном, выступающим перед соплами форсунок на величину, превышающую расстояние от сопла до начала распада струи в 1,5-1,8 раза и составляющее 105-126 мм.

В основе предложенного способа заложены физические законы, отображающие поведение (свойства) метана, взвешенной угольной пыли, влаги и ее диспергаторов.

Список использованных источников

1. Патент РФ № 913769. Устройство для распыления жидкости. МПК C09K3/22 (2006.01), E21F5/0 (2006.01). Заявит. Институт горного дела им.А.А.Скочинского (RU), Центральный проектно-конструкторский институт горного машиностроения" (PL) Автор(ы): Сафонов М.В. (RU), Ищук И.Г. (RU), Брагинский М.Д. (RU), Януш Седлачек (PL), Валенты Фридель (PL), Петр Росмус (PL). Заявл. 04.02.1980. Оpubл. 10.07.1999.
2. Патент РФ № 2332572 Способ пылеподавления. МПК E21F5/00 (2006.01), C09K3/22 (2006.01). Патентообладатель: Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Санкт-Петербургский государственный горный институт имени Г.В. Плеханова (технический университет)" (RU). Авторы: Шувалов Ю.В., Веселов А.П., Смирнов Ю.Д., Каменский А.А. Заявл. 26.02.2007. Оpubл. 27.08.2008.
3. Патент РФ № Установка для подавления пыли. МПК 21F5/02 (2006.01). Патентообладатель(и): Открытое акционерное общество "Гранит-Кузнечное" (RU). Авторы: Бригадин И.В., Трубицин Д.С., Кобиев П.А., Куприянов В.В., Нестеров А.Г. Заявл. 29.11.2005. Оpubл. 27.09.2007
4. Патент РФ № 1137810. Перекрытие секции механизированной крепи. МПК E 21D 23/06. Заявитель(и): Институт горного дела им.А.А.Скочинского (RU), Центральный проектно- конструкторский институт горного машиностроения "КОМАГ" (PL). (72) Автор(ы): Ищук И.Г., Забурдяев Г.С., Брагинский М.Д., Лебецки Казимир (PL), Росмус Петр (PL), Славек Казимир (PL). Заявл. 28.02.1983. Оpubл. 20.09.1999.
5. Предупреждение врывов пылеметановоздушных смесей. – М. : Недра, 1990. – С. 62-73.
6. Сенкус В.В., Стефанюк Б.М., Лукин К.Д. Коэффициент взрывобезопасности угольной шахты. //Горный информационно-аналитический бюллетень. – М. : МГТУ, 2008, № 10. – С. 23-27, ф-лы (6), (8).
7. Стефанюк Б.М., Сенкус В.В., Лукин К.Д., Гершгорин В.С. Законы пределов взрываемости пылеметановоздушной среды и человеческий фактор в причинах возникновения взрывов. //Горный информационно-аналитический бюллетень. – М. : МГТУ, 2008, № 9. – С. 25-27.
8. Сенкус В.В., Стефанюк Б.М., Буторин В.К. Моделирование процессов осаждения шлама в отстойниках угольных шахт. //Горный информационно-аналитический бюллетень. – М. : МГТУ, 2007, № 7. – С. 102-109, (рис. 1).
9. Волинский М.С. Необыкновенная жизнь обыкновенной капли. – М. : Знание, 1986. – С. 66.
10. Патент РФ № 2373397. Способ мониторинга атмосферы угольной шахты, МПК E 21F 7/00 (2006.01) Патентообл. и авторы: Стефанюк Б.М., Сенкус В.В., Гершгорин В.С. и др. Заявл.27.12.2007. Оpubл. 20.11.2009. Бюл. № 32.

УДК 622.812

ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ДИЗЬЮНКТИВНЫХ НАРУШЕНИЙ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДЕГАЗАЦИИ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

В.Н. Фрянов, В.Г. Криволапов, О.В. Фрянова, Ю.М. Говорухин, О.А. Петрова

Аннотация.

По результатам шахтных экспериментов установлено, что дебит метана из дегазационных скважин в зоне влияния геологических нарушений разрывного типа в 5,5 раз превышает аналогичный показатель в ненарушенных участках угольного пласта.

Annotation.

As a result of mining experiment it was established that methane output from degassing holes in zones of bursting-mode geological breakings influence exceed 5,5 times the rate in unstrained section of coal stratum.

Ключевые слова: угольный пласт, метан, дегазация, метаносность, дизъюнктивы, скважина, прочность пород.

На практике при дегазации угольных пластов, осложнённых геологическими нарушениями разрывного типа, было замечено, что интенсивность выделения метана из угольного пласта по скважинам, пробуренным вне и в зоне влияния дизъюнктивного нарушения, существенно отличается [1]. С целью установления количественных зависимостей дебита метана от параметров дизъюнктива и положения его от дегазационных скважин были проведены шахтные измерения дебита метана и метановоздушной смеси. Исследования проводились в условиях шахт «Алардинская», «Осинниковская», «Абашевская» в Кузбассе.

Наиболее подробно изучены результаты эксперимента, проведённого в условиях филиала «Шахта Абашевская» ОАО ОУК «Южкузбассуголь» при отработке выемочного столба 16-17 пласта 16 [2]. Пласт 16 Байдаевского угольного месторождения Кузбасса имеет полную мощность 1,36-1,73 м; природную газоносность 20,6-30,0 м³/т. Длина выемочного участка 16-17 равна 1450 м; длина очистного забоя - 267 м, глубина участка от поверхности – 430-660 м.

В пределах выемочного столба выявлено дизъюнктивное нарушение «102-102», а также мелкие нарушения (рисунок 1). В зоне влияния нарушения прочность угля и боковых пород снижается в 2,0-2,5 раза.

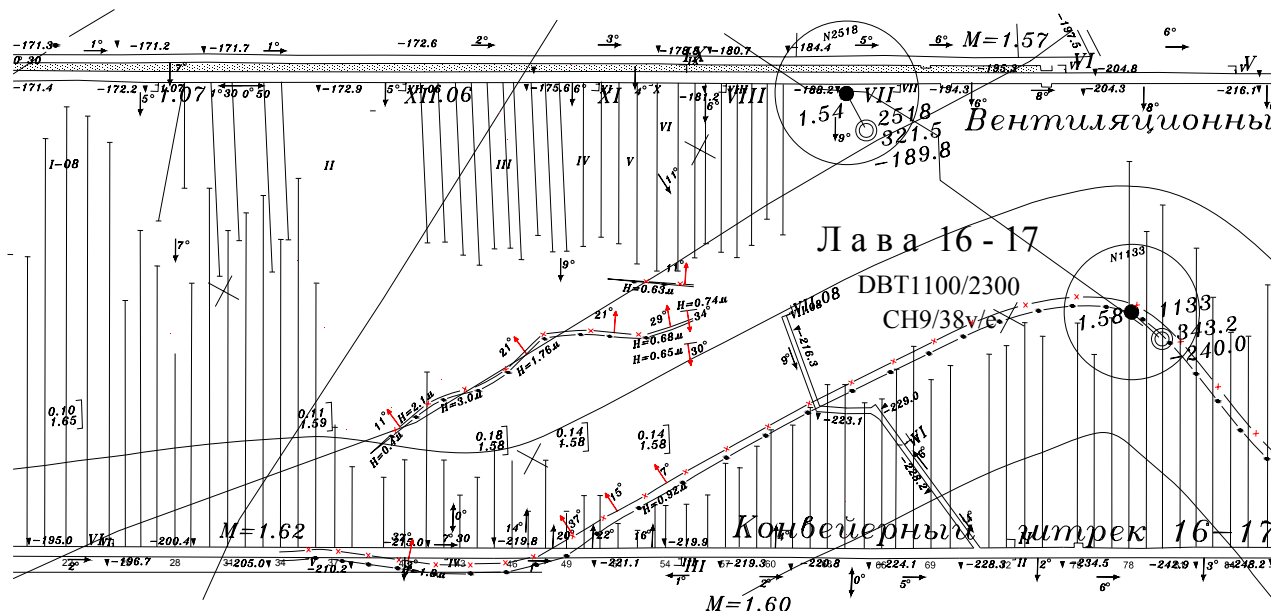


Рисунок 1 – Фактическое положение дегазационных скважин в выемочном столбе 16-17 пласта 16 филиала «Шахта Абашевская» ОАО ОУК «Южкузбассуголь»

Выемочный участок отрабатывался системой разработки длинными столбами по простиранию с управлением кровлей полным обрушением. Для отработки запасов выемочного участка 16-17 применяются механизированная крепь DBT 1100/2300 и струг скользящего действия GH 9-38ve/5,7.

Дегазация разрабатываемого пласта осуществлялась одиночными скважинами параллельными очистному забою, пробуренными из ниш конвейерного штрека. Расстояние между скважинами принято по расчёту 10 м, диаметр скважин составляет 100 мм. Дегазация осуществлялась с помощью водокольцевого вакуумного насоса ВВН2-150 двойного действия.

Для исследования влияния системы природных и техногенных блоков в зонах геологических нарушений на интенсивность миграции метана при дегазации пласта были проведены измерения разрежения, концентрации метана в скважинах, в том числе в тех, которые пересекли разрывное геологическое нарушение.

На рисунке 2 в качестве примера приведены графики изменения дебита метана по скважине 22, которая проведена вне зоны влияния геологических нарушений разрывного типа, и скважины 84, которая пересекала дизъюнктивное нарушение. Аналогичные графики построены и по другим скважинам.

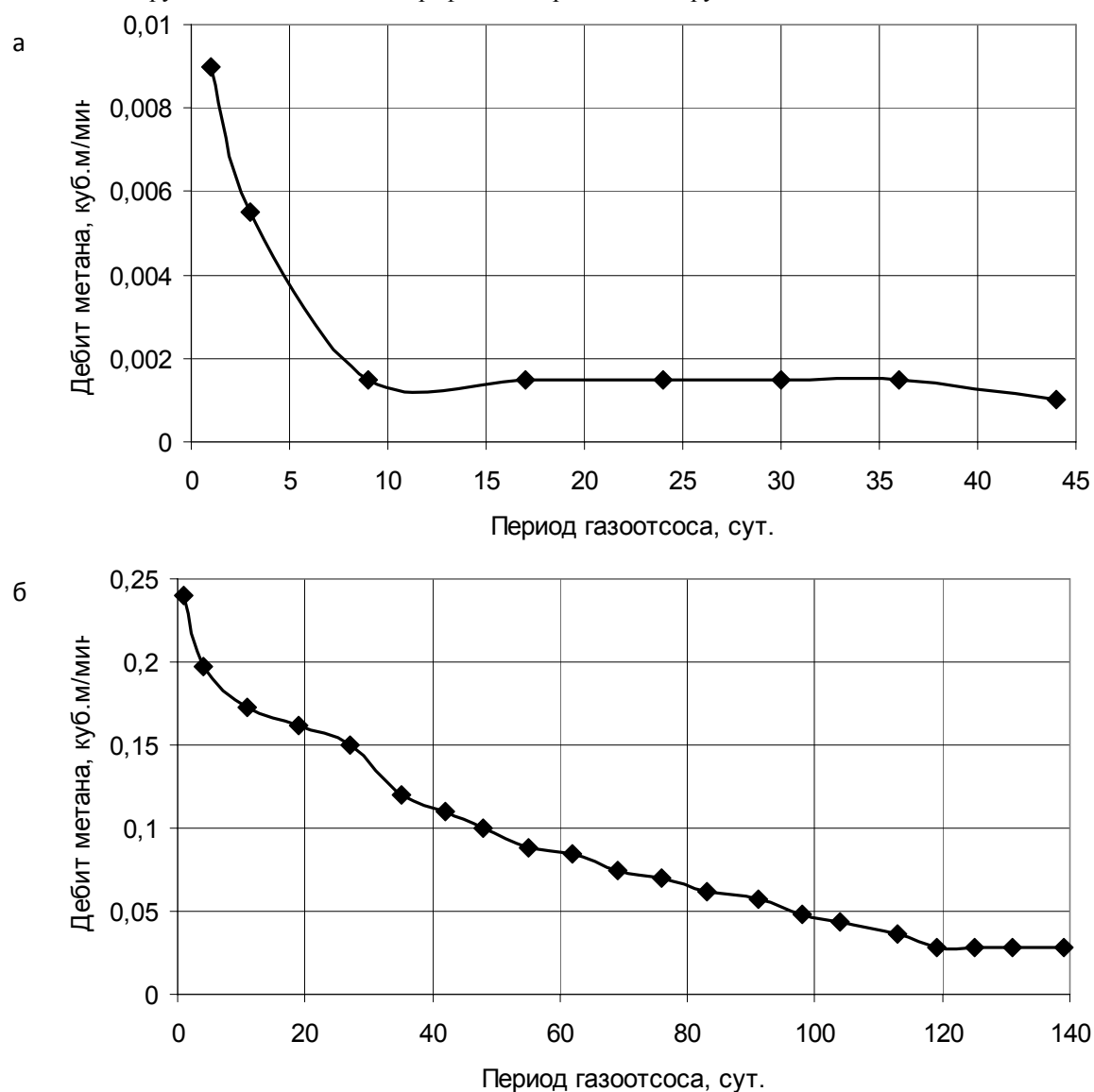


Рисунок 2 – Графики изменения дебита метана по скважинам:
а – скважина №22 вне зоны влияния дизъюнктивного нарушения;
б – скважина №84 в зоне влияния дизъюнктивного нарушения

Результаты шахтного эксперимента приведены в таблице.

Таблица – Результаты шахтного эксперимента и расчетов влияния геологических нарушений на эффективность дегазации угольного пласта

Номер скважины	Длина скважины, м	Положение скважины относительно дизъюнктива*	Суммарный дебит метана, м ³	Удельный дебит метана с 1 метра скважины q, м ³ /м**	Дебит метана из дизъюнктива, м ³	Максимальная скорость изменения дебита метана с 1 метра скважины, м ³ /сутки
22	250	ВД	117	0,48		0,022

24	230	ВД	1736	7,75		0,27
35	210	ВД	15408	75,53		1,55
36	150	ВД	26697	185,40		2,30
37	70	ВД	16456	257,12		4,50
38	46	ВД	13949	348,72		5,40
39	40	ВД	16632	489,19		8,26
40	40	ВД	13939	409,97		6,35
41	50	ВД	17344	394,18		6,54
42	100	ВД	13213	140,56		1,99
43	50	ВД	17022	386,86		5,56
44	50	ВД	13485	306,48		4,58
45	40	ВД	21827	641,97		9,02
46	60	ВД	9230	170,93		5,60
47	50	ВД	6400	145,45		5,90
48	28	ВД	6775	282,29		12,44
49	50	ВД	7665	174,20		4,58
50	20	ВД	11839	845,64		12,34
51	30	ПД	23040	960,00		11,40
52	28	ПД	13034	543,08		9,50
53	20	ПД	25920	1851,43		18,00
54	10	ЗД	14086	3521,50	14086	54,00
55	24	ЗД	23040	1280,00	18946	16,80
56	24	ЗД	18338	1080,78	14244	16,00
57	25	ЗД	14961	787,42	10555	12,88
58	30	ЗД	18309	762,87	12461	12,60
59	48	ЗД	14191	337,88	3080	5,83
60	46	ЗД	21556	538,90	10030	9,72
64	80	ПД	22669	306,34	2022	4,28
68	85	ЗД	19054	241,19	0	3,28
72	104	ЗД	27983	285,54	500	3,38

76	126	ЗД	44318	369,32	10402	2,76
80	110	ПД	25139	241,72		1,94
84	195	ПД	17510	92,64		1,47
88	122	ПД	19956	172,03		2,42

*В таблице приняты следующие обозначения положения скважин относительно сместителя дизъюнктива: ВД – скважине не пересекла дизъюнктив; ПД - скважина пересекла дизъюнктив; ЗД – забой скважины остановлен в дизъюнктиве.

**При расчете учтена длина 6 м герметизации устья скважины.

По графикам изменения выделения метана посредством интегрирования методом трапеций вычислен суммарный дебит метана в течение всего периода дегазации (таблица).

Учитывая разную длину скважин, вычислялся удельный объем метана по формуле (см. таблицу)

$$q = \frac{Q}{l_{\text{свк}} - l_{\text{гер}}},$$

где q – удельный объем метана, выделившегося с одного метра скважины, м³/м;

l_{свк} – длина скважины, м;

l_{свк} – длина загерметизированной части устья скважины, м.

График изменения удельного дебита метана по длине выемочного участка 16-17 представлен на рисунке 3.

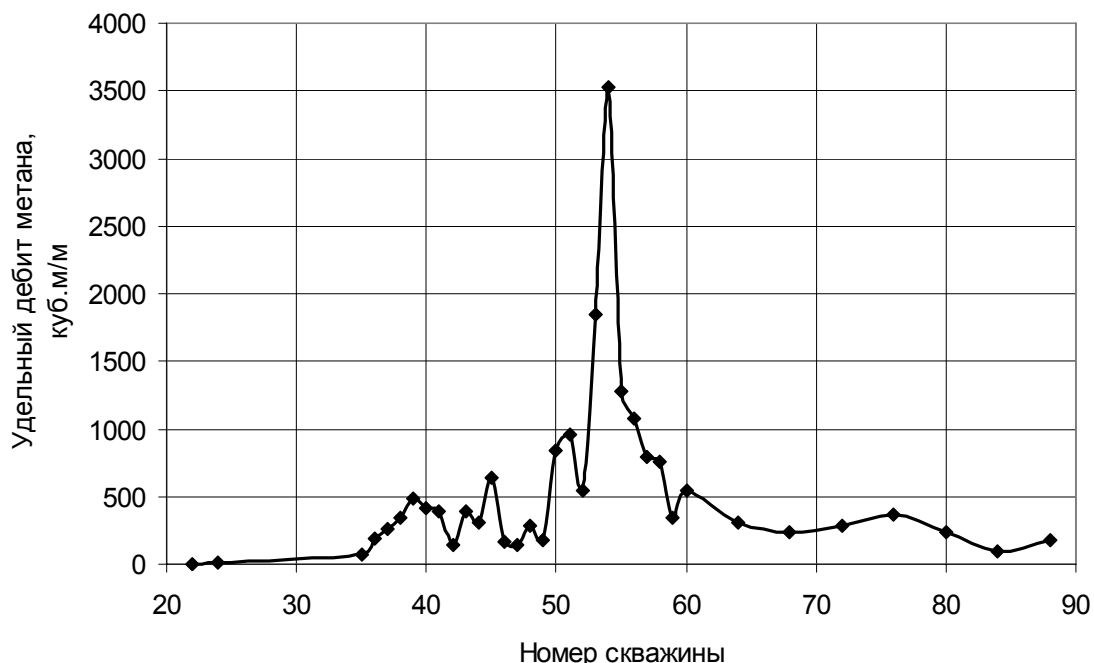


Рисунок 3 – График изменения удельного дебита метана по длине выемочного участка 16-17

Учитывая разную длительность периода дегазации пласта из скважин, на графиках были выделены участки с максимальной скоростью выделения метана. Расчет скорости выделения метана с 1 м скважины проводился по формуле

$$V_i = \frac{q_i}{\Delta t_i},$$

где i – порядковый номер участка с максимальной скоростью дегазации на графиках (см. рисунок 1);

Δt_i – длительность периода дегазации на i – том участке графика, сутки;

q_i – удельный объем метана, выделившегося с одного метра скважины на i –ом участке графика в период Δt_i , м³/м;

V_i – скорость выделения метана с одного метра скважины на i –ом участке графика в период Δt_i , м³/м в сутки.

По результатам расчетов (таблица) установлено, что в зоне влияния геологического нарушения разрывного типа за счет повышенной дезинтеграции угольного пласта на блоки происходит более интенсивное выделение метана по сравнению с участками вне зоны влияния дизъюнктива. Общий дебит метана из скважин, которые пересекли или находились в зоне влияния дизъюнктива увеличился почти на 12 тыс.м³ за весь период дегазации. Удельное выделение метана в зоне геологического нарушения в среднем составило 3 тыс.м³ на 1 метр скважины, а из скважин, которые находились за пределами зоны нарушений, этот показатель в среднем равен 290 м³.

Наиболее представительными являются закономерности изменения максимальной скорости дебита метана с одного метра скважины (последняя колонка таблицы). Из которой следует, что средняя максимальная скорость дебита метана из скважин, пробуренных вне зоны влияния дизъюнктивного нарушения, составляет $V_{ВД}=292$ м³/сут. Максимальная скорость дебита метана из скважин, забои которых находятся в зоне дизъюнктива, составила $V_{ПД}=595$ м³/сут., а из скважин, которые пересекли дизъюнктив, скорость достигла $V_{ЗД}=920$ м³/сут. Если определить разность $V_{ЗД}-V_{ПД}$, т.е. $920-595=325$ м³/сут., что соответствует скорости дегазации из скважин, расположенных вне зоны влияния дизъюнктива $V_{ВД}$ с отклонениями от среднего значения в пределах $\pm 10,7\%$.

Таким образом по результатам шахтных экспериментов установлены следующие закономерности дегазации угольных пластов в зонах геологических нарушений: дебит метана из дегазационных скважин вне зоны природных блоков и линеаментов (геологических нарушения разрывного типа) составляет 641 м³ на один метр длины скважины. Из скважин, которые пересекли дизъюнктив, этот показатель в 5,5 раз больше. Установлено, что выделение метана из дизъюнктивного геологического нарушения неравномерное и изменяется в пределах – 338-3521 м³ на один метр длины скважины.

Работа выполнена при финансовой поддержке министерства образования и науки Российской Федерации по гранту №1.5.07, ФЦП по контракту №16.740.11.0186.

Список литературы

1. Подготовка и разработка высокогазоносных угольных пластов: Справочное пособие [Текст] / А.Д. Рубан; под общ. ред. А.Д. Рубана. – М.: Горная книга, 2010. – 500 с.
2. Палеев Д.Ю. Проектная и фактическая эффективность дегазации на высокогазоносных шахтах [Текст] / Д.Ю. Палеев, В.Г. Криволапов, Ю.М. Говорухин // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. Научно-технический журнал. - 2009. - №1. – С. 48-53.

СПОСОБЫ ПЕРЕРАБОТКИ УГЛЯ (И МЕТАНА УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ) В МОТОРНЫЕ ТОПЛИВА

Сибирская технологическая компания “ЦЕОСИТ”

Предлагается двухстадийная технология переработки угля в моторное топливо, включающая

- Блок 1 – производство синтез-газа и его очистка от примесей (H₂S);
- Блок 2 – получение высокооктанового бензина из синтез-газа.

Рассмотрены 3 варианта процесса получения бензина АИ-92-93, отличающиеся друг от друга технологией производства синтез-газа в Блоке 1, где переработку угля в синтез-газ осуществляют совместно или без метана угольных пластов. Показатели процесса по различным вариантам представлены в таблице 1.

- парокислородная газификация угля без метана угольных пластов;
- парокислородная газификация угля + пароуглекислотная конверсия с частичным парциальным окислением метана угольных пластов (60% об. CH₄ + 40% об. воздух);
- парокислородная газификация угля + пароуглекислотная конверсия с частичным парциальным окислением метана угольных пластов (85% об. CH₄ + 15% об. воздух).

Таблица 1.

Переработка угля в синтез-газ совместно или без метана угольных пластов (Блок 1) и конверсия полученного синтез-газа в высокооктановый бензин АИ-93 (Блок 2). Количество перерабатываемого угля – 300 тыс. т/год (37,5 т/час).

Показатели процесса переработки угля и угольного метана различного состава	Варианты технологии Блока 1		
	1	2	3
Количество перерабатываемого угля, т/час	37,5	37,5	37,5
Количество перерабатываемого метана угольных пластов, тыс. нм3/час	0	150	80
Массовое соотношение по углероду (С) между углем и метаном, Суголь/Сметан	-	0,44	0,56
Количество углерода, удаляемого с CO ₂ , ССО ₂ /Суголь+метан, % масс.	53-55	0	0
Получено суммарно синтез-газа оптимального состава, тыс. нм3/час	55	430	340
Содержание N ₂ в синтез-газе, % об.	1	11	3
Получено высокооктанового бензина, т/час (тыс. т/год)	7,5 (60)	52,5 (420)	44,6 (360)
Расход на 1 т бензина:			
угля, т	до 5	0,7	0,8
метана угольных пластов, нм3	0	2810	1820

Вариант парокислородной газификации угля (вариант 1) имеет высокую эмиссию CO₂ (до 55% «углерода» угля). В вариантах 2 и 3 уголь, содержащий избыток углерода, перерабатывают совместно с метаном угольных пластов, дающий обогащенный водородом синтез-газ. За счет оптимизации соотношения между [H] и [C] в комбинированном сырье в вариантах 2 и 3 отсутствуют выбросы CO₂ на стадии получения синтез-газа (Блок 1).

Вследствие этого, применение предлагаемых технологий вариантов 2 и 3 имеет экономические и стратегические преимущества перед вариантом 1:

более низкий удельный расход угля и высокая производительность по высокооктановому бензину, что приводит к снижению срока окупаемости промышленной установки;

отсутствие выбросов CO₂ в атмосферу.

Последний фактор очень важен с точки зрения соблюдения условий Киотского протокола.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ШАХТ НА ОСНОВЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОПЕРЕЖАЮЩЕЙ ОЦЕНКИ ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО И ГЕОМЕХАНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД

Шабаров А.Н., Кротов Н.В., Цирель С.В., Никулин А.Н.

Научный центр геомеханики и проблем горного производства СПбГУ, Санкт-Петербург

Рассмотрены вопросы геодинамической безопасности угольных шахт. Основной акцент делается на достоверность горно-геологического, геодинамического и геомеханического прогноза на разных масштабных уровнях разработки угольного месторождения. От надежности прогнозных данных зависит выбор безопасных и эффективных схем и параметров технологической подготовки запасов к выемке. Информационное обеспечение проектирования шахт о геодинамических условиях месторождения подготавливается с учетом требований, содержащихся в соответствующих нормативных документах.

Consideration is given to the aspects of geodynamic safety in coal mines. The paper lays special emphasis on the reliability of geological geodynamic and geomechanical prediction at various scale levels of coal deposit mining. The selection of the safe and efficient schemes and parameters of technological preparation for the reserves extraction depends on the reliability of predictive data. The information support of mine designing on geodynamic conditions of a deposit is prepared with due account of requirements contained in the applicable standard documents.

Крупные аварии, которые произошли в последние годы на шахтах России, Украины, Китая и других стран связаны не только с особенностями ведением горных работ, но также со строением горных массивов, их напряженно-деформированным состоянием, и, главное, геодинамическими процессами, вызванными как природными, так и техногенными факторами.

Давно установлено и доказано опытом производством горных работ, что массив горных пород разбит на разномасштабные вложенные друг в друга блоки и, следовательно, поля напряжений в углепородных массивах распределяются неравномерно с формированием локальных геодинамически опасных зон. Их размеры, пространственная ориентировка границ и внутренняя напряженность не являются постоянными характеристиками и периодически изменяются по причине природных явлений и техногенных воздействий. На них оказывают влияние планетарные процессы (приливные явления, неравномерность вращения Земли, движение тектонических плит), локальные тектонические процессы (что особенно отчетливо проявляется в сейсмоактивных регионах, в том числе в Кузбассе) и ведение горных работ (выемка угля и вскрышных пород, посадки кровли, массовые взрывы, откачка воды и т.п.). Периодическая активность неоднородных геодинамически опасных зон (как тектонически напряженных зон, так и тектонически ослабленных зон) является важнейшим фактором, провоцирующим возникновение и развитие опасных ситуаций и аварий на угольных шахтах.

В качестве примера рассмотрим региональные тектонически ослабленные зоны Кузбасса. Проведенные исследования показали, что связаны с техногенной активизацией и в свою очередь оказывают существенное влияние на горные работы и наземные здания и сооружения. Наибольшее влияние разломов и сейсмических событий на устойчивость выработок, интенсивность колебаний поверхности, образование трещин наблюдается при реализации двух условий – наличия зон активного ведения горных работ и соответствия сетей глубинных и крупноамплитудных разломов. При этом глубинные разломы в целом оказывают большее влияние на мелкофокусную сейсмичность и формирование тектонически ослабленных зон.

Вместе с этим наблюдаются также зоны высокой сейсмической активности, не связанные с известными глубинными и крупноамплитудными разломами. В первую очередь это указывает на большую роль техногенной составляющей, с другой стороны, по-видимому, можно также говорить о прорастании (точнее, проявлении в верхних слоях земной коры) ранее не проявлявшихся разломов.

Важно отметить, что в последние десятилетия, и особенно в последние годы, произошли изменения характера сейсмичности. С одной стороны, сейсмическая активность перешла от чисто природной к смешанной природно-техногенной, с другой стороны, происходит интенсивная миграция сейсмической активности – активизация длительно время молчавших областей, стягивание сейсмичности к районам ведения горных работ и т.д. Вопрос о возможных механизмах формирования и активизации тектонически ослабленных зон, связанных с глубинными разломами к настоящему времени не может считаться полностью решенным. На наш взгляд, их формирование обусловлено совместным действием двух эффектов – сейсмотектонической активности, ведущей к образованию трещин и зон ослабления (дробления), и просачиванию флюидов (в первую очередь газов – метана, радона) через эти зоны. Ведение горных работ существенно усилило оба процесса – подработанные и соседние с ними участки теряют устойчивость, усиливаются трещинообразование и эманиции флюидов. Также как ведение горных работ и особенно затопление шахт ведет к росту интенсивности гидрогеологических процессов, росту коэффициентов фильтрации, формированию размывов и т.д. Совокупность всех этих процессов способствует росту интенсивности процессов в региональных и локальных тектонически ослабленных зонах. При этом локальные тектонически ослабленные зоны становятся концентраторами проблем устойчивости и повышенной обводненности горных выработок.

В настоящее время в проектной документации на строительство и эксплуатацию шахт отсутствует специальный раздел по обеспечению геодинамической безопасности, и угольные шахты не подготовлены к предотвращению опасных горно-тектонических явлений регионального масштаба. В то же время наука достигла определенных успехов в изучении природы геодинамических опасностей и разработала комплекс мероприятий по предотвращению такого рода явлений.

Основной для проектирования горных работ в соответствии с геодинамическими условиями и заблаговременной разработки комплекса мероприятий по обеспечению геодинамической безопасности являются достоверные о залегании угольных пластов на разных масштабных уровнях, блоковой структуре, уровне напряженности отдельных участков, и соответственно вероятности скоплений газа. Использование этих данных необходимо на всех этапах проектирования и планирования горных работ - начиная с уровня всего месторождения на стадии его раскройки на шахтные поля и горные отводы до уровня планирования отработки выемочного столба для составления паспорта проведения и крепления горных выработок.

От того, насколько точны исходные данные о структуре углепородного массива зависит степень соответствия разрабатываемых геолого-структурных 3-мерных моделей угольных пластов реальным условиям их залегания, точность оценки уровня напряжений в массиве горных пород при различных вариантах разработки пластов, возможность правильной идентификация опасностей и мониторинга их состояния, а также своевременность применения профилактических мероприятий регионального и локального уровня. В качестве примера можно на важнейшую задачу выбора порядка отработки пластов в свите, когда наличие тектонически напряженных зон и риск динамических явлений на разных пластах оказывает существенное влияние на определение наиболее безопасного порядка отработки.

Основной метод анализа блочной структуры угольного месторождения, оценки геодинамического и геомеханического состояния его отдельных участков - это геодинамическое районирование недр. Работы по геодинамическому районированию недр включают комплексные исследования и состоят из следующих основных этапов.

1. Сбор и изучение фондовых геологических, геофизических, геохимических, геофильтрационных и картографических материалов по району работ.

2. Выделение блочной структуры массива горных пород и разломов на основе дешифрирования космических и аэрофотоснимков, морфоструктурного анализа земной поверхности по топографическим картам различного масштаба с привлечением результатов стандартных и нестандартных инженерно-изыскательских работ.

Масштаб карт для морфоструктурного анализа рельефа земной поверхности выбирается в каждом конкретном случае в зависимости от площади территории участка угольного месторождения.

3. Уточнение границ блоков по результатам ранее выполненных геологических и геофизических исследований и сейсморайонирования для соответствующего угледобывающего региона (района). Как уже указывалось выше, проведенные в последние годы исследования в Кузбассе показали, что существенное влияние на формирование тектонически напряженных и особенно тектонически ослабленных зон оказывают не только разломы, проявленные в массиве, но и глубинные разломы, выявляемые геофизическими методами.

4. Предварительное выделение потенциально геодинамически активных разломов, узлов активных разломов и тектонически-напряженных зон (ТНЗ).

Составление предварительной схемы на топографической карте масштаба 1:100000 (иногда 1:200000) с последующей детализацией на картах более крупных масштабов (1:50000, 1:25000, 1:10000). При этом на схему наносятся геодинамически активные зоны разломов и узлы их пересечения, границы тектонических блоков и оси и границы пликтивных структур.

5. Проведение комплекса геофизических, геодезических и геохимических полевых инструментальных наблюдений в потенциально геодинамически опасных зонах с целью уточнения их границ и дифференциации зон по степени геодинамической активности (опасности).

6. Построение объемных геолого-структурных и геофильтрационных моделей угольных пластов месторождений.

7. Оценка напряженного состояния отдельных блоков и эволюции этого состояния. Прогнозная оценка напряженного и газогидродинамического состояния блочного горного массива и угольных пластов производится с использованием расчетных методов. Установление признаков опасного состояния участков угольных пластов, в т.ч. залегающих в свитах и разрабатывающих по технологическим схемам с многоштрековой подготовкой производится на основе результатов математического моделирования напряженно-деформированного состояния блочного массива для различных вариантов их отработки. По критерию минимизации зон повышенного горного давления выбирается оптимальная последовательность выемки пластов в свитах.

При необходимости производится физическое моделирование тех или иных вариантов отработки свиты пластов с учетом критериев подобия.

8. Создание геодинамических карт с выделенными на них разломами и геодинамически опасными зонами, классифицированными по степени их активности.

9. Выбор методов предварительной дегазации угольных месторождений. Особое значение геодинамические карты имеют для проведения предварительной дегазации (с поверхности) планируемых к отработке месторождений. Оптимальные места для бурения дегазационных скважин находятся в тектонически ослабленных зонах, характеризующихся повышенной трещиноватостью и скоплениями свободного метана.

10. Моделирование горных работ на выемочных полях шахты в прогнозируемых геодинамически опасных зонах.

В зависимости от горно-геологических и горнотехнических условий конкретного шахтного поля и способа отработки запасов более детально оценивают те факторы и явления, которые осложняют ведение горных работ. Устанавливаются особо сложные условия ведения горных работ и границы опасных зон (зон риска). После оценки возможности безопасной отработки угольного пласта в зоне риска, анализа эффективности применяемых профилактических мероприятий принимается решение о проектировании горных работ с дополнительными мерами по безопасности или разработке технико-экономического обоснования по списанию запасов угля с учета шахты.

11. Дополнительно оценивается возможность проявления техногенных землетрясений в регионе, которая выполняется на основании:

- реконструкции геомеханической ситуации на отработанных площадях ликвидируемых угольных шахт на момент прекращения их эксплуатации;
- анализа газогидродинамического состояния массива горных пород;
- реакций горного массива (техногенных сейсмособытий) на проведение массовых взрывов на угольных разрезах и карьерах;
- исследования и оценки возможной активизации разломов при затоплении шахт.

12. Разработка проекта и создание геодинамического полигона для проведения мониторинга геодинамических процессов на данном месторождении (территории горного отвода, участке шахтного поля). В геодинамически опасных зонах проектируется сеть геодинамического мониторинга с целью прогноза зон риска в процессе эксплуатации шахты. Организация геодинамического мониторинга, включающего геофизические (сейсмические, сейсмоакустические, деформационные, электромагнитные), маркшейдерские (высокоточные геодезические) и режимные гидрогеологические наблюдения.

В частности, электромагнитные измерения позволяют выделить до начала отработки лавы тектонически ослабленные зоны, в которых требуется усиленное крепление вентиляционного и конвейерного штреков, дополнительные меры по дегазации и откачке воды, а также недопустимы остановки при ведении очистных работ.

13. Для оценки и уточнения активности разломов проводятся режимные (временные) наблюдения за проведением электрических и электромагнитных полей на стационарных профилях с периодичностью замеров, позволяющей учесть влияние естественных циклов движения земной коры.

В ряде случаев с такой же периодичностью проводится эманационная съемка.

Количественные характеристики различных видов деформаций земной поверхности от влияния подземных горных работ являются исходными данными для объективного определения:

- возможных деформаций несущих конструкций зданий и коммуникаций;
- необходимости введения конструктивных мер защиты зданий и сооружений на поверхности или применения горных мер для проектируемых и эксплуатируемых шахт;
- возможных характера и степени повреждения конструкций, а, следовательно, и причиненного ущерба от совместного влияния подземных ведения горных работ и геодинамических процессов.

В проектах строительства и реконструкции шахт, вскрытия, подготовки и отработки запасов угольных пластов целесообразно иметь специальный раздел «Геодинамическая безопасность», в котором должны быть представлены сведения о выделенных в углепородном массиве опасных зонах с особо сложными условиями разработки пластов или отдельных участков выемочных полей.

В этом разделе должны быть представлены технологические схемы региональных мероприятий по обеспечению безопасности горных работ (опережающая отработка защитных пластов по бесцеликовой технологии или с оставлением податливых целиков, последовательность отработки сближенных пластов в свитах, дегазация, увлажнение, региональный и локальный мониторинг и др.).

Необходимость применения дополнительных мер безопасности с использованием локальных способов предотвращения аварий может быть определена по мере выявления особо сложных условий ведения горных работ и установления границ опасных зон по результатам горно-геологического прогноза, геомеханического и геодинамического мониторинга на стадии разработки пластов.

СЕКЦИЯ II: ОБЪЕДИНЕННЫЕ СЕКЦИИ «ДОБЫЧА УГЛЯ ПОДЗЕМНЫМ СПОСОБОМ» И «ШАХТНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО»

УДК 622.272

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ РАЗРАБОТКИ МОЩНЫХ КРУТОНАКЛОННЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

Анферов Б.А. - с.н.с., к.т.н., Кузнецова Л.В. – с.н.с., к.т.н.

Учреждение Российской академии наук Институт угля СО РАН, Кемерово

Применяемые сегодня технологии подземной добычи угля из крутонаклонных и крутых пластов характеризуются низкой эффективностью, отсутствием средств механизации, буровзрывной выемкой. Так среднемесячная производительность труда рабочего в 4 раза меньше чем в среднем по шахтам Кузбасса. Удельный объем вскрывающих и подготавливающих выработок на 1000 т добычи выше в 5 раз. Себестоимость подземной добычи одной тонны угля превышает среднюю по Кузбассу более чем в 2 раза. Только дефицит углей особо ценных марок, составляющих коксующую группу промышленной шихты для производства металлургического кокса, вынуждает продолжать разработку крутонаклонных угольных пластов.

Одной из особенностей залегания крутонаклонных угольных пластов в Кузбассе является их нарушенность. Нарушения типа взброс, сброс проявляются регулярно и не позволяют нарезать длинные выемочные столбы, благоприятные для выемки угля традиционными средствами комплексной механизации, аналогично тому, как это решается при пологом залегании пластов. Однако накопленный опыт использования разнообразных средств механизации в различных горно-геологических условиях позволяет создать технологию, адаптированную к условиям залегания мощных крутонаклонных пластов для повышения эффективности добычи угля. Особое место в этом ряду принадлежит самоходным средствам механизации: гидрофицированным крепям, самоходным вагонам, проходческим комбайнам. В отношении последних известно множество технических решений по добыче угля из крутых и крутонаклонных пластов, которые не нашли признания и применения в силу повышенной сложности организации работы комбайна, в частности, его разворота.

Авторами разработана технология добычи коксующихся углей дефицитных марок из крутонаклонных пластов средствами комплексной механизации без использования буровзрывных работ по щитовой системе разработки, т.е. длинными столбами, нарезаемыми по простиранию пласта и вынимаемыми полосами по падению с оставлением между соседними полосами барьерного целика.

Идея технологии базируется:

- на раскройке выемочной полосы на участки слабонаклонных и противоположно направленных слоев (в виде «ёлочки»), позволяющей перенести механизированную высокопроизводительную технологию разработки пологих пластов на крутонаклонные;
- на частичном использовании сил гравитации для передвижки крепи, сохраняя тем самым достоинства традиционной щитовой системы разработки;
- на повышении мобильности и компактности применяемых средств механизации для организации поточной работы по их монтажу (демонтажу), в зависимости от горно-геологических условий.

Длинный выемочный столб подготавливают проведением конвейерного 1 и вентиляционного 2 штреков. Выемочную полосу оконтуривают проведением у дальней границы столба (на фланге) углеспускного ската 3 у почвы пласта и у ближней границы – углеспускного ската 4 аналогичным образом. У вентиляционного штрека 2 сооружают монтажную камеру 5, в которой монтируют секции щитовой агрегатированной крепи 6 (рис.1).

Секция агрегатированной крепи 6 (рис.2), содержит основание 7, жестко связанное с нормально ориентированным к нему с завальной стороны ограждением 8; ось 9; поворотное ограждение 10, во внутренней полости которого размещен выдвижной козырек 11[1]. Со стороны выработанного пространства к ограждению 8 и поворотному ограждению 10 гибкой связью прикреплен один или два слоя накатника 12, длина бревен которого примерно равна ширине секции крепи. В пространстве между укосинами 13 с возможностью углового перемещения в вертикальной плоскости установлена телескопическая каретка 14, на которой также с возможностью углового перемещения установлен режущий исполнительный орган 15. Исполнительный орган 15 выполнен в виде телескопической стрелы со сферической режущей головкой, снабженной резцами. К боковым сторонам основания прикреплены гидравлические домкраты передвижки 16, обладающие двойной раздвижностью, а во внутреннем пространстве основания размещен гидравлический привод эмалированного скребка 17, который установлен перед основанием с возможностью поворота в плоскости своего поперечного сечения. Секции крепи устанавливают бок о бок в линию и связывают домкратами передвижки 16. При этом количество секций (длина очистного забоя) может быть принято по горно-геологическим условиям, например, по расстоянию между разрывами сплошности углевмещающего массива, или из экономических условий.

В рабочем пространстве очистного забоя монтируют очистной комбайн 18 фронтального действия с режущим исполнительным органом, выполненным в виде горизонтально ориентированного барабана, например типа JOY 17СМ, и самоходный вагон 19, например В15К.

Проветривание очистного забоя осуществляют за счет общешахтной депрессии по возвратноточной схеме: штрек 1, скат 3, пространство очистного забоя, скат 4, вентиляционный штрек 2.

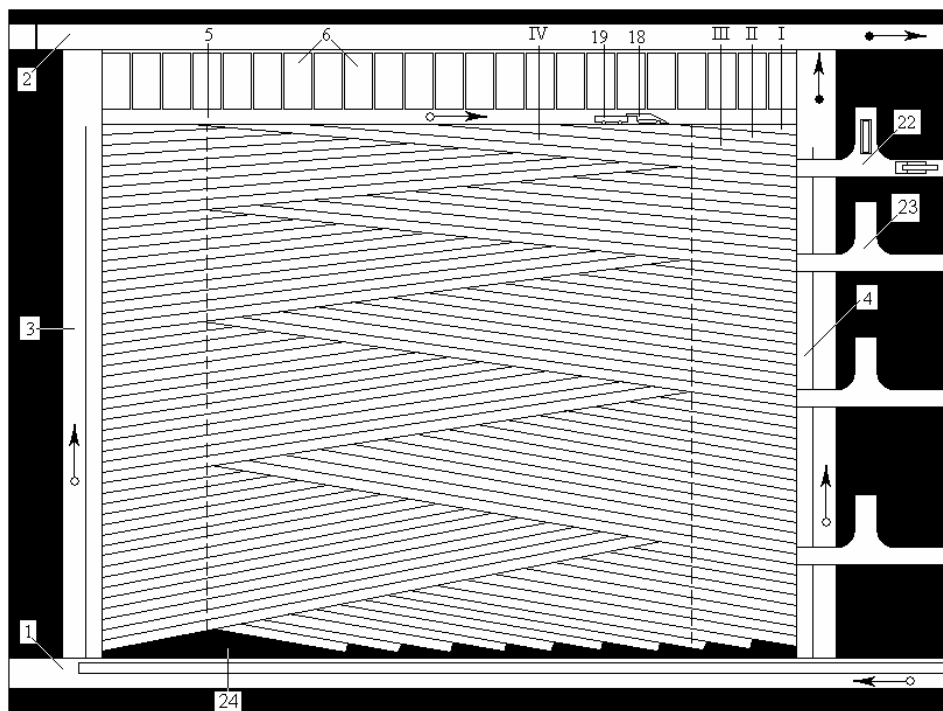


Рисунок 1 – Схема раскройки выемочной полосы на участке с противоположно направленными слабонаклонными слоями

В исходном положении секции 6 установлены в линию, выдвижные козырьки 11 выдвинуты до соприкосновения с кровлей пласта. Выемка угля осуществляется в слоях, начиная с ближней границы выемочной полосы. При этом машинисты комбайна и самоходного вагона должны всегда располагаться со стороны секций крепи. Очистной комбайн 18, не доходя до ближней границы выемочной полосы, начинает зарубаться в почву слоя и грузить отбитый уголь в самоходный вагон 19. При этом комбайн придает почве вынимаемого слоя I уклон под углом β в сторону ближнего углеспускного ската 4, но не более допустимого для применяемых средств механизации – комбайна и самоходного вагона. Самоходный вагон 19, в свою очередь, транспортирует уголь до флангового углеспускного ската 3. При этом расстояние L , с которого комбайн 19 начинают зарубать в почву монтажной камеры, принимают равным $L = m_c \cdot ctg \beta$, где m_c – мощность вынимаемого слоя, принимаемая в зависимости от шага передвижки секций крепи и из условия недопущения прорыва обрушенных пород в рабочее пространство. После отхода груженого вагона 19 от комбайна 18 последний задним ходом возвращают к началу зарубки в почву монтажного слоя; исполнительными органами 15 секций агрегатированной крепи 6, установленных в зоне вынутаго наклонного слоя, осуществляют оконтуривание образовавшейся очистной выработки – подрубают угловой целик 20 у почвы слоя и целик 21 у кровли пласта. Отбитый уголь при этом просыпается на почву слоя, с которой комбайн 18 грузит его в подошедший разгруженный самоходный вагон 19. После зачистки почвы наклонного слоя комбайн 18 и самоходный вагон 19 опять возвращаются на почву слоя монтажной камеры, а в рабочем пространстве наклонного слоя I передвигают секции крепи 6.

После передвижки секций крепи в первом наклонном слое (I), аналогичным образом вынимают уголь во втором наклонном слое (II), который будет длиннее первого на величину $L = m_c \cdot ctg \beta$, затем в третьем (III), четвертом (IV) и так далее. Когда в монтажном слое останется ограниченное пространство, в котором смогут разместиться только комбайн 18 и самоходный вагон 19, комбайн 18 производит зачистку почвы текущего наклонного слоя до ближнего углеспускного ската 4 и далее осуществляет выемку и оформление камеры разворота 22 за пределами выемочной полосы. При этом комбайн 18 вынимает уголь на высоту чуть больше высоты своего корпуса у кровли пласта, выходит за пределы выемочной полосы над ближним углеспускным скатом 4 и, совершая возвратно-поступательные движения веером, прорубает в угольном массиве и породах почвы пласта горизонтальную Т-образную камеру 22. Обнажения кровли пласта в Т-образной камере крепят анкерной крепью, а часть камеры, расположенную в породах почвы пласта, крепят традиционной рамной крепью.

После сооружения камеры разворота 22 комбайн 18 и самоходный вагон 19 разворачивают в ней и меняют местами. Затем комбайн 18 и вагон 19 холостым ходом перегоняют по почве отработанного слоя, который с этого момента будет являться транспортным, к фланговому скату 3, где начинают выемку следующего слоя, наклоняя его уже в сторону флангового ската 3, т.е. в противоположную сторону. При этом транспорт отбитого угля осуществляют самоходным вагоном 19 по почве транспортного слоя к ближнему углеспускному скату 4.

Далее вынимают слои аналогичным образом до тех пор, когда в транспортном слое останется пространство, в котором смогут разместиться только комбайн 18 и самоходный вагон 19. Тогда вагон 19 и комбайн 18 задним ходом возвращают в камеру разворота 22, где их опять разворачивают и меняют местами. Затем самоходный вагон 19 и комбайн 18 уже по следующей транспортной выработке возвращают в пределы выемочной полосы и начинают следующий цикл выемки слоев аналогичным образом, но уже с транспортировкой отбитого угля к фланговому скату 3.

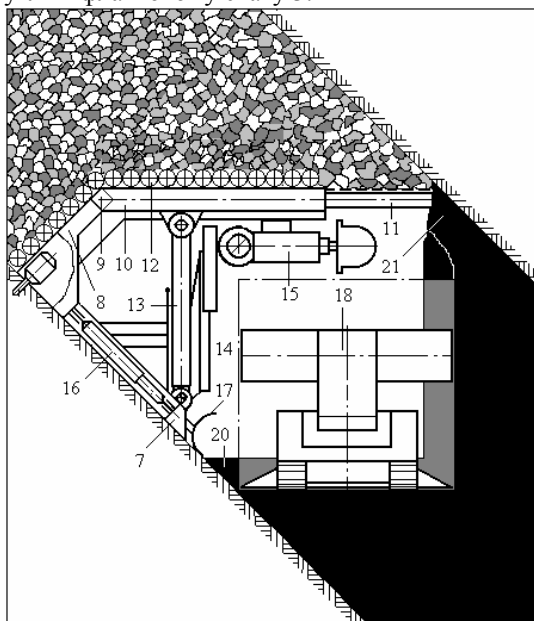


Рисунок 2 – Схема размещения оборудования в рабочем пространстве очистного забоя

Когда сократится до минимального размера следующая транспортная выработка, осуществляют формирование камеры разворота 23 за пределами выемочной полосы и т.д.

На заключительном этапе работ по выемке полосы между секциями крепи 6 и транспортным штреком 1 оставляют целик безопасности 24, комбайн 18 и самоходный вагон 19 по одному из углеспускных скатов выводят на конвейерный штрек. Оставшийся целик безопасности 24 вынимают исполнительными органами 15 агрегатированных секций крепи 6, после чего их по очереди переводят в транспортное положение и выводят на конвейерный штрек 1.

Пространство отработанной полосы изолируют перемычками, оставляя возможность использования всех камер разворота для тех же целей при выемке соседней выемочной полосы, в которой направления отработки слоев и их наклона принимают симметрично относительно отработанной выемочной полосы.

Особенностями данной технологической схемы, выгодно отличающими ее от других аналогичных технологических разработок, являются:

- индивидуальное агрегатирование секций позволяет набирать комплект оборудования любой длины в зависимости от горно-геологических условий, например, степени нарушенности пласта, т.е. позволяет вынимать запасы между нарушениями;

- за счет организации выемки слоев с наклоном в разные стороны не только значительно упрощается и облегчается операция зарубки комбайна в следующий слой, но и появляется возможность формирования многократно используемой камеры разворота за пределами выемочной полосы, для этого используется существующий серийный комбайн фронтального действия;

- за счет использования исполнительных режущих органов агрегатированных крепей только для оформления очистного забоя и организации собственно выемки угля комбайном фронтального действия появилась возможность многократного увеличения производительности забоя;

- разворот комбайна и самоходного вагона в камере разворота способствует не только улучшению организации работ в слоях, но и повышению безопасности ведения работ, т.к. машинисты указанных средств механизации находятся под защитой агрегатированных крепей;

- область применения данной технологии составляют угольные пласты мощностью от 3,5 до 7,0 м, для разработки которых в настоящее время не существует серийных высокопроизводительных средств комплексной механизации.

Габариты агрегатированных секций крепи, приведенные в соответствие с параметрами поперечного сечения выработок, позволяют быстро демонтировать и переводить крепь на новое место работы. Данная крепь позволяет компоновать очистное оборудование в зависимости от горно-геологических условий, в частности от расстояния между нарушениями, т.е. вынимать ограниченные запасы. Нагрузка на забой определяется производительностью по транспортированию отбитого угля самоходным вагоном и по предварительной оценке может составить более 3 тыс. т/сут. Интенсификация отработки выемочной полосы и последующая изоляция выработанного пространства позволяют своевременно уходить очистным работам из зоны возможных эндогенных пожаров.

Аналогичная технология для разработки пластов мощностью от 8 до 14 м включает разделение пласта по мощности на два наклонных слоя с оставлением межслоевой пачки, монтаж в каждом наклонном слое описанного выше оборудования с укладкой гибкого перекрытия на почве слоя у кровли пласта и параллельную работу в наклонных слоях. При этом межслоевая пачка разрушается давлением пород за гибким перекрытием и просыпается в рабочее пространство слоя у почвы пласта через решетчатый козырек секций крепи, установленных в этом слое. Для организации разворота оборудования также сооружают камеру разворота за пределами выемочной полосы комбайном, работающим в слое у кровли пласта.

Для промышленной реализации этой идеи необходимо:

- выполнить НИОКР по разработке технико-технологического обеспечения выемки угля из крутонаклонных пластов и конструкторской документации на агрегатированную крепь;

– изготовить комплект оборудования (экспериментальный образец) и провести промышленные испытания технологии.

1. Пат. № 2415271 Российской Федерации, МПК 7 E21D23/00 Секция агрегатированной крепи/ Анферов Б.А., Кузнецова Л.В.; заявитель ИУУ СО РАН.-№ 2009144438; заявл.30.11.2009; опубл. 27.03.2011, бюл. № 9.- 8 с.: ил.

Аннотация

Предложена технология добычи коксующихся углей дефицитных марок из крутонаклонных пластов средствами комплексной механизации без использования буровзрывных работ по щитовой системе разработки, т.е. длинными столбами, нарезаемыми по простиранию пласта и вынимаемыми полосами по падению с оставлением между соседними полосами барьерного целика.

Abstract

The technology of mining coking coal of deficient ranks from steeply seams by mechanization methods by shield development system, that is by longwall panels on strike by strips on dip method is offered.

УДК 622.257

ТАМПОНАЖ ЗАКРЕПНЫХ ПУСТОТ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

***Бурков Ю.В., д.т.н., проф. каф. ТуГМ КузГТУ
Росстальной Е.Б., к.т.н., зам. руководителя ООО «Стройсервис», г.Кемерово***

Приведены условия применения и основные параметры технологии тампонажа закрепного пространства в горных выработках.

Рост объемов добычи угля в Кузбассе в ближайшие годы связан со строительством новых шахт и реконструкцией действующих. При этом горно-геологические условия строительства и поддержания горных выработок в эксплуатационном состоянии постоянно ухудшаются. Это связано с необходимостью периодического перекрепления горных выработок, рихтовки транспортных коммуникаций и т.д. Одним из путей безремонтного поддержания горных выработок является применение технологий инъекционного воздействия твердеющими смесями на породные массивы в окрестностях горных выработок. При этом заполнение закрепных пустот и создание монолитного массива вокруг горных выработок не только повышает их устойчивость, но и предотвращает возможность скопления метана в закрепном пространстве. Этот факт является одним из важнейших факторов безопасной эксплуатации горных выработок.

Мы считаем, что в правила безопасной и безремонтной эксплуатации горных выработок и повышения безопасной жизнедеятельности работающих на шахтах, опасных по выделению метана, необходимо внести положения об инъекционном заполнении закрепных пустот твердеющими смесями.

Из известных инъекционных способов воздействия на породные массивы с различными целями (создание противодиффузионных завес, создание дренажных завес, упрочнение породного массива и т.д.) наиболее простым является тампонаж закрепного пространства твердеющими смесями. Последними исследованиями установлено, что при выполнении этой операции цементное молоко из тампонажного раствора проникает по трещинам в окружающем выработку породном массиве на значительные расстояния, что обеспечивает повышение устойчивости крепи в 1,5-2 раза, то есть в некоторых случаях удается обеспечить устойчивость выработок и исключить возможность скопления метана в закрепном пространстве благодаря применению только технологии тампонажа.

Одной из трудоемких операций при выполнении тампонажных работ является заделка трещин в традиционных типах крепи либо щелей между элементами крепи. Чаще всего эту операцию выполняют вручную, что иногда является причиной неприменения технологии тампонажа. Но существуют способы проведения горных выработок, при которых исключается необходимость выполнения операции по заделке трещин. Это, в первую очередь, проходка выработок с применением инвентарной опалубки конструкции ОАО «Кузниишахтострой», применение решетчатой затяжки с рулонным покрытием, и технология проходки горных выработок передвижной металлической опалубкой ОМП, используемой в качестве временной крепи. Указанные технологии проходки позволяют резко снизить

трудовые и материальные ресурсы на возведение крепи, исключить скопление метана в закрепных пространствах горных выработок, и главное, могут применяться даже в сложных горно-геологических условиях с применением глубинного способа упрочнения горных пород.

К ВОПРОСУ РАЗРАБОТКИ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ АВТОНОМНЫМИ ОЧИСТНЫМИ ЗАБОЯМИ

Л.А. Важенин, Д.А. Пьянков, Е.А.Иванчин

Анализируя историю развития технологии добычи угля подземным способом, можно видеть, что этот процесс сопровождался все большей и большей сложностью сети горных выработок. Старые угольные копи представляли собой выработки пройденные по пласту угля примыкающие непосредственно к стволу или штольне. В отдельных случаях эти выработки проводились с поверхности и являлись одновременно, и вскрывающими, и подготовительными и очистными. В результате увеличения длины забоя и его удаления от ствола возникло два типа выработок: очистные и подготовительные.

Быстро растущая потребность в каменном угле требовала увеличения мощности шахт. При небольшой производительности очистных забоев мощность шахты могла быть увеличена только за счет большого числа одновременно действующих забоев. Это обусловило применение этажей повышенной высоты с разделением их на подэтажи, отработку пластов в определенных горно-геологических условиях «большими выемочными полями» - панелями, расчленение шахтных полей на обособленно проветриваемые блоки. Все эти мероприятия позволили достичь желаемых результатов, но вместе с тем они привнесли в технологию известные недостатки, вызванные довольно разветвленной сетью вскрывающих и подготовительных выработок. Общая протяженность вскрывающих подготовительных и нарезных выработок на современных угольных шахтах средних размеров составляет несколько десятков километров, а на крупных – несколько сотен километров. На пример на шахте «Распадская» в Кузбассе общая протяженность горных выработок на момент аварии была более 300 км. Что равно длине выработок московского метрополитена.

Современные способы вскрытия и подготовки шахтных полей и применяемые системы разработки пластов предусматривают предварительное, до начала ведения очистных работ проведение разветвленной сети выработок, по которым осуществляются транспорт угля и породы, водоотлив, проветривание, продвижение людей и другие. коммуникации. При этом отбитый в очистных забоях уголь транспортируют сначала вниз, иногда на значительные расстояния, а затем перевозят по горизонтальным выработкам до стволов и поднимают на поверхность. Так называемый перепробег угля под землей за время отработки запасов шахтного поля составляет миллионы тонно-киллометров. Аналогично транспортируется шахтная вода (водоотлив) и воздух (вентиляция). Разветвленная сеть горных выработок требует значительных расходов на их поддержание в работоспособном состоянии.

В целом технология подземной угледобычи в таких условиях становится менее эффективной, уменьшается ее надежность и увеличивается риск возникновения различных нештатных ситуаций и аварий, а иногда приводит к масштабным катастрофам, т.к. увеличивается опасность взрыва метано-воздушной смеси и возникновения подземных пожаров, как эндогенных, так и экзогенных.

Строительство угольных шахт по традиционным технологическим схемам требует значительных капиталовложений и длительных сроков реализации проектов. Одновременно с усложнением сети горных выработок увеличивалась производительность очистных забоев. При современном уровне механизации очистных работ производительность одной лавы становится соизмерима с производительностью шахты. В результате этого возникло противоречие между сложившимися способами вскрытия и подготовки шахтных полей, с одной стороны, и возможностями современной выемочной техники – с другой. Современные механизированные комплексы свободно могут обеспечить производительность очистного забоя 3-5 тыс.тонн в сутки. А в благоприятных горно-геологических условиях 8-10 тыс.тонн и более. Рекордная производительность в 30 тыс. тонн в сутки в среднем за месяц была получена в Австралии на шахте Beltana.

Одним из выходов из этого противоречия может быть переход на разработку шахтных полей автономными очистными забоями. Под термином «автономный очистной забой» в данной статье мы будем понимать такие длинные очистные забои (лавы), функционирование которых обеспечивают:

- автономный транспорт угля от забоя до поверхности, автономная доставка материалов и оборудования с поверхности до забоя, автономная перевозка людей, т.е. все транспортные операции никак не зависят от транспортных процессов, в других частях шахт;
- автономная система проветривания сети горных выработок, имеющая автономный вентилятор (вентиляторы), калорифер и все необходимые вентиляционные устройства;
- автономный водоотлив шахтных вод, с автономной насосной установкой и сетью трубопроводов.

Таким образом каждый автономный очистной забой имеет свои вскрывающие и подготовительные выработки и может функционировать совершенно независимо от других автономных забоев.

В частном случае в шахтном поле в одновременной работе может быть только один очистной забой, т.е. разработка шахтного поля осуществляется по схеме шахта-лава. В общем случае шахтное поле можно разрабатывать несколькими одновременно действующими автономными очистными забоями, которые объединяются в единую технологическую схему шахты коммуникациями на поверхности (транспорт грузов, электроснабжение, связь, водоотведение, отгрузка угля потребителям, возможно обогащение угля и др.). Все функции традиционного откаточного горизонта и околоствольного двора выполняются на поверхности, следовательно, необходимость в их строительстве отпадает.

В данной статье изложены основные принципы разработки автономными очистными забоями пологих и наклонных пластов (с углом падения до 35° , т.е. в пределах применимости современных механизированных комплексов).

Идея разработки пластов автономными очистными забоями наиболее эффективно может быть реализована при столбовых системах.

Нами рассмотрены два варианта столбовых систем разработки:

- с выемкой столбов по восстанию;
- с выемкой столбов по простиранию.

Сущность технологической схемы разработки пластов длинными столбами по восстанию заключается в том, что выемочный столб оконтуривается двумя наклонными выработками, пройденными непосредственно с поверхности. Одна из выработок служит для выдачи угля, другая – для выполнения вспомогательных операций. Работы в очистном забое выполняются как обычно, с применением существующей техники и технологии (Рис.1)

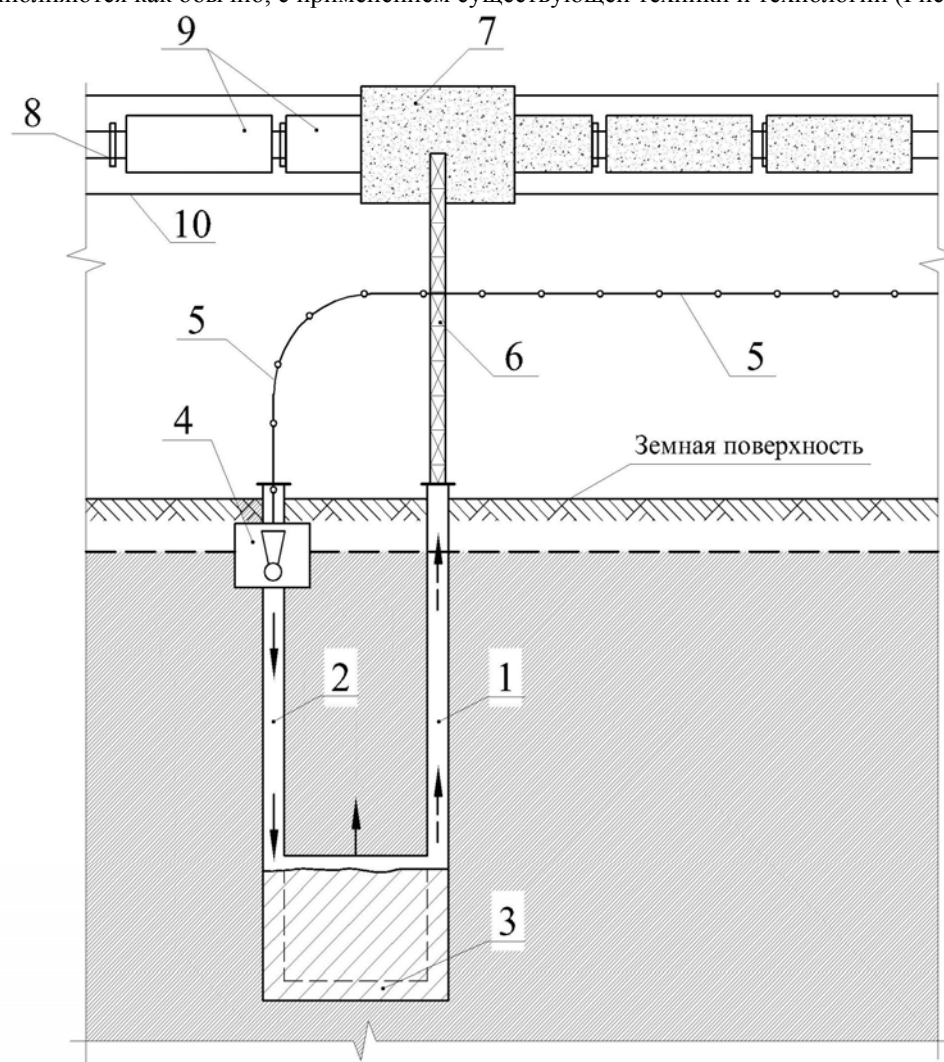


Рис. 1. Схема отработки выемочного столба по восстанию автономным очистным забоем.

1-конвейерная наклонная выработка; 2-рельсовая наклонная выработка; 3-монтажная камера; 4-здание вентиляционной калориферной установки; 5-монорельсовая подвесная дорога; 6-Конвейерная галерея; 7-плгрозочный бункер; 8-железнодорожный путь колеи МПС; 9-железнодорожные вагоны; 10-рельсовый путь погрузочного бункера.

Отличительной особенностью данной технологической схемы является то, что отбитая в очистном забое горная масса выдается непосредственно на дневную поверхность из каждого очистного забоя, а вспомогательные материалы транспортируются в зону очистных работ непосредственно с поверхности. Транспорт угля на поверхности может быть железнодорожный, автомобильный или конвейерный. На рис.1. показан вариант погрузки угля из очистного забоя сразу в железнодорожные вагоны. Проветривание очистного забоя осуществляется автономным вентилятором, установленным около устья рельсовой наклонной выработки. Такая технологическая схема требует минимального количества подготовительных выработок. Их всего две.

Однако область применения такой технологии ограничена величиной угла падения пласта 100° . При разработке пластов с углами падения более 100° выемочные столбы необходимо ориентировать по простиранию или под некоторым углом к линии простирания.

Сущность разработки выемочных столбов по простиранью, автономными забоями показана на рис.2.

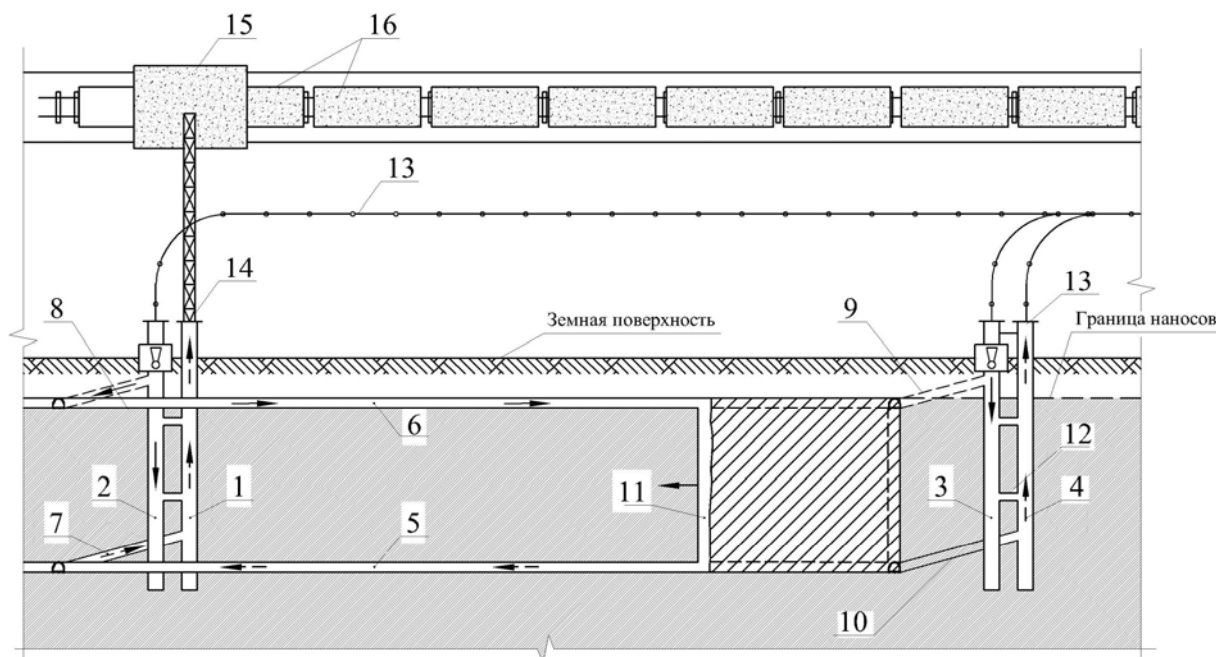


Рис. 2. Технологическая схема отработки выемочного столба по простиранью автономным очистным забоем.

1-Уклон; 2-Ходок при уклоне; 3-Монтажная выработка; 4-Вентиляционная выработка; 5-Конвейерный штрек; 6-Вентиляционный штрек; 7-Конвейерный квершлаг; 8-Вентиляционный квершлаг; 9-Монтажный вентиляционный квершлаг; 10-Монтажный доставочный квершлаг; 11-Очистной забой; 12-Вентиляционная сбойка; 13-Монорельс; 14- Конвейерная галерея; 15-Бункер-дозатор; 16- Ж/д вагоны.

Отработку пластов осуществляют длинными столбами по простиранью по схеме лава — этаж. При этом каждый пласт по всей длине шахтного поля вынимается одним очистным забоем. Лава движется от одной границы шахтного поля до другой без перемонтажа добычного оборудования. К моменту перехода очистного забоя в следующий блок в нем по соответствующему пласту должны быть пройдены конвейерный и вентиляционный штреки. При значительных расстояниях между блоковыми стволами штреки могут быть пройдены встречными забоями.

Вентиляционные штреки при подготовке второго и всех последующих этажей проводят на границе с выработанным пространством, т. е. «в присечку». При отработке, а в определенных условиях, когда эти штреки трудно поддерживать на большой длине, они могут быть пройдены с оставлением ленточных целиков или полевыми и соединяться с пластовыми штреками промежуточными квершлагами.

Если пласты в шахтном поле пересечены геологическими нарушениями, переход которых без перемонтажа выемочного оборудования затруднен, или значительные изменения элементов залегания пластов в направлении их простиранья обуславливают применение на отдельных участках различного выемочного оборудования, то границы выемочных столбов приурочивают к этим нарушениям.

Монтаж оборудования очистных забоев осуществляют в разрезной печи (монтажной камере), пройденной у одной из границ шахтного поля. Для доставки оборудования в монтажную камеру с поверхности проводят наклонную выработку. Параллельно монтажному проводят углубочный ствол, который также обслуживает проходку квершлагов и штреков, проводимых в первом блоке.

При отработке одиночного угольного пласта, в лежащем боку с поверхности проводят две наклонные выработки, монтажную и вентиляционную, затем квершлагами вскрывают пласт угля, по которому проводят конвейерный и вентиляционный штреки, оконтуривающие выемочный столб. Для увеличения объемов добываемого угля, работы ведутся на всей свите пластов. Групповая подготовка пластов заключается в том, что квершлаг пересекает всю свиту пластов, работы ведут на первом выемочном столбе, работы по второму пласту, ведутся с момента когда работы на выемочном столбе по первому пласту пересекут наклонные (конвейерную, вентиляционную) выработки, запускают лаву на втором пласте. Аналогично ввод в работу следующих пластов свиты. Т.е. отработка пластов заключается в отставании на длину выемочного столба выше лежащего пласта. Вопрос группирования пластов и оптимизации проведения горных выработок а так же параметры выемочного столба являются дальнейшей темой исследования.

Достоинства автономных очистных забоев:

1). В рассматриваемых смехах вскрытия и подготовки шахтного поля отсутствуют такие дорогостоящие выработки, как этажные или магистральные штреки, разветвленные околоствольные дворы, участковые или

панельные бремсберги и уклоны с ходками, поэтому капитальные затраты на строительство шахты окажутся значительно меньшими, особенно первоначальные. Поверхностный технологический комплекс упрощается, а стоимость его будет ниже, поскольку отсутствуют подъемные машины, копры, бункера и др.

2). Срок строительства шахты не значительный, первоначальные затраты на развитие горных работ будут вкладываться более равномерно и небольшими частями.

3). Расходы на поддержание выработок будут незначительными, т.к. срок службы штреков небольшой, при отработке столба по простиранию все остальные выработки пройдены полевыми, вне зоны влияния очистных работ. Создаются условия полной конвейеризации транспорта угля от забоя до промплощадки и условия доставки материалов, оборудования и людей до любого забоя без перегрузок и пересадок.

4). Автономное проветривание очистного забоя максимально упрощает процесс за счет минимум числа подготовительных выработок. (вскрывающие выработки, оконтуривают очистной забой).

5). Возможность применения данной технологии при комбинированной разработке угля.

ПЕРЕДОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КОНТРОЛЯ ЗА СОСТОЯНИЕМ АНКЕРНОЙ КРЕПИ ВЫРАБОТОК

О.В. Ванякин, А.А. Дьяков, П.А. Зименс, А.В. Самохин

Технологическая служба крепления выработок, ОАО «Сибниуглеобогащение»

Рентабельность и безопасность отработки угольных пластов необходимо повышать за счет совершенствования технологии крепления горных выработок, а также способов и средств возведения крепи. Как показывает мировой и отечественный опыт, решением указанной задачи является переход от традиционного крепления подготовительных выработок металлическими рамными крепями на сталеполимерную анкерную крепь, возводимую в различных горно-геологических условиях проводимых выработок. Такая крепь увеличивает объемы и позволяет при использовании высокопроизводительного бурового оборудования ускорить процесс проведения выработок и облегчить труд горняков.

Анкерная крепь, состоящая из анкеров, устанавливаемых и закрепляемых в пробуренных в кровлю и бока выработок шпурах под опорные элементы с применением решетчатой затяжки, сразу же после установки связывает и упрочняет массив в кровле и боках выработки и активно противодействует развитию смещений и разрушения пород. Это преимущество позволяет при значительно меньшем расходе металла обеспечить повышение устойчивости и надежности поддержания выработок. Другим преимуществом анкерной крепи является возможность полной механизации крепления, в результате чего значительно снижается трудоемкость проходческих работ и возрастает скорость проведения выработок.

Успешное применение сталеполимерной и сталеминеральной анкерной крепи на угольных шахтах России, помимо оснащения их необходимым высокотехнологичным оборудованием, анкерами и ампулами с быстродействующими составами потребовало создания абсолютно новых методов и технологий для контроля состояния выработок с момента начала их проведения до момента их погашения.

В целях повышения уровня безопасного и эффективного применения анкерной крепи на угольных шахтах ОАО «СУЭК», в июле 2010 г. на базе института ОАО «Сибниуглеобогащение» была создана Технологическая служба крепления выработок.

Технологическая служба крепления выработок ОАО «Сибниуглеобогащение» осуществляет работы по ведению мониторинга состояния выработок на следующих шахтах ОАО «СУЭК-Кузбасс»: шахта «Котинская»; шахта №7; ШУ «Талдинское-Западное»; шахта «Комсомолец»; шахта «им. С.М. Кирова»; шахта «Красноярская»; шахта «им. 7 Ноября»; шахта «Полысаевская».

Разрешительными документами на осуществление деятельности Технологической службы крепления выработок ОАО «Сибниуглеобогащение» являются:

- свидетельство о допуске к видам работ, которые оказывают влияние на безопасность объектов капитального строительства;
- лицензия на осуществление деятельности по проведению экспертизы промышленной безопасности, выданная Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору РФ;
- удостоверения специалистов-экспертов;
- удостоверения сотрудников об аттестации по промышленной безопасности для угольных и горнорудных производств и объектов.

Среди перечня задач, выполняемых сотрудниками Технологической службы крепления выработок, особо выделим следующие:

1. Организация системного мониторинга за состоянием горных выработок угольных шахт силами предприятия и Технологической службы крепления выработок на основе накопленного опыта применения анкерной и других видов крепей в широком спектре горно-геологических и горнотехнических условиях шахт ОАО «СУЭК».

2. Расчетное обоснование применения анкерной крепи во всех выработках угольных шахт ОАО «СУЭК»; контроль качества разрабатываемых паспортов крепления.

3. Организация контроля качества крепления горных выработок и соблюдения технологической дисциплины посредством создания и оптимизации работы шахтовых технических служб контроля за анкерной крепью.

4. Систематизация работ по контролю применения анкерной крепи на угольных шахтах ОАО «СУЭК».

5. Оптимизация области применения анкерной крепи на шахтах посредством использования накопленного опыта крепления выработок в различных горно-геологических и горнотехнических условиях.

6. Разработка и внедрение стандартных программ расчета и выбора параметров анкерной крепи горных выработок (в зависимости от горно-геологических условий шахт).

7. Расчетное обоснование и контроль применения анкерной крепи вне области действия нормативных документов (канатные и составные анкеры; крепление монтажных и демонтажных камер; крепление в опасных зонах – ПГД, обводненность и др.).

8. Разработка элементов анкерной крепи из качественно-новых материалов, и согласование технической документации на их применение в разрешительной системе.

9. Внедрение передового зарубежного опыта применения новых способов и средств крепления горных выработок на шахтах ОАО «СУЭК».

Технологическая служба крепления выработок оснащена необходимыми приборами и оборудованием для ведения работ по контролю за состоянием горных выработок:

- оптический видеоэндоскоп (Германия) - для уточнения структуры и свойств вмещающих пород кровли в шахтных условиях;

- прибор «Викинг» - для определения крепости угля и углевмещающих пород;

- приборы контроля анкерной крепи типа ПКА-1 - для определения несущей способности анкеров (усилие нагружения на анкер – до 10 тонн);

- приборы контроля анкерной крепи типа ПКА-3 для определения несущей способности анкеров (усилие нагружения на анкер – до 30 тонн);

- ключи динамометрические типа КДМ для определения усилия затяжки гаек анкерной крепи;

- нормативные документы для угольной промышленности, в том числе для проведения и крепления выработок, применения различных видов крепей и т.д.;

- персональные ПК инженерного уровня, в том числе (ноутбук);

- копировально-множительная техника форматов А0 - А4;

- интернет, электронная почта, телефонная связь (с выходом на междугород);

- транспорт.

За период функционирования (2010-2011г.г.) сотрудниками Технологической службы крепления выработок выполнены следующие работы:

- обследованы более 40 км выработок шахт ОАО «СУЭК-Кузбасс» с выдачей рекомендаций по приведению их в безопасное состояние, подтвержденные актами;

- для уточнения структуры угленосного массива с выдачей рекомендаций по оптимизации параметров анкерной крепи постоянно проводятся обследования шпуров видеоэндоскопом;

- разработка и выдача специализированных заключений;

- постоянное выполнение расчетов параметров анкерной крепи горных выработок для конкретных горно-геологических условий шахт.

Повседневный качественный контроль за состоянием крепи позволяет повысить качество ее возведения и безопасность ведения работ.

УДК 622.001.600.012.2

К ВОПРОСУ НОРМИРОВАНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОТЕРЬ ПРИ КАМЕРНО-СТОЛБОВЫХ СИСТЕМАХ РАЗРАБОТКИ ПОЛОГИХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

***Егоров А.П., заведующий лабораторией, СФ ОАО ВНИМИ, г.Прокопьевск
Щеглов Е.С., старший научный сотрудник, СФ ОАО ВНИМИ, г.Прокопьевск***

При составлении проектов на отработку выемочных участков промышленные запасы определяются путём исключения из балансовых запасов проектных общешахтных и эксплуатационных потерь, запасов у геологических нарушений и нецелесообразных к отработке. На основе этого производятся расчеты нормативов потерь по выемочным участкам. Однако, как показывает практика, в большинстве случаев фактические потери угля значительно превышают плановые (проектные), что зачастую влияет на общие технико-экономические показатели угольных предприятий.

В "Проекте строительства горно-обогатительного комплекса шахты "Денисовская", разработанном институтом "Гипроуголь" и скорректированном ОАО "Сибгипрошахт" эксплуатационные потери при камерно-столбовой системе отработки запасов пл.К4 определялись по площади пласта, так как по мощности они

отсутствуют. Потери по площади при системе КСО составляют от потерь угля в подзавальных целиках и в предохранительных целиках между выемочными столбами. Размеры подзавальных целиков и целиков между выемочными единицами для системы КСО были приняты в проекте согласно параметрам, выданным СФ ОАО ВНИМИ.

В 2010г добыча угля на шахте "Денисовская" производилась системой КСО, с применением двух комплексов горношахтного оборудования фирмы DBT, на выемочных участках №5 и №5бис пласта К4. При ведении добычных работ за 9 мес. 2010г (I-III кв.) в границах выемочных столбов КСО №5 и №5бис было погашено 120 междуканальных целиков. При этом на участках с осложненными горно-геологическими условиями было вынужденно оставлено, в целях обеспечения безопасности работ, 17 междуканальных целиков, частично отработанных и не отработанных. Запасы угля в оставленных целиках составили неучтенные дополнительные потери при добыче. В табл.1 приведены сводные фактические показатели по эксплуатационным потерям запасов при проведении добычных работ системой КСО за 9 мес. 2010г.

Из таблицы видно, что при плановых (проектных) потерях угля, равных 55,7 тыс.т фактические потери составили 84,2 тыс.т, то есть увеличились на 33,8%, а запасы чистого угля в оставленных целиках составили 28,5 тыс.т.

В IV кв-ле 2010г системой КСО планировалась доработка оставшихся запасов выемочных столбов №5 и №5бис, при этом проектировалось извлечь из междуканальных целиков на данных участках 107,1 тыс.т чистого угля. С учетом плановых (проектных) потерь угля, равных 27,9 тыс.т, оставшиеся запасы участков составили 135 тыс.т.

Таблица 1

Показатели добычи угля и эксплуатационных потерь при системе

КСО за 9 мес. 2010г при отработке пл.К4 в выемочных столбах №5 и №5бис

Наименование добычного участка	Площадь подготовленных к отработке междуканальных целиков, м ²	Площадь неотработанных (оставленных) междуканальных целиков, м ²	Количество запасов угля в междуканальных целиках, тыс. т	Количество о извлеченного угля из междуканальных целиков, тыс. т	Коэффициент извлечения (в процентах)	Количество потерь, тыс.т		
						плановые (проектные)	сверхплановые (дополнительные)	всего
1	2	3	4	5	6	7	8	9
КСО №5	55408,4	5936,6	211,8	147,6	0,69 (70%)	38,3	25,9	64,2
КСО №5бис	20508,4	613,2	86,7	66,7	0,77 (77%)	17,4	2,6	20,0
Всего	75916,8	6549,8	298,5	214,3	0,72 (72%)	65,7	28,5	84,2

Однако на планируемых к отработке участках КСО прогнозировались осложнения горно-геологических условий, из-за негативных проявлений горного давления от выработанных пространств, которые также вызывали необходимость в дополнительных потерях для обеспечения безопасности работ и которые расценивались как сверхплановые потери при добыче.

В связи с вышеизложенным СФ ОАО ВНИМИ был проведен мониторинг состояния горных работ на участках отработки запасов пласта К4 системой КСО, включающий в себя обследование фактического состояния горных работ на выемочных столбах №5 и №5бис и проведение комплекса инструментальных, визуальных и хронометражных наблюдений. Результаты мониторинга позволили установить причины сверхплановых потерь в отработываемых выемочных столбах и необходимость в корректировке расчетных технологических параметров системы КСО.

В границах проектных участков пл.К4 залегал с относительно низкой крепостью угля ($f = 0,7-0,9$) с прочностью породных прослоев 12-22МПа. Непосредственная кровля пласта до 60% площади участка сложена средне- и крупнозернистыми песчаниками мощностью 2-11м, при больших мощностях они составляют

одновременно непосредственную и основную кровли. На 40% площади непосредственная кровля представлена алевролитами. Песчаники имеют прочность на сжатие 70-75МПа, породы его легко водонасыщаются из-за интенсивной трещиноватости ($R_0 = 3-6 \text{ тр/м}$). Алевролиты имеют прочность 45-55МПа, породы склонны к размоканию и набуханию, чему способствует наличие в их составе гидрослюдистого цемента.

Основная кровля состоит из средне- и крупнозернистых песчаников различной мощности, крепких ($\sigma_{сж} = 85-110 \text{ МПа}$), способных к зависанию на больших площадях и созданию больших нагрузок на крепь выработок и целики различного назначения.

Для условий залегания пласта К4 характерна интенсивная трещиноватость угля. В процессе отделения угля от массива он легко разрушается на обломки размерами от 1 до 5-10см, при этом разрушение его происходит по системам трещин кливажа. Так же в углепородном массиве характерно развитие 2-3 систем трещин, с наиболее распространенной системой продольных трещин сколового типа, совпадающих с простираем пород. С увеличением глубины залегания интенсивность их трещиноватости возрастает, однако изменения показателей физико-механических свойств пород при этом не выявлено.

Трещиноватость углевмещающих пород является одним из основных факторов, определяющих состояние массива. Преимущественное развитие имеют продольные, поперечные, послойные и реже диагональные трещины. Наиболее широко распространены системы продольных трещин. Простирание пород и рассматриваемых трещин практически совпадают, а падение продольных трещин как согласное, так и противоположное падению пород. Продольные трещины в основном сколового типа, интенсивность их развития 1-2 тр/м, а относительно залегания пород они являются нормально (преимущественно)- и кососекущими. Широко развиты поперечные нормальносекущие трещины с интенсивностью их проявления 3-4 тр/м. Ориентировка продольных и поперечных трещин изменяются с изменением элементов залегания пород. Диагональные и послойные трещины пользуются ограниченным распространением и в основном располагаются локально.

Большое влияние на устойчивость горных пород оказывает их способность к расслоению, в виде сдвигов и послойных подвижек по плоскостям наслоения. Кроме этого, поверхности ослабления в угле и породах обусловлены также тектоническими процессами, в результате которых образуются трещины, ориентированные по наслоению с притертыми стенками и зеркалами скольжения. На прочностные свойства пород оказывают влияние значительные по амплитуде ежегодные сезонные колебания, которые увеличивают их общую пористость в 1,5-1,8 раза и снижают прочность на 50-80%.

Таким образом, проведенной оценкой было установлено, что условия залегания пл.К4 на проектных участках отработки его запасов были сопряжены наличием достаточно большого количества негативных факторов, которые как в отдельности, так и в совокупности отрицательно влияли на безопасность ведения подготовительных и очистных работ при камерно-столбовой системы разработки.

Результатами обследования состояния подготовительно-очистных работ при отработке запасов пл.К4 на проектных участках было установлено, что выемочные камеры и междуканальные целики, в особенности расположенные на контакте с выработанным пространством находились в довольно напряженном состоянии, которое выражалось в отжиме угля с бортов, отслоении нижних слоев пород кровли, деформации крепи и приконтурного массива выработок. В подтверждение тому наличие случаев аварийных ситуаций в выемочных камерах и на их сопряжениях на обрабатываемых участках. Так в междуканальном столбе №6 выемочного столба №5бис произошло обрушение кровли с полным завалом очистного комбайна СМ-25М. В междуканальном целике №15 выемочного столба №5 также произошло обрушение кровли крупными блоками, которые обрушились на расположенный в заходке очистной комбайн СМ-25М. Такие случаи были не единичными при отработке указанных выемочных столбов. Простои, связанные с разборкой завалов и освобождением из них очистных комбайнов составили 11 рабочих дней, без учета их вынужденного ремонта.

Одной из причин такого состояния горных работ является несоответствие сроков между подготовкой выемочных столбов и началом ведения очистных работ. При длинных выемочных столбах (до 1,5-2км) подготовленные выемочные камеры находятся довольно продолжительное время под нагрузкой от налегающих пород в ожидании начала очистных работ, и их приконтурный массив успевает деформироваться. При ведении очистных работ, в условиях влияния опережающего опорного давления от выработанного пространства, выемочные камеры и междуканальные целики, находящиеся в достаточно напряженном состоянии, начинают преждевременно и значительно деформироваться, в особенности в период активизации проявлений горного давления, то есть в период первичной и периодических осадок кровли пласта. Положение ещё более усугубляется из-за наличия в кровле пласта К4 мощных слоев крепкого песчаника, для которых характерно внезапное крупноблочное обрушение. Так как наиболее активные проявления горного давления происходят в углепородном массиве, расположенном по границе с выработанным пространством, то на данных участках больше всего выемочные камеры, междуканальные и подзавальные целики подвержены преждевременным деформациям и разрушениям.

По данной причине, при отработке выемочных столбов №5 и №5бис, было вынуждено оставлено без погашения достаточно большое количество междуканальных целиков, в том числе за период апрель-октябрь 2010г – 17 междуканальных целиков. В целях избежания аварийных ситуаций и смертельных случаев, рабочие очистных забоев вынуждены были при первых признаках возможного обрушения кровли (характерное потрескивание угля и его высыпания с бортов, интенсивное отслаивание нижних породных слоев в кровле, появление струй воды в

кровле) останавливать работу в данном междукammerном целике, без возобновления в дальнейшем в нем работ и переходить к выемке очередного междукammerного целика.

На основании вышеизложенного, по возникшим обстоятельствам при ведении очистных работ на проектных участках, появилась необходимость в дополнительных потерях угля. Данные потери в этих случаях следует также, как и плановые, отнести к необходимым эксплуатационным потерям, для исключения возникновения аварийных ситуаций, то есть в целях обеспечения безопасности работ. При доработке запасов выемочных столбов №5 и №5бис также вынуждено появилась необходимость в оставлении дополнительных потерь угля по тем же причинам, что и на основной их площади отработки. В связи с этим данные запасы также расценивались как необходимые эксплуатационные потери, возникшие в результате осложнения горно-геологических условий, которые должны подлежать списанию.

Таким образом, при разработке проектов на отработку запасов выемочных полей (участков) камерно-столбовой системой разработки рекомендуется подсчет плановых эксплуатационных потерь производить с учётом ожидаемых дополнительных потерь, связанных с непрогнозируемым осложнением горно-геологических условий, которые устанавливаются на основе геомеханической оценки проектных запасов. Плановые эксплуатационные потери могут приниматься также с учетом принятия определенного коэффициента запаса на расчетные технологические параметры элементов камерно-столбовой системы, что практически будет равноценным объему дополнительных потерь, связанных с осложнениями в период ведения очистных работ. В любом случае сверхплановые потери следует относить к необходимым эксплуатационным потерям, для исключения аварийных ситуаций на действующих выемочных участках, то есть в целях обеспечения безопасности работ.

АННОТАЦИЯ

На основе результатов опытной эксплуатации высокопроизводительной технологической схемы камерно-столбовой системы разработки с применением комплекса горношахтного оборудования фирмы DBT при отработке запасов пласта К4 на шахте "Денисовская" ОАО "УК "Нерюнгриуголь" рекомендуется при разработке проектов на выемочные участки подсчет плановых эксплуатационных потерь производить с учётом ожидаемых дополнительных потерь, связанных с непрогнозируемыми осложнениями горно-геологических условий.

УДК 622.001.622.012.2

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ОТРАБОТКИ ЗАПАСОВ ПОЛОГИХ ПЛАСТОВ КАМЕРНО-СТОЛБОВОЙ СИСТЕМОЙ РАЗРАБОТКИ

Егоров А.П., заведующий лабораторией, СФ ОАО ВНИМИ, г.Прокпьевск

Наибольшее распространение камерно-столбовая система (КСО), рациональная область применения которой являются пласты с выдержанной мощностью, почти горизонтальным залеганием, относительно небольшой глубиной от поверхности, малой газо- и водообильностью и отсутствием существенных геологических нарушений в пределах шахтных полей, получила на шахтах США, Австралии и ЮАР. Однако из-за ограниченных запасов, залегающих в благоприятных условиях, все большее внимание уделяется разработке технологий и оборудования, которые позволяют достичь значительную производительность при разработке угольных пластов, залегающих в более сложных горно-геологических условиях.

Для эффективной отработки запланированных запасов системой КСО необходим подбор высокопроизводительного проходческого оборудования. Выемочный комбайн является основным звеном в технологической цепочке при выемке угля. При этом основными показателями комбайна являются возможный диапазон вынимаемой мощности обрабатываемого пласта и производительность его погрузчика. Наиболее высокими показателями с этой точки зрения обладают проходческие комбайны зарубежных фирм "JOY", "DBT" и др. Производительность проходческих комбайнов (серии "СМ" и "НМ") достигает до 34т/мин, а высота выемки до 6,0м. Транспортировка угля от комбайна до стационарного конвейера на штреке производится самоходными вагонами серии "BC", "SC" и "FBR" грузоподъемностью до 30т. Для крепления сопряжений выработок с камерами (заходками) используются секции самоходной механизированной крепи ("Флетчер", ABRIS и др.). В качестве бурильно-анкеро-важных средств можно использовать станки "Boart BM-12" и "Quardbolter", которые позволяют достичь скорости проведения выработки до 500м/сут при одновременном бурении шпуров и установки до 4х анкеро-в.

В соответствии с современными требованиями промышленной безопасности в технологических схемах необходимо предусматривать следующие мероприятия, обеспечивающие безопасность ведения горных работ:

надежное проветривание горных выработок: при проведении камер вентиляторами местного проветривания (ВМП), при выемке междукammerных целиков за счёт общешахтной депрессии или ВМП;

крепление кровли камер анкерной крепью, с использованием химических ампул для закрепления сталеполимерных анкеро-в в скважинах;

параметры целиков, обеспечивающих безопасное управление горным давлением;

обязательное обеспечение запасного выхода для рабочих.

Вариант высокопроизводительной технологической схемы КСО, разработанный специалистами фирмы "DBT", представлен на рис.1а, а вариант погашения в ней междуканнерных целиков. - на рис.1б.

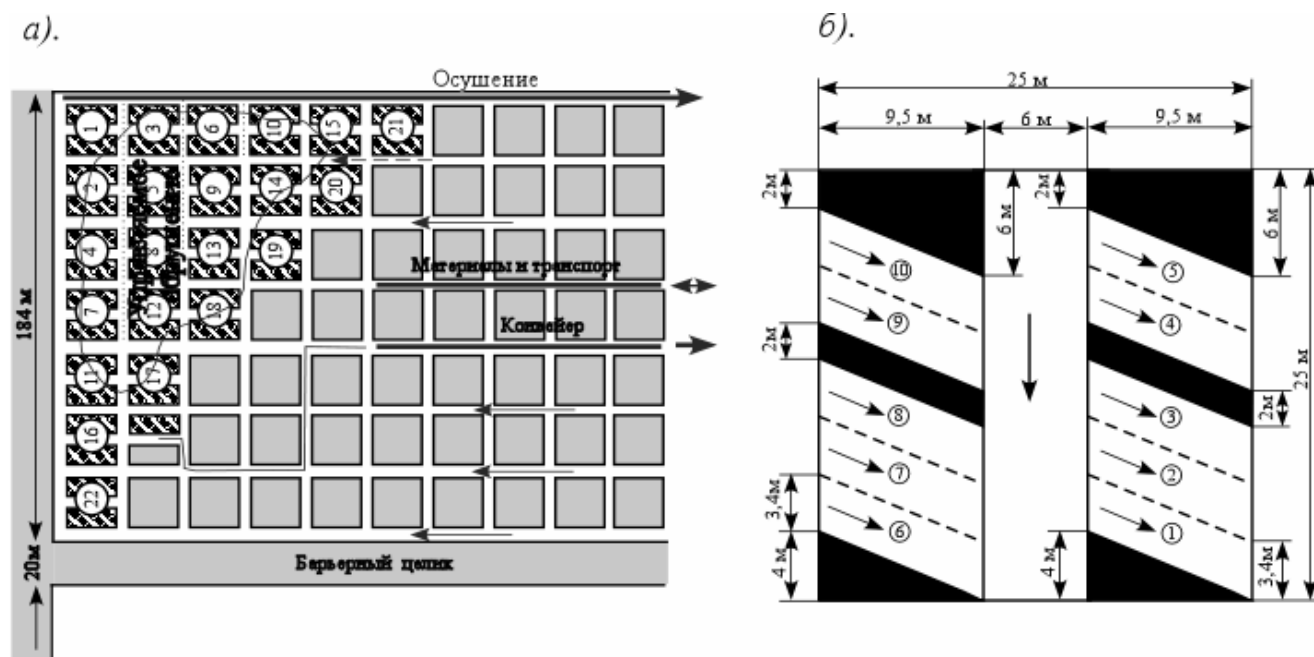


Рис.1.

Проектная технологическая схема является стандартной схемой непрерывной комбайновой выемки компании "JOY MINING MACHINERY" для камерно-столбовой добычи угля с одновременной выемкой запасов в пяти штреках, которая предполагает расположение основного конвейера и бункера перегружателя в центральном штреке. Стандартная последовательность операций выглядит следующим образом: комбайн производит выемку на расстоянии до 12м от последнего ряда анкерной крепи (или на другое заданное расстояние). Затем перемещается в соседний штрек, для проведения нового цикла выемки. Передвижная машина для установки анкерной крепи заезжает в штрек, где только что был завершен цикл выемки, и устанавливает крепление по всей его длине. Таким образом, комбайн и машина по установке анкерной крепи работают независимо и обеспечивают максимальную гибкость при операциях по выемке угля и установке анкерной крепи. Оператор управляет машиной дистанционно при помощи ручного пульта управления, что позволяет ему постоянно находиться в безопасном месте позади машины под укрепленной кровлей. Последовательность выемки при данной технологии необходимо спланировать таким образом, чтобы свести к минимуму время на перемену мест и расстояния, на которые перемещается самоходная вагонетка, укладку кабеля и изменение маршрута вентиляции.

В данной технологической схеме КСО выемочные столбы разделяются на отдельные блоки (участки) определенной протяженностью по простиранию и по восставанию, которые по мере отработки изолируются от выработанного пространства. Рациональными являются следующие параметры выемочных блоков:

- размеры междуканнерных целиков – 25х25м;
- ширина выемочной камеры – 6,0м;
- длина вынимаемых косых заходок – около 10м;
- ширина косых заходок – 3,4м;
- ширина погашаемого междуканнерного целика – 9,5м;
- ширина промежуточного подзавального целика ромбической формы – 2,0м;
- ширина трапецидальной формы верхнего подзавального целика – 2,0 и 6,0м.

Для обеспечения надёжного поддержания выемочных камер следует определять параметры устойчивого пролёта их кровли. Для этого необходимо руководствоваться положениями нормативных документов «Методического руководства...» [1] и «Руководства...» [2]. При устойчивом пролёте кровли 10м обеспечивается безопасная выемка косых заходок проходческим комбайном и расположение машиниста комбайна в закреплённой зоне. При проведении выемочной камеры необходимое допустимое обнажение кровли, то есть незакреплённая часть камеры, не должна превышать 15м. При данном параметре обеспечиваются безопасные условия для рабочего персонала, так как оператор проходческого комбайна с пультом управления будет находиться в безопасном месте, а машинист самоходного вагона – в закреплённой зоне и дополнительно под специальным защитным козырьком.

При системе КСО, в случае отработки запасов выемочного блока (погашения целиков) в направлении от главных вскрывающих выработок к границам выемочного участка, потребуется поддержание у барьерных целиков

крайних выемочных камер до конца отработки выемочного блока (или проведение дополнительных выработок), что в свою очередь потребует оставления охранных целиков. Это приведёт к дополнительным потерям запасов и значительно снизит коэффициент извлечения угля.

Поэтому подготовку выемочных блоков (нарезка столбчатых целиков) следует производить в направлении от главных вскрывающих выработок к границе выемочного участка пласта. В противном случае потребуются проведение фланговой выработки (уклона, бремсберга, ствола).

Таким образом, подготовку выемочных блоков следует производить от главных вскрывающих выработок к границам выемочного участка, а погашение междукamerных целиков, наоборот, от границ выемочного участка к главным вскрывающим выработкам.

Скорость продвижения подготовительных и очистных работ зависит от скорости выбранных параметров оформления выемочных камер и погашения междукamerных целиков. В связи с этим выемочный блок должен быть раскроен таким образом, чтобы обеспечить максимальную выемку. Для этого выемочный блок должен быть спланирован с достаточным количеством штреков, чтобы предотвратить задержки, вызванное ожиданием вспомогательного оборудования и чтобы свести к минимуму задержки, вызванные передвиганием выбранного горно-шахтного оборудования. Принятые параметры ширины выемочных блоков и количество выемочных камер в блоке должны позволять оптимальное извлечение запасов угля из пластов системой КСО с применением горно-шахтного оборудования фирмы DBT. Два комплекта оборудования могут позволить обеспечить проектную мощность шахты по добыче угля.

Задачей при выемке междукamerных целиков является извлечение максимального их количества управляемым способом, то есть с учётом минимального риска преждевременного обрушения кровли, выбросов газа или самовозгорания угля. Для успешного извлечения целиков отработанное пространство должно быть обрушено надёжно. Зависшая кровля может оказать высокое напряжение на смежные целики и привести к их преждевременному разрушению.

Общая система извлечения целиков заключается в быстрой выемке угля, поскольку разрушение целика, до некоторой степени, связано со временем. Большие целики обычно будут в процессе выемки последовательно разделены поперек. Меньшие целики, таким образом созданные, будут отрабатываться быстро. Начальное разделение целиков потребует установки анкеров, но при заключительных операциях крепить не надо.

С учётом использования высокопроизводительного оборудования, процесс анкерования обычно является самой медленной частью полного операционного цикла. В связи с этим, для устранения задержки при ожидании завершения процесса анкерования, проходческий комбайн перемещается в другую выемочную камеру, которая должна быть расположена как можно ближе к первой.

Интенсивное опускание и расслоение пород кровли при погашении междукamerных целиков начинается уже в процессе проведения выемочных камер. Во всех случаях при опускании кровли происходит разрушение боков камер. Увеличение их ширины тем интенсивнее, чем меньше междукamerный целик. Таким образом, к началу очистных работ в камере наблюдается значительное опускание и расслоение пород кровли, за счёт влияния отработки предыдущей камеры. Особенно в напряжённом состоянии оказываются камеры, проведенные на границе шага посадки основной кровли.

Установлено, что обрушение пород кровли камер обычно происходит свободно, почти по всей площади отработки без значительных зависаний. Преждевременное обрушение пород непосредственной кровли с анкерной крепью в камерах вызывается недостаточной несущей способностью междукamerных целиков.

При правильно выбранных параметрах крепи и очистной выемки обрушение кровли происходит после удаления фронта очистных работ не менее, чем на 25-30м, то есть после отработки 1-2х смежных камер. Затем постепенно обрушаются слои непосредственной кровли, располагаемые под слоями, закрепленные анкерной крепью. Опускание основной кровли происходит плавно за счёт постепенного разрушения междукamerных целиков (подзавальных целиков). Они наблюдаются после удаления очистных работ в пределах 50-60м. Начало сдвижения поверхности происходит после отработки площади, равной 35-40 тыс.м².

Максимальная величина абсолютного опускания кровли и скорость их перед обрушением зависят только от технологии ведения горных работ, а не от критерия состояния пород, так как их значения колеблются в больших пределах и зависят от времени отработки камеры, её ширины и опускания междукamerного целика.

Величинами, которые могут характеризовать критическое состояние пород кровли в горных выработках, являются углы прогиба кровли α и β . В камерах эти углы с вершиной у массива угля и междукamerного целика, образуются слоями пород перед обрушением с горизонтальной плоскостью. Однако, угол α с вершиной у междукamerного целика не может являться определяющим. Значения угла β с вершиной у массива угля довольно устойчивы. По величине критического угла β в разных условиях можно определить критическое опускание кровли при различной ширине камер. Контроль величины опускания кровли должен вестись методом заложения глубинных реперов, которые наиболее целесообразно устанавливать посередине камеры.

Таким образом, для эффективной отработки запасов угля системой КСО в настоящее время имеется горнопроходческое оборудование высокой надёжности и энерговооруженности: проходческие машины как с барабанным, так и избирательного действия, самоходные вагоны с большой грузоподъемностью, изгибающиеся скребковые конвейеры и бурильные машины с анкероустановщиками различных известных фирм. В связи с этим, по высокопроизводительной технологической схеме КСО с подготовкой выемочных столбов и

блоков и погашением междокамерных целиков (см. рис.1) с применением горно-шахтного оборудования фирмы DBT проектируются к отработке запасы пластов Д19, Д15 и Д11 на шахте «Чульмаканская» ООО «ЭРЧИМ-ТХАН», с применением горно-шахтного оборудования фирмы "Джой" планируется отработка запасов пластов "Верхний" и "Первый+Второй" на шахте "Джебарики-Хая" ОАО ХК "Якутуголь" и проведена в 2010г опытная эксплуатация системы КСО с применением оборудования фирмы «ДВТ» при отработке пласта К4 на шахте «Денисовская» ОАО УК «Нерюнгриуголь». В разработке проектов на системы КСО для данных шахт принимали участие "Гипроуголь", "Гипрошахт", "Сибгипрошахт", "ДАЛЬНИИПРОЕКТ", СФ ОАО ВНИМИ и специалисты Московского представительства фирмы "ДВТ".

На шахтах Кузбасса имеются достаточно большие запасы угля приемлемые для системы КСО в том числе, законсервированные в целиках различного назначения и брошенные, в связи с неудобством и невозможностью отработки их механизированными комплексами. Рекомендуется данные запасы привлечь для отработки системой КСО.

ЛИТЕРАТУРА

Методическое руководство по выбору геомеханических параметров технологии разработки угольных пластов короткими забоями. – СПб, 2003.-53с.

Руководство по оценке устойчивости обнажений кровли в горных выработках шахт Ленинского угольного района Кузбасса. – Ленинск-Кузнецкий, 2005.-35с.

АННОТАЦИЯ

Рассмотрена возможность и целесообразность высокопроизводительной отработки запасов пологих пластов камерно-столбовой системой разработки (КСО). Предлагается технологическая схема, необходимый комплекс оборудования, варианты схем погашения междокамерных целиков и рекомендации по безопасному ведению очистных работ.

УДК: 622.32:548.562.

РЕГИОНАЛЬНЫЙ И ЛОКАЛЬНЫЙ ПРОГНОЗ СТЕПЕНИ УДАРООПАСНОСТИ МАССИВОВ РУДЫ И ПОРОД ТАШТАГОЛЬСКОГО РУДНИКА ЭЛЕКТРОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

*Зюзин Е.А. к.т.н., доцент кафедры теоретической и геотехнической механики КузГТУ,
г.Кемерово*

*Иванов В.В. д.т.н., профессор кафедры теоретической и геотехнической механики
КузГТУ, г.Кемерово*

Аннотация: Предложено совершенствование метода регионального и локального прогноза горных ударов на рудоносном месторождении на основе электрометрических наблюдений.

Ключевые слова: горный удар, электрометрический мониторинг, породный массив, региональный и локальный прогноз.

Annotation: A method perfection of regional and local forecast of rock strikes on ore-bearing deposit was suggested on basis of electrometric monitoring.

Key words: rock strikes, electrometric monitoring, ore-bearing deposit, regional and local forecast.

В настоящее время всеобщее мировое признание получила кинетическая концепция прочности материалов академика С.Н. Журкова [1-3]. Преимущество данной теории состоит в том, что в ней связаны между собой время до полного разрушения материала, его температура, действующая нагрузка (напряжения) и кинетические параметры разрушения – активационный объем и энергия активации разрушения. Благодаря этому подходу к прогнозу разрушения мы можем непосредственно прогнозировать время до разрушения, т.е. дату сейсмического события определенной энергии.

Этот подход оказывается весьма плодотворным и при использовании электрометрического метода прогноза горных ударов на шахтах и рудниках, т.к. позволяет предсказать вероятность горного удара на каждой стадии процесса подготовки горного удара.

Суть кинетического подхода к прогнозу горных ударов состоит в следующем.

Процесс подготовки горных ударов и землетрясений протекает подобным образом на разных масштабных уровнях разрушения. Накопление трещин i -го ранга подготавливает новое – более редкое событие $i+1$ ранга, причем более крупное событие, согласно экспериментальных данных, по выделяющейся сейсмической энергии отличается примерно на четыре порядка от энергии события предыдущего ранга. Если считать, согласно С.Н. Журкову, что первый уровень разрушения соответствует трещинам размерами примерно 10-7 м (размер

взрывообразно распадающихся дилатонов), то иерархию структур в массиве горных пород можно представить так, как это показано в табл. 1.

Из данной таблицы видно, что для прогноза горного удара с энергией 105 Дж необходимо наблюдать за накоплением событий с энергией примерно 10 Дж.

Таблица 1

Иерархия структур в массиве горных пород

Сейсмическая энергия, выделяющаяся при образовании трещин, W (Дж)	Размер образующейся трещины или разрыва, d (м)
10^{-3}	0,04
10	0,86
10^5	18,5
10^9	398,0

Непосредственный переход разрушения на следующий масштабный уровень разрушения (т.е. собственно горный удар) лимитируется так называемый концентрационным критерием разрушения:

$$C^{*-1/3} / d = 2.72, \quad (1)$$

где C^* - предельная концентрация трещин i – го уровня разрушения; d – линейный размер трещин i – го ранга.

Этот критерий разрушения был проверен на разных иерархических уровнях, начиная с микротрещин и заканчивая крупными землетрясениями. Ему может быть придан другой вид:

$$h^* = 2.72 d, \quad (2)$$

где h^* - критическое расстояние между трещинами, d – линейный размер трещин.

Связь энергии горного удара W (в джоулях) с размерами образующегося разрыва d (в метрах) может быть определен из эмпирической формулы К. Касахары:

$$d = 0.39 W^{1/3}. \quad (3)$$

Для удобства выбора базы электрометрических измерений далее в табл. 2 приведены энергия горного удара и соответствующий размер образующегося очага разрушения.

Таблица 2

Размер очага горного удара, d (м)	Выделяющаяся сейсмическая энергия, W (Дж)
18,4	10^5
39,8	10^6
85,3	10^7
183,6	10^8
397,8	10^9

Удельное электрическое сопротивление горной породы с дискообразными трещинами может быть вычислено по формуле [4-5]:

$$\rho = 2 \rho_2 (3 + \alpha \times 10^4) / (6 + \alpha \times 10^4), \quad (4)$$

где $\alpha = \delta / h$; δ – раскрытие трещин; h – расстояние между трещинами.

Как показывают статистические исследования размеров трещин и их раскрытия, это отношение не является произвольным, а имеет среднестатистическое значение $3,6 \times 10^{-4}$, поэтому критическое значение h^* , которое равно $2,72d$ позволяет найти критическое число α^* непосредственно перед горным ударом, оно равно $1,32 \times 10^{-4}$.

Таким образом, предельное (критическое) значение удельного электросопротивления участка массива, где готовится горный удар независимо от энергии будущего горного удара, примерно равно:

$$\rho^* = 1,18 \rho_2, \quad (5)$$

где ρ_2 – удельное электросопротивление исходного ненарушенного массива.

Следовательно, вероятность горного удара на каждом этапе подготовки удара может быть определена следующим образом:

$$P = [(\rho / \rho_{исх}) - 1] \times 100/18, \quad (6)$$

где ρ – удельное электросопротивление участка массива на промежуточном этапе подготовки горного удара; $\rho_{исх}$ – исходное удельное электросопротивление участка массива в ненарушенном состоянии.

При приближении вероятности P к единице горный удар прогнозируемой силы произойдет в очень короткий промежуток времени (в пределах нескольких минут).

Обобщая вышесказанное, можно утверждать, что электрометрический прогноз горного удара заданной сейсмической энергии состоит в выборе базы четырехэлектродной измерительной установки AB таким образом, чтобы она превышала размер зоны будущего разрушения в соответствии с таблицей 2. Например, для прогноза горного удара с энергией 10^5 Дж база AB электрометрической установки должна превышать 36 метров. Установленные при первичных измерениях электроды должны при последующих измерениях устанавливаться в тех же точках, что и при первичных измерениях. В дальнейшем ведется мониторинг процесса накопления трещин на этом участке и оценка вероятности горного удара данной силы.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Журков, С.Н. Концентрационный критерий объемного разрушения твердых тел [Текст] / С.Н. Журков, В.С. Куксенко, В.А. Петров // В кн.: "Физические процессы в очагах землетрясений". - М.: Наука, 1980. - С.43-46.
2. Журков, С.Н. Физические основы прогнозирования механического разрушения [Текст] / С.Н.Журков, В.С. Куксенко, В.А. Петров // ДАН СССР.- 1981.-т.259.-№6.-С.1350-1353.
3. Журков, С.Н. Кинетическая концепция прочности твердых тел [Текст] / С.Н.Журков // Вестник АН СССР. - 1968, №3.- С. 46-32.
4. Тарасов, Б.Г.Закономерность изменения потенциала естественного электрического поля горных пород / Б.Г.Тарасов, В.В.Дырдин, В.В.Иванов, П.В.Егоров, В.М. Колмагоров // Научные открытия(Сборник кратких описаний за 1997 г.).– М., 1998.–с.26-28.
5. Иванов, В.В.Оценка дополнительных напряжений блоков земной коры, обусловленных ее современными движениями / В.В.Иванов, Н.Ф. Сурунов, Р.В. Бузук // Вестник КузГТУ.-2006.-№3.-с. 11-12.

УДК 622.673.2

НОВЫЕ КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ УЗЛОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ КОПРА МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

**Е.Г.Кассихина, доцент кафедры «Строительство подземных сооружений и шахт»,
КузГТУ, г. Кемерово**
**В.В.Першин, профессор, зав. кафедрой «Строительство подземных сооружений
и шахт», КузГТУ, г. Кемерово**
Н.О. Бутрим, ведущий специалист ООО «УК Мечел-Майнинг», г. Москва

Введение

Анализ календарных графиков выполнения работ показывает, что не менее 1/3 времени от общей продолжительности строительства ствола занимает его оснащение основным из-за перерывов в работе, связанных с монтажом - демонтажом проходческого копра, монтажом постоянного копра и забойного оборудования.

Требуется конструкция копра, которая одинаково эффективно может применяться как для проходки, так и для эксплуатации. В связи с этим, на кафедре «Строительство подземных сооружений и шахт» КузГТУ разработан стальной копер многофункционального назначения [1] отличительной особенностью которого является соединение в одной наземной конструкции постоянного набора элементов, применяющихся на протяжении всего периода строительства и эксплуатации ствола и сменных блоков, необходимых для обеспечения работы копра на период проходки.

В связи с этим, на кафедре «Строительство подземных сооружений и шахт» КузГТУ разработан стальной копер многофункционального назначения [1] отличительной особенностью которого является соединение в одной наземной конструкции постоянного набора элементов, применяющихся на протяжении всего периода строительства и эксплуатации ствола и сменных блоков, необходимых для обеспечения работы копра на период проходки.

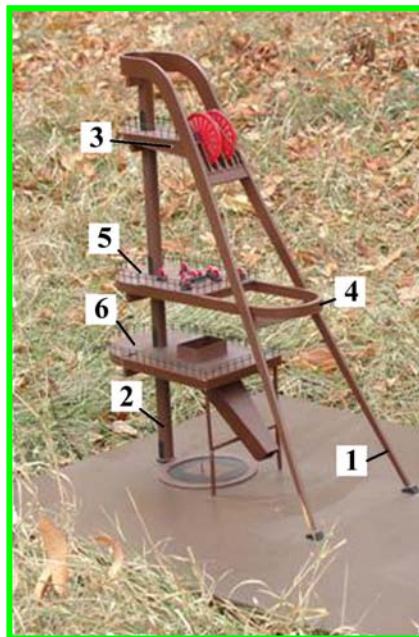


Рис. 1. Копер многофункционального назначения.
Модель на период проходки протяженной части ствола

Предложенная конструкция не является конкретной и законченной. Её топология и расположение конструктивных элементов зависят от расположения усилий и специфики условий эксплуатации.

Т. е. конструкция каждый раз проектируется индивидуально для конкретного расположения нагрузок.

Идея заключается в разработке, хотя и индивидуальной конструкции копра, но на основе унифицированной элементной базы. Этой базой является прокатный лист (из которого свариваются коробчатые конструкции переменного сечения) и трубы.

В представленных вашему вниманию рамных конструкциях переменного сечения концентрация материала распределяется в соответствии с распределением внутренних усилий (эпюра материала следует за эпюрой моментов), следовательно копер экономичен с точки зрения металлоемкости.

Таким образом, мы имеем дело с концепцией гибкого проектирования, когда конструкция легко изменяется и подстраивается под нужную схему технологии с учетом конкретной расчетной ситуации [2].

Однако при проектировании узловых примыканий возникают затруднения, не вписывающиеся в единый подход к созданию конструкции.

Представленная конструкция имеет несколько типов узлов:

жесткие

податливые

узлы сопряжения конструктивных элементов, которые ослаблены существующими технологическими проемами.

К жестким узлам относятся узлы рамной укосины 1 (рис. 2) и узлы подшивных площадок.

Сложное напряженно- деформированное состояние этих узлов , работающих как на поперечный изгиб и кручение с изгибом, так и на кручение с растяжением (сжатием), диктует проектирование переусложненных конструктивов с массой опорных ребер. При этом зачастую нет полной уверенности в обеспеченности заявленной жесткости.

Податливые узлы необходимы в местах опирания кольцевой распорки 4 на укосину 1 (см. рис. 1), или опирания укосины 1 на трубчатую стойку 2.

Надшахтные копры подвергаются действию различного типа динамических нагрузок (динамические нагрузки от оборудования, сейсмические нагрузки, пульсация ветра). Кольцевая распорка 4 должна иметь возможность деформироваться и, как крайний случай – разрушиться, что позволяет поглотить энергию диссипации во время аварии и сохранить основные несущие конструкции.

Узлы сопряжения конструктивных элементов, которые ослаблены проемами (рис. 3), например, сопряжение центральной трубчатой стойки с фундаментом.

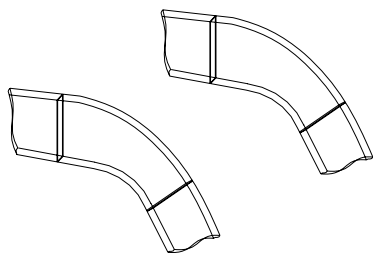


Рис. 2. Жесткие узлы рамной укосины

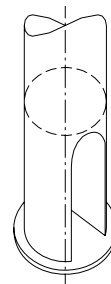


Рис. 3. Узел сопряжения центральной трубчатой стойки с фундаментом

Этот узел весьма сложен и трудоемок в исполнении, а также в обеспечении полноценной работы ослабленного проемом сечения. С точки зрения удобства монтажа – лучше, чтобы он был шарнирным – проще монтировать с соблюдением монтажных допусков. А с точки зрения обеспечения прочности, напротив, ослабленное сечение необходимо усилить диафрагмами и ребрами.

Все конструктивные элементы копра имеют диафрагмы, фланцы либо ребра, между которыми образуются изолированные полости. Если заполнить эти полости бетоном (рис. 4), то изгибная жесткость заполненных сечений увеличится. Элементы конструкции не заполняются бетоном по всей длине, а в узлах сопряжения имеют бетонные пробки. Таким образом, изменится поперечная жесткость сечений в местах, сопряжений с другими элементами.

Такие узлы, как база центрально-сжатой трубчатой стойки (рис. 5), значительно упрощаются при заполнении бетоном, так как не имеют традиционных вертикальных ребер, воспринимающих сосредоточенные вертикальные давления - эти давления воспринимаются бетоном, заполняющим полость трубы.

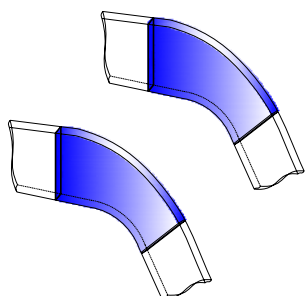


Рис. 4. Узел укосины с бетонной жесткой

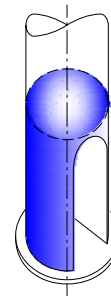


Рис. 5. Узел центральной трубчатой стойки с бетонной жесткой вставкой

Заполнение стальной трубы бетоном повышает ее противокоррозионную стойкость, защищая от коррозии ее внутреннюю поверхность, уменьшает гибкость элементов, увеличивает местную устойчивость стенок трубы, повышает сопротивление оболочки деформированию в узлах сопряжения и при ударных воздействиях во время транспортирования и монтажа.

Изоляция бетона от окружающей среды создает лучшие условия для работы бетона под нагрузкой. В неизолированном бетоне развитие микротрещин постоянно прогрессирует, у изолированного бетона при том же напряжении оно полностью прекращается в течение двух-трех дней. Т. е. это соседство благоприятно для каждого из материалов.

Технология заполнения бетоном отработана и доведена до практического использования.[3]. А вот конструирование узлов трубобетонных конструкций делает свои первые шаги. [4].

Заполнение изолированных полостей стальных труб бетонным раствором может осуществляться двумя способами:

- при помощи передвижных установок – заполнение раствором нужных полостей непосредственно на месте, когда конструкция уже установлена в проектное положение (рис. 6). Для этого устанавливаются две воронки. Через нижнюю воронку нагнетается раствор (бетон при таком способе не расслаивается), а верхняя позволяет контролировать полноту заполнения. После заполнения полости узла воронки срезаются, а отверстия завариваются.

- с использованием стационарной установки - заполнение раствором отдельного блока узла на земле на сборочном стенде. Этот блок (рис.7), состоящий из оболочки, диафрагм, фланцев и бетонного ядра может быть отдельно забетонирован и провибрирован. При сборке он включается в состав конструкции как готовая деталь (в данном случае как деталь центральной стальной стойки). После чего собранная конструкция устанавливается в проектное положение

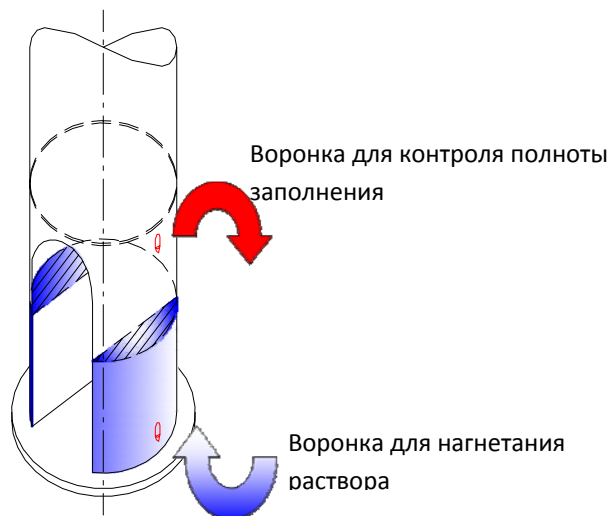


Рис. 6. Схема заполнения опорного узла бетоном

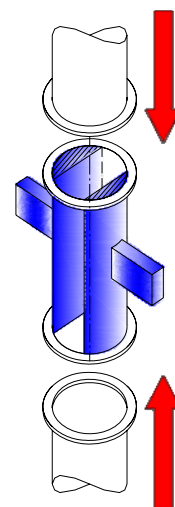


Рис. 7. Сборка конструкции на сборочном стенде

Предложенные конструктивные решения узлов позволяют создавать и применять конструкции с учетом индивидуальных особенностей каждого проекта без особых затрат, что вписывается в концепцию гибкого проектирования копра многофункционального назначения.

Вывод

Применение трубобетонных узлов:

не усложняет конструкции по сравнению с традиционной схемой;

способствует гибкому изменению расчетной схемы в соответствии с изменившейся расчетной ситуацией.

Так, узлы конструкции для удобства монтажа можно запроектировать податливыми, а на период эксплуатации заполнить их бетоном и уже рассматривать как жесткие;

позволяет в 1,2-1,5 раза снизить расход металла и трудоемкость изготовления конструкций.

Литература:

Пат. № RU 2120013 C1. Стальной копер многофункционального назначения для строительства, эксплуатации и углубки вертикальных стволов /, Е. Г. Кассихина, В. В. Першин.

Першин В. В., Кассихина Е. Г. Новая концепция проектирования многофункциональных стальных укосных копров// Уголь, 2001. - №2. -С. 11-14

1. Стороженко Л. И., Ефименко В. И., Плахотный П. И. Изгибаемые трубобетонные конструкции. – К. : Будівельник, 1999. – 104 с.
2. Kuranovas A., Good D., Kvedaras A., Zhong S. Load-bearing capacity of concrete-filled steel columns // Journal of civil engineering and management. 2009. Vol. 15, No. 1. P. 21–33.

Аннотация

В статье предложены конструктивные решения трубобетонных узлов копра многофункционального назначения, что позволяет создавать и применять конструкции с учетом индивидуальных особенностей каждого проекта без особых затрат.

The article offered constructive solutions of concrete-filled steel units headgear copra multi-functional units, which allows to create and apply the design to suit the individual characteristics of each project without special expenditure.

ПРОДЛЕНИЕ СРОКА ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРОХОДЧЕСКОГО КОМБАЙНА ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ГОРНО ГЕОЛОГИЧЕСКИМ УСЛОВИЯМ КУЗБАССА

К. Е. Куцый, аспирант, КузГТУ, г. Кемерово

Проведены исследования комбайна 1ГПКС с целью определения критериев списания и ресурса.

Researches are conducted is a combine 1ГПКС for the purpose of definition of criteria of write-off and a resource.

В настоящее время ведутся широкие исследования в области расчета долговечности металлоконструкций, оценки остаточного ресурса и списания горных машин [1, 2]. Несмотря на это методики для многих горных машин при наличии трещин отсутствует. В настоящее время момент их списания определяется на интуитивном уровне работниками отдела главного механика предприятия. Одной из таких машин является стреловидный горнопроходческий комбайн.

Для механизации проведения горных выработок наиболее прогрессивным является комбайновый способ. При этом способе широко зарекомендовали себя проходческие комбайны, наиболее типичным из которых является стреловидный комбайн типа 1ГПКС (рис. 1). Горнопроходческие комбайны указанного типа предназначены для механизации процессов разрушения и погрузки горной массы в выработках любой формы, кроме круглой, сечением от 7 до 17 м² ($\sigma_{сж} < 70$ МПа).

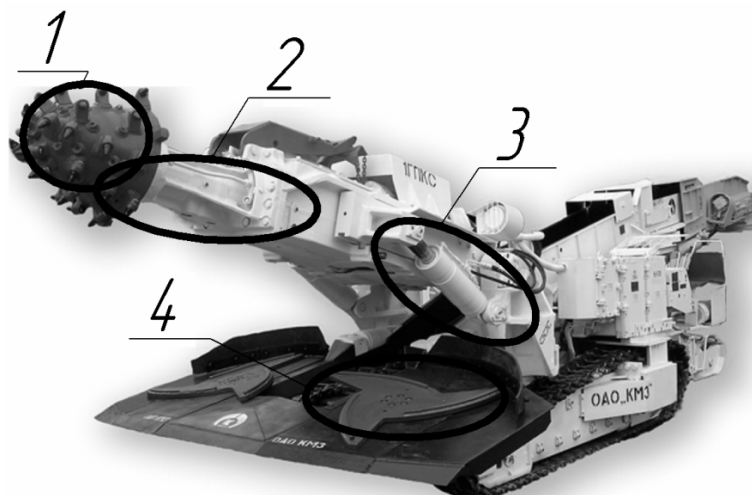


Рис. 1. Отказы металлоконструкций 1ГПКС

В процессе эксплуатации в металлоконструкциях комбайна имеют место отказы. Наиболее вероятно наличие отказов указанных зонах (см. рис. 1):

1. резцы - основной разрушаемый элемент проходческого комбайна разрушаются при взаимодействии резцов с забоем;
2. кулачки крепления резцов, подшипники, муфта, уплотнения на выходном валу – воспринимают нагрузку от резцов;
3. поворотные гидроцилиндры (разгерметизация цилиндра и разрушение его штока) – разрушаются ввиду больших боковых нагрузок стрелы во время работы проходческого комбайна в забое;
4. коническая планетарная зубчатая передача механизма питателя, подшипники и уплотнения передачи (крошение, подрез зуба) – разрушаются вследствие возникновения разрушающего момента при контакте лапы с погружаемой породой.

Основной причиной образования трещин в металлоконструкциях комбайна являются большие динамические нагрузки, возникающие на рабочих органах в процессе его взаимодействия с горными породами. Величина и направление нагрузок во многом зависят от порядка обработки забоя (рис. 2, а), прочности и грансостава пород и могут быть представлены в виде векторной диаграммы (рис. 2, б)[3].

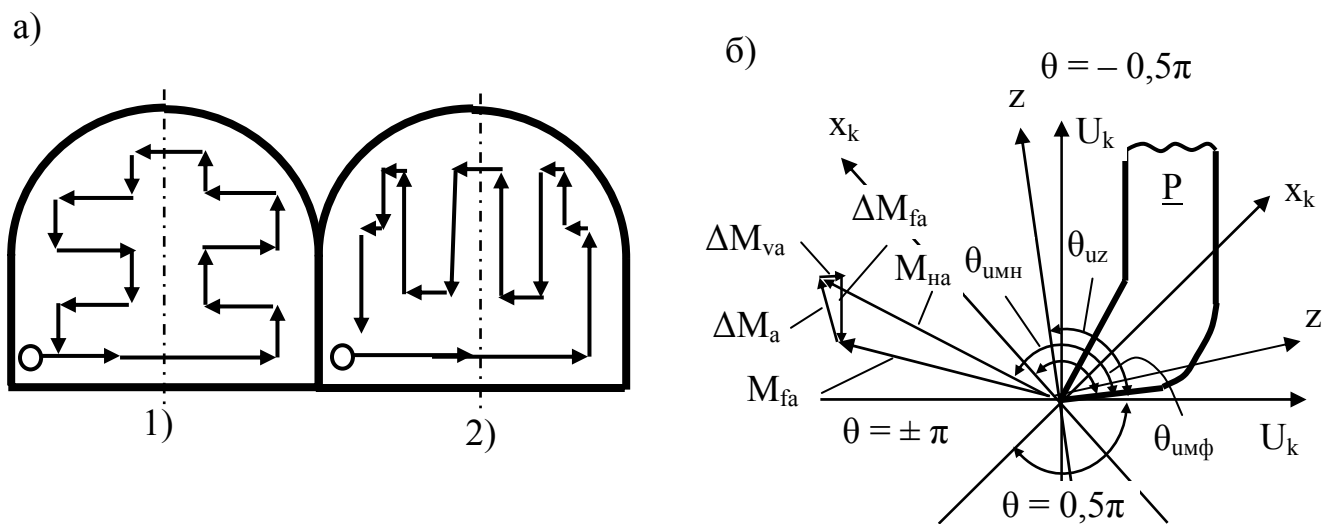


Рис. 2. Варианты обработки проходческим комбайном сплошного забоя (а) и векторная картина процессов на исполнительном органе: P – резец

В соответствии с существующими методиками расчета оценка циклической прочности производится по рабочим нагрузкам, напряжения при которых не превышает предел выносливости. В соответствии с этим в металлоконструкциях проходческих комбайнов не должно образовываться трещин. Однако при эксплуатации комбайна с постоянной периодичностью возникают аварийные стопорные нагрузки, которые учитываются только при расчете на динамическую прочность. Эти нагрузки при длительной эксплуатации комбайна инициируют образование трещин.

Проведенные экспериментальные исследования показали, что напряжения в металлоконструкциях проходческого комбайна обобщенно выглядят в соответствии с зависимостью, приведённой на рис. 3, на примере поворотного гидроцилиндра.

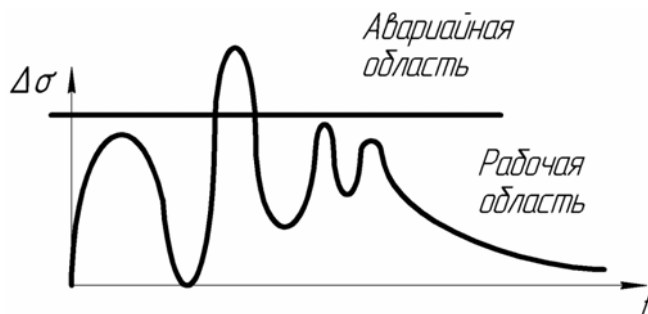


Рис. 3. Циклограмма нагружения поворотного гидроцилиндра в процессе взаимодействия с забоем стрелы при боковом движении

Аварийная зона (аварийные нагрузки) - зона многоциклового и малоциклового усталости, в ней происходит инициация трещины. В рабочей зоне при рабочих нагрузках происходит стабильный рост трещины.

Проведенные исследования показали, что график зависимости скорости роста трещины от длины и числа циклов нагружения (рис. 4) позволяет выделять уровни повреждения металла проходческого комбайна.

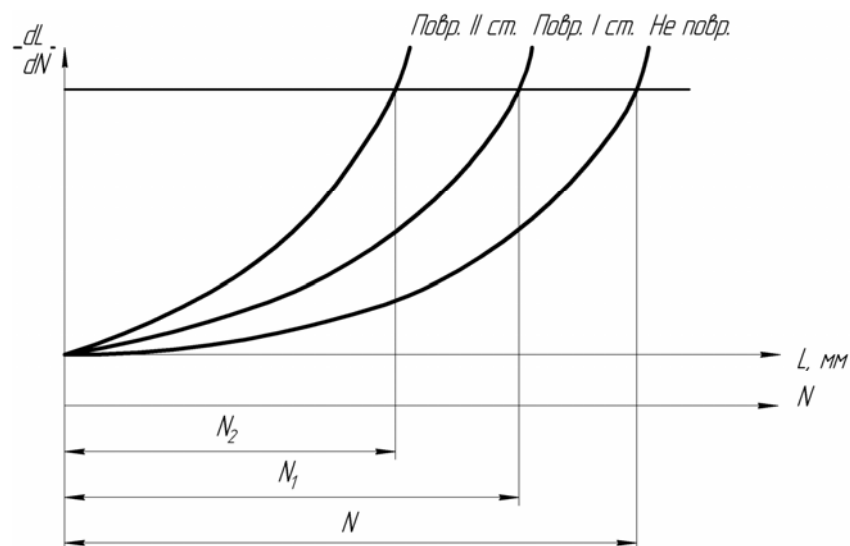


Рис. 4. График зависимости скорости развития трещины от числа циклов и длины трещины
Неповрежденные металлоконструкции – заводские и монтажные повреждения;
повреждения I степени – микро -, макро повреждения;
повреждения II степени – микро -, макро -, магистральная трещины.

Под заводскими и монтажными повреждениями подразумевают: заусенцы, поверхностные дефекты, наружные трещины, продольные риски, волосовины, флокены.

Усилия в соответствии с циклограммой (см. рис. 3) их уровень и частота определяются по зависимости рис. 4.

Расчет составной части долговечности комбайна – его живучести, т.е. времени роста трещины в исследуемой зоне от начального размера до критического был проведен по формуле Пэриса с помощью кусочно-блочной аппроксимации нагрузок:

$$N = \frac{2}{(n-2) \cdot C \cdot M^n \cdot \Delta \sigma^n \pi^{n/2}} \cdot \left[\frac{1}{l_o^{(n-2)/2}} - \frac{1}{l_c^{(n-2)/2}} \right], \quad (1)$$

где C и n – параметры циклической трещиностойкости; M – коэффициент формы трещины, объекта и нагружения;

$\Delta \sigma$ – размах номинальных напряжений;

l_o, l_c – начальная и конечная длина трещины.

Проведенный расчет опасных элементов металлоконструкции комбайна в зависимости от вариантов обработки забоя и прочности разрабатываемых пород показал, что длительность роста трещин может варьироваться от $2 \cdot 10^4$ до $4 \cdot 10^6$ циклов.

Выполненные расчеты нагруженности проходческих комбайнов в соответствии с условиями эксплуатации позволяют выбирать наиболее рациональный вариант обработки забоя с точки зрения повышения долговечности комбайна, продлевать межремонтные сроки, предотвращать неожиданное разрушение, обоснованно продлевать ресурс.

Условие исчерпания ресурса работоспособного состояния объекта имеет вид [4]:

$$v_{\text{ср}} \leq \frac{l_c}{n_{\text{ж}}}, \quad (2)$$

где, $v_{\text{ср}}$ – критическая средняя скорость роста трещины, т.е. скорость, приводящая к разрушению металлоконструкции за срок равный или меньший, чем межремонтный;

$n_{\text{ж}}$ – коэффициент запаса по живучести (для металла $n_{\text{ж}} = 5$).

Проведенные исследования позволили обоснованно определять остаточный ресурс и продлевать срок эксплуатации горно проходческого комбайна.

Список источников

1. Паначев И.А. Обоснование критериев списания экскаваторов. / И.А. Паначев, М.Ю. Насонов, К.В. Антонов // Вестник КузГТУ № 3, 2004 г., С. 59-62.
2. Паначев И.А. Оценка остаточного ресурса горнотранспортных машин, отработавших нормативный срок эксплуатации. / Паначев И.А., Насонов М.Ю., Моисеенко В.Д., Артамонов П.В. // Материалы VI

Международной научно-практической конференции. Кемерово, ГУ КузГТУ 15-16 ноября 2005 г. "Безопасность жизнедеятельности предприятий в угольных регионах" С. 120-123. Кемерово, 2005. – 468 с.

3. Горбатов П.А. Теория формирования внешних связей с разрушаемыми массивами при функционировании выемочных комбайнов. / Горное оборудование и электромеханика № 9, 2006 г. С. 40-42.

4. Временная инструкция по оценке долговечности и остаточного ресурса металлоконструкций экскаваторов, продление меж рабочих сроков их работы и сроков безопасной эксплуатации. НФ "Кузбасс НИИ ОГР" – Кемерово 2007 год., 31с.

УДК 622.24.051.52

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БУРОШНЕКОВЫХ МАШИН И ИНСТРУМЕНТА ПРИ ПРОКЛАДКЕ ИНЖЕНЕРНЫХ ПОДЗЕМНЫХ КОММУНИКАЦИЙ

Маметьев Л.Е., проф, д.т.н., Дрозденко Ю.В., ст. преподаватель, Любимов О.В., ст. преподаватель, КузГТУ, Кемерово

Аннотация. Рассмотрены результаты промышленных испытаний комплекта бурошнековых машин и инструмента, разработанных кафедрой горных машин и комплексов КузГТУ для реализации различных способов бурения горизонтальных скважин.

Annotation. The results of industrial tests of horizontal boring machines kit and tools developed by the department of mining machines and systems KuzSTU for various methods of drilling horizontal wells are shown.

Постоянно развивающиеся города и предприятия создают сложные условия для развития подземных коммуникационных систем. Это предопределяет возрастание масштабов применения бестраншейных способов проходки, в том числе бурошнековых.

В горном деле горизонтальные скважины используются в сложных горно-геологических условиях как для осуществления нарезных, проходческих и очистных работ, так и при выполнении вспомогательных операций (предварительное увлажнение массива, дегазация, вентиляция, водоотлив, прокладка коммуникаций, перемещение людей и грузов, горноспасательные работы).

В строительстве рост объемов бурения горизонтальных скважин с одновременной закрытой прокладкой коммуникаций и создание соответствующих технических средств вызван современными технологическими, экономическими и экологическими требованиями.

Исследования, проводимые кафедрой горных машин и комплексов Кузбасского государственного технического университета на протяжении нескольких десятилетий, позволяют считать одним из перспективных средств реализации бестраншейных технологий комплексы бурошнекового типа. В течение ряда лет были разработаны и изготовлены комплекты бурошнекового оборудования на базе установки УБСР-25, станков БГА-2, БГА-4 и БГА-2М, скребкового конвейера СР-70. Основные сведения о технических характеристиках машин приведены в таблице1. Все бурошнековые машины оснащены гидравлическими механизмами подачи и отличаются компоновочными схемами, расположением опорных элементов и гидроцилиндров перемещения.

Характеристики бурошнекового оборудования

Таблица1

Наименование параметра	Буровые станки с электрическим приводом на базе серийно выпускаемых машин и оборудования					Станки с гидравлическим приводом
	УБСР-25	БГА-2	БГА-4	БГА-2М	СР-70М	ММ-1
1. Диаметр скважины, мм - прямой ход - обратный ход	540 1240,1440	160,540 840,1040; 1240	160,540 1040,1240	160,540 840,1040; 1240,1440	540-1240 840-1640	540-1240 840-1640
2. Скорость подачи, м/мин - прямой ход - обратный ход	0-1,1 0-0,8	0-2,5 0-1,1	0-1,2;0-2,5 0-1,6;2-3,5	0-1,1	0-1,2;0-2,5 0-1,6;2-3,5	0-1,2;0-2,5 0-1,6;2-3,5
3. Мощность двигателя вращателя, кВт	27,5	11/20/30	30	18,5/30	55	30
4. Мощность двигателя маслостанции, кВт	30	30	30	7,5	7,5	10,0

5. Частота вращения шпинделя, мин ⁻¹	20	115/37	27/42	35,5/61	30	30
6. Количество гидродомкратов подачи, шт.	4	2	4	4	4	4
7. Максимальное давление в гидросистеме, МПа	10	10	10	10	32	32
8. Развиваемое осевое усилие, кН - прямой ход - обратный ход	213 266	200/645 294/942	294/942 200/645	368/942 250/645	1200 845	1200 845
9. Габаритные размеры, м - длина - ширина - высота	3;14,5;21 19 21	3;9;14 12 1,15;1,8	5;7;12 14 20	4;8;12 196 1,65	4;8;12 22 1,65	4;8;12 196 1,65

Проведенные промышленные исследования комплекса буровнекового оборудования позволили оценить режимные параметры различных способов бурения горизонтальных и слабонаклонных скважин. Схема и условия сооружения горизонтальной скважины представлена на рис.1. Бурение осуществлялось в глине с естественной влажностью $W=20 - 30 \%$. Увлажнение продуктов разрушения производилось до влажности $W=45 - 55\%$. Увлажнение продуктов бурения приводило к существенному снижению мощности на вращение бурового инструмента.

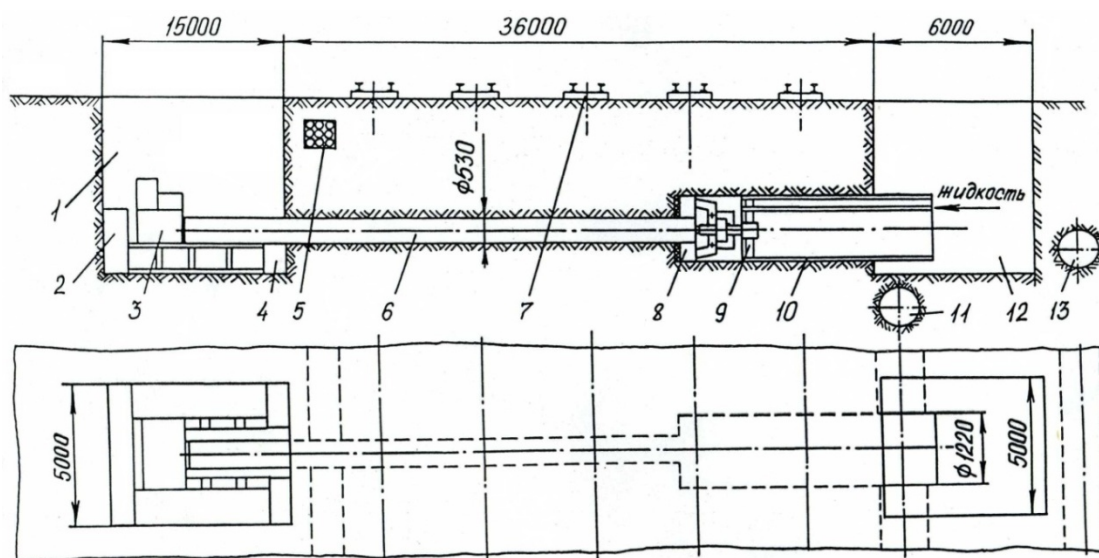


Рис.1 Схема проведения промышленных испытаний при прокладке коммуникаций под подъездными железнодорожными путями Кемеровской ГРЭС (г. Кемерово):

1- рабочий котлован; 2-упорная плита; 3-буровнековая установка; 4-якорь; 5- силовые кабели; 6-пионерная скважина; 7- железнодорожные пути; 8-расширитель обратного хода; 9-прицепное устройство; 10-прокладываемая труба-кожух; 11-канализация; 12-приемный котлован; 13-пожарный водопровод.

Взаимосвязь режимных параметров бурения пионерной скважин отражен на графике (рис.2). Режимные параметры установлены при испытании буровнекового инструмента с кольцевым опорным ободом, выполненным на забойном конце обсадной трубы, способствующему появлению радиального зазора между стенкой скважины и наружной поверхностью обсадной трубы и без него.

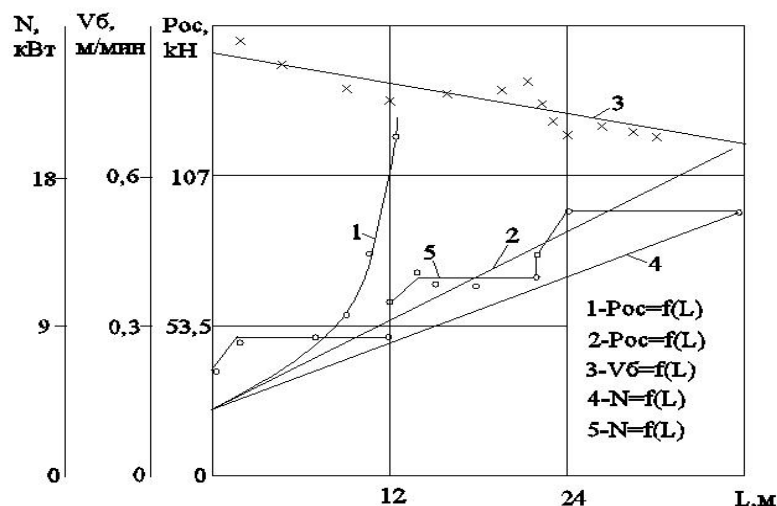


Рис.2 Параметры процесса бурения пионерной скважины

Комплексная разработка, испытания и внедрение буровых машин и бурового инструмента с анализом результатов промышленных испытаний позволили обосновать и выбрать эффективные технологические и технико-экономические параметры при горизонтальном бурении.

УДК 624.94.014.2

ПРИЛОЖЕНИЕ ТЕОРИИ КАТАСТРОФ К РАСЧЕТУ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ГОРНТЕХНИЧЕСКИХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

*Д.И.Назарович, доц.каф. СПСиШ КузГТУ, канд.техн.наук
В.В.Першин, профессор, заведующий кафедрой «Строительство подземных сооружений и шахт», КузГТУ, г. Кемерово*

Аннотация: Рассмотрено приложение теории катастроф к геометрически-нелинейному конечно-элементному анализу предельной несущей способности стержневых конструкций. Показана необходимость развития метода конечных элементов для предотвращения аварий горнотехнических зданий и сооружений.

Abstract: Problem the catastrophes theory in geometrically-nonlinear finite-element method for crash to truss structures.

Теорию катастроф, как раздел современной математики, активно развивали и пропагандировали отечественные ученые Арнольд В.И., Гивенталь А.Б., Закалюкин В.М. Элементы теории катастроф, в прикладных задачах механики развивали Алфутов Н.А., Колесников К.С., однако без практической реализации применительно к конкретным техническим задачам. Проблемы, указанные Перельмутером А.В., связанные с «делением на ноль» при прохождении особых точек в конечно-элементном анализе конструкций решались Шалашилиным В.И., Кузнецовым Е.Б., в настоящее время этот метод известный под названием «arc-length» включен в большинство применяемых программ конечно-элементного анализа.

Несостоятельность современного метода конечных элементов при выявлении точек бифуркации указывалась более десяти лет назад в ряде работ [1, 2], наиболее простая к анализу схема конструкции приведена на рис. 1., о «успешном» решении заявили разработчики почти всех расчетных программ, в т.ч. Lira и Scad-Office.

Основа примера – простейший элемент, а именно стержень материал линейно упругий, т.е. $\Delta l = N \Delta l / EA$, где Δl – удлинение стержня, N – продольная сила (усилие) в стержне, l – длина стержня, EA – продольная жесткость стержня. Вся конструкция – два элемента, три узла, четыре внешних связи, две степени свободы. Принципиально правильная форма деформации этой конструкции представлена на рис. 2., т.е. правый элемент конструкции оказывается повернутым право, а левый повернутым вниз, важно не только конечное положение (которое, в тестовых примерах, за последнее десятилетие, разработчики подогнали), но и промежуточные положения.

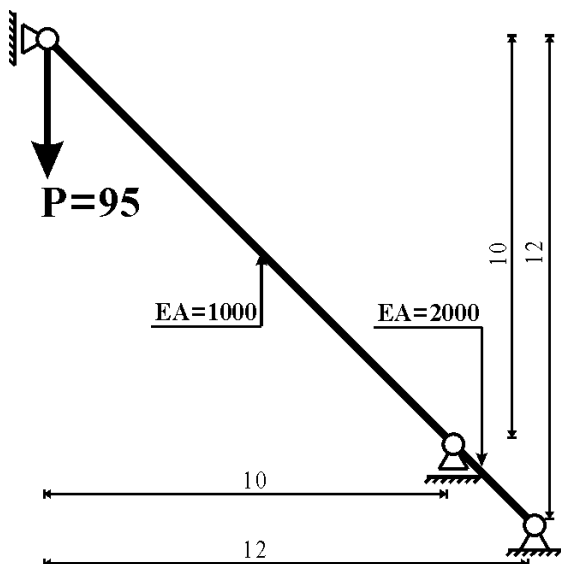


Рис. 1. Схема конструкции

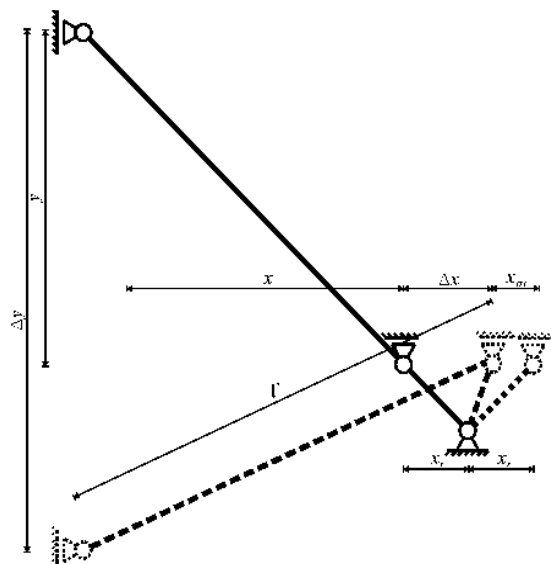


Рис. 2. Деформированная схема

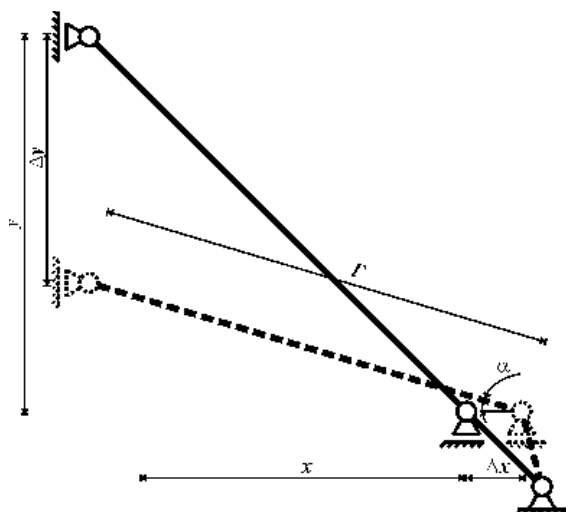


Рис. 3. Схема взаимодействия левого и правого элементов

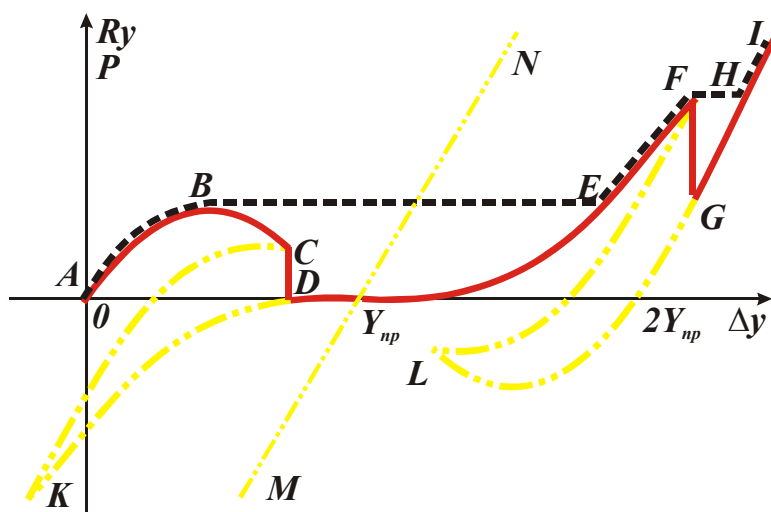


Рис. 4. Определение критической силы для правого положения правого элемента

В случае стержня с продольной жесткостью EA , проекциями x и y , длиной l зависимость вертикальной силы (R_y) от вертикального перемещения (Δy) определяется:

$$R_y = EA \Delta y \left[\frac{1}{\sqrt{x^2 + (y - \Delta y)^2}} - \frac{1}{l} \right] \quad (1)$$

Определим, при каком смещении левого узла (см. Рис.3) достигается критическая горизонтальная сила для правого элемента.

Геометрически длина правого элемента определяется как:

$$l' = \sqrt{(y - \Delta y)^2 + (x + \Delta x)^2} \quad (2)$$

где Δx – горизонтальное смещение среднего узла, Δy – вертикальное смещение левого узла, в то же время длина левого элемента физически выражается как:

$$l' = l \left(1 - \frac{N}{EA} \right) \quad (3)$$

где N – продольная сила в левом элементе определяемая как:

$$\frac{R_x}{\cos(\alpha)} = \frac{R_x \sqrt{(y - \Delta y)^2 + (x + \Delta x)^2}}{(x + \Delta x)} \quad (4)$$

где R_x – горизонтальная реакция от правого элемента (в нашем случае $R_x = P_{хст} = 187,4$).

Решая совместно уравнения 2, 3 и 4 определяем

$$\Delta y = 6,964,$$

при котором происходит перескок правого элемента вправо.

Длина правого элемента в промежуточном (горизонтальном) положении, используя уравнение 3, при продольной силе определяется:

$$N = R_x = N_r \cos(\beta) = EA_r \left[(x' - x - x_r) \left(\frac{1}{\sqrt{y_r^2 + (x' - x - x_r)^2}} - \frac{1}{l_r} \right) \right]$$

где EA_r – продольная жесткость правого элемента, x_r , y_r , l_r – соответственно горизонтальная проекция, вертикальная проекция и длина правого элемента до деформации, $x' = l'$ – горизонтальная проекция (длина) левого элемента в рассматриваемом положении. График приведенный на Рис. 4., используем для графического анализа бифуркации узлов (участки В-Е, F-H – бифуркация вертикального перемещения, C-D, F-G – горизонтального перемещения).

В процессе бифуркации (процесс перескока представлен на Рис. 5 происходит аналогичное явление, представленное на Рис. 6, потери статического равновесия и, соответственно, начала движения).

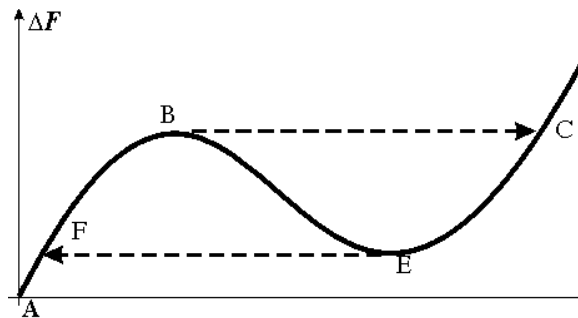


Рис. 5. Бифуркация по Алфуту

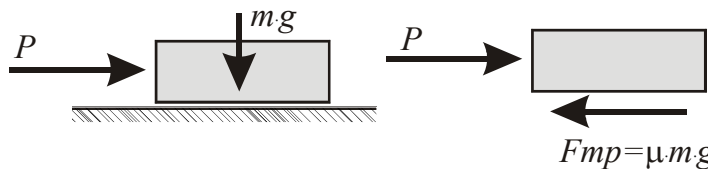


Рис. 6. статика $P < F_{тр}$; движение $P > F_{тр}$

Приведенный здесь пример, и тестовые задачи [1], показывают, что при бифуркации метод конечных элементов, решающий задачи в статической постановке, просто по определению не применим. Рассматривая разрешающие уравнения МКЭ:

$[A] \cdot \{N\} = \{F\}$ – уравнение статического равновесия конструкции,

$\{\Delta\} = [A]^t \cdot \{u\}$ – уравнение совместности деформаций,

$\{N\} = [G] \cdot \{\Delta\}$ – физические уравнения (соответствие деформаций элементов усилиям),

где $\{N\}$ – вектор усилий в элементах, $\{\Delta\}$ – вектор деформаций (удлинений) элементов, $[G]$ – матрица жесткостей элементов конструкции, $[A]$ – матрица уравнений статики, $[A]^t$ – матрица коэффициентов уравнений совместности деформаций (транспонированная матрица уравнений статики), которые после преобразования дают

$$|A| \cdot |G| \cdot |A|^t \cdot \{u\} = \{F\},$$

и после обозначения $|K| = |A| \cdot |G| \cdot |A|^t$, окончательно получаем $|K| \cdot \{u\} = \{F\}$, формирующие итерационные уравнения:

$$|A_i| \cdot \{N_i\} = \{F^a\} - \{F^r_i\} - \text{уравнение статического равновесия конструкции,}$$

$$\{\Delta_i\} = |A_i|^t \cdot \{\Delta u_i\} - \text{уравнение совместности деформаций,}$$

$$\{N_i\} = |G| \cdot \{\Delta_i\} - \text{физические уравнения,}$$

учитывая, что в итерационных методах $\{F^r_i\}$ и $\{\Delta u_i\}$ (и соответственно $\{\Delta_i\}$ и $\{N_i\}$) относится к текущему состоянию конструкции, а $|K_i|$ (и соответственно $|A_i|$ и $|A_i|^t$) относится к предыдущему состоянию конструкции, получаем:

$$|A_i| \cdot \{N_i\} \neq \{F^a\} - \{F^r_i\},$$

$$\{\Delta_i\} \approx |A_i|^t \cdot \{\Delta u_i\} \text{ (при значительных относительных перемещениях – неравенство, т.е. } \{\Delta_i\} \neq |A_i|^t \cdot \{\Delta u_i\}),$$

$$\{N_i\} = |G| \cdot \{\Delta_i\},$$

соответственно, после правильных математических преобразований:

$$|K_i| \cdot \{\Delta u_i\} \neq \{F^a\} - \{F^r_i\}$$

Задача учета бифуркации узлов стержневых конструкций, не просто актуальна, а критична. Использование теории катастроф применительно к конечно-элементному анализу предельного состояния несущих конструкций горнотехнических и транспортных сооружений даст значительный рост региональной науки.

Список литературы:

1. Назаров Д.И. Некоторые особенности геометрически-нелинейных задач. Автоматизация и информатизация в машиностроении: Сб. тр. I междунар. науч.-техн. конф./ Тул. гос. ун-т. – Тула, 2000. – С. 96–99.
2. Назаров Д.И. О «достоверности» расчетов конструкций методом конечных элементов // САПР и графика. – 2000. – № 7. – С. 53–59.
3. Назаров Д.И. Теория катастроф в задачах анализа состояния горнотехнических зданий и сооружений // Вестник Кузбасс. гос техн. ун-та №2- Кемерово 2010- с. 80-81

ТЕХНОЛОГИИ ПОДГОТОВКИ ОЧИСТНЫХ ЗАБОЕВ К ПРОИЗВОДСТВУ МОНТАЖНО-ДЕМОНТАЖНЫХ РАБОТ И ИХ ПРОВЕДЕНИЕ

А. В. Ремезов, В. В. Ульянов, С. В. Новоселов, К. А. Бубнов

Подготовка очистных забоев к демонтажу с начала применения механизированных комплексов за прошедшее время почти не изменилась. Основными элементами этой технологии является укладка на секции деревянных пластин толщиной 15-20 см и длиной 4-5 м по всему периметру перекрытия секции с расположением стыков пластин в шахматном порядке. Затем взятие «холостых» стружек для образования демонтажного пространства вдоль забоя на величину 2,5-3,5 м и крепления кровли над демонтажной дорожкой при помощи металлических верхняков, установленных в кровле выработки при помощи анкеров, и перетяжка кровли металлической решетчатой затяжкой. Безусловно, были попытки модернизировать эту технологию за счет, например, укладки на секции стальных металлических канатов, отработавших свой срок, с подъемных машин и металлической решетчатой затяжки, а также применения других элементов крепления. Но они никакого применения так и не получили. Монтажную дорожку в настоящее время иногда образуют за счет проведения выработки вдоль оставленного под монтаж забоя при помощи проходческого комбайна и крепления ее анкерной крепью.

К сожалению, необходимо отметить, что технология подготовки механизированных комплексов к демонтажу за рубежом претерпела существенные изменения и позволяет за счет этого значительно сократить время на подготовку очистных забоев к демонтажу.

Образование защитного крепления над секциями крепи механизированного комплекса и затем демонтажной дорожки производят за счет пришивания к кровле полимерной высокопрочной сетки, сплетенной из полимерных прядей высокой прочности на специальных ткацких станках. Сетка изготавливается значительной ширины и

длины. Производится расчет ширины и длины необходимого полотна полимерной сетки. Длина полотна определяется в соответствии с длиной очистного забоя, а ширина полотна определяется величиной длины перекрытия механизированной секции крепи плюс ширина демонтажной дорожки плюс высота (мощность) отрабатываемого пласта, т.е.

$L_{\text{сетки}} = L_{\text{оч. забоя}}$

где

$L_{\text{сетки}}$ – длина полотна сетки, м

$L_{\text{оч. забоя}}$ – длина очистного забоя, м.

$H_{\text{сетки}} = L_{\text{д.п.секц.}} + b_{\text{д.д.}} + t + h_{\text{зап. сет.}}$

(1)

где

$H_{\text{сетки}}$ – ширина полотна сетки, м

$L_{\text{д.п.секц.}}$ – длина перекрытия секции, м

$b_{\text{д.д.}}$ – ширина демонтажной дорожки, м

$h_{\text{зап. сет.}}$ – запас полотна сетки по ширине равный 1,0-2,0 м.

Изготовленная сетка в рулонах перевозится на специальную площадку, желательно как можно ближе к предполагаемому месту спуска в шахту и расстилается на площадке полотно к полотну, т.е. набирается полотно сетки необходимое по длине и ширине для проведения работ по подготовке очистного забоя к демонтажу. Расстеленные на площадке отдельные полотна сетки сшиваются между собой по длине и ширине специальным прочным жгутом по разработанной специальной технологии, обеспечивающей стыковку отдельных полотен не менее прочности самого полотна сетки.

После сшивки отдельных полос в общее полотно его свертывают плотно в общий рулон, затем рулон укладывают на транспортные средства, например транспортные контейнеры подвесной монорельсовой дороги, на несколько транспортных единиц, например по следующей схеме:



Затем полотно сетки, уложенное на транспортные средства доставляют в шахту на сопряжение штрека того или иного назначения с очистным забоем. Для доставки полотна сетки в очистной забой, т.е. его растягивание вдоль забоя, один конец свернутого в рулон полотна сетки прикрепляют к очистному комбайну, ставят отдельную стойку на сопряжении очистного забоя со штреком, чтобы исключить трение рулона сетки о выступы угла сопряжения очистного забоя и штрека за счет перемещения комбайна вдоль очистного забоя, рулон свернутой сетки растягивают по всей длине очистного забоя. Затем на стойке секций крепи с интервалом 3-5-секций в зависимости от мощности вынимаемого пласта, чем определяются соответствующие составляющие формулы (1), формируется толщина рулона сетки и естественно частоту расстановки специальных ручных талей для поднятия рулона сетки к перекрытиям секций, для прохода комбайна для подрезки очередной стружки.

После передвижения комбайна вдоль забоя секции крепи сразу же передвигаются, при помощи ручных лебедок опускается последовательно рулон сетки, сетка противоотжимными козырьками прижимается к кровле. Следом идет анкерование кровли анкерами с шайбами с определенной частотой установки в соответствии с геологической характеристикой кровли.

В настоящее время для сокращения времени на анкерование кровли все больше применяются сконструированные машины – анкероустановщики, которые самостоятельно передвигаются по настилу лавного конвейера и имеют 2-3 буровых манипулятора для установки анкеров в кровлю. После анкерования всех стружек, в том числе и «холостых», анкеруется плоскость забоя оставшимся полотном сетки.

После подготовки очистного забоя к демонтажу очистной забой проверяется комиссией, специально назначенной главным инженером, с формированием определенной формы и дается разрешение на демонтаж механизированного комплекса.

Порядок демонтажа механизированного комплекса будет описан в следующих статьях.

АВТОРЫ:

Ремезов Анатолий Владимирович – д.т.н., проф. Кафедры Разработки месторождений полезных ископаемых подземным способом ГУ Кузбасский государственный технический университет

Ульянов Владимир Васильевич – зам. директора по производству ш/у Заречная

Новоселов Сергей Вениаминович – к.э.н., научный сотрудник ООО ИНП «Импульс»

РАЗВИТИЕ ТЕХНИКИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА МОНТАЖНО-ДЕМОНТАЖНЫХ РАБОТ (МДР)

А. В. Ремезов, В. В. Ульянов, С. В. Новоселов, К. А. Бубнов

Необходимо отметить, что в технологиях выполнения МДР шахтного оборудования, в странах с развитой угольной промышленностью отсутствует применение лебедок, а этот вид оборудования, в котором основным исполнительным органом служит канат, является самым травмоопасным. Опасными также являются способы крепления металлических блоков, при помощи которых канатам придают нужное направление.

Для извлечения из установленного ряда в демонтажной камере, а также постановка в ряд механизированных секций в новой монтажной камере применяются самоходные на гусеничном ходу краны-тягачи, которые производятся с учетом различной мощности угольных пластов, разными зарубежными фирмами. В различных схемах демонтажа очистного оборудования они могут вытаскивать доставлять те же секции на штрек для дальнейшей погрузки и транспортирования дальше другим видом транспорта.

Для предотвращения обрушения кровли в месте извлечения секций используются пилотные секции. В качестве пилотных секций могут быть использованы 2-3 секции того же мехкомплекса, которые были извлечены первыми, и которые по мере извлечения последующих могут перемещаться тем же краном-тягачем.

Для этих же целей разработаны и производятся автономные специальные секции с собственным механизмом передвижения на гусеничном ходу и автономным гидравлическим механизмом распора в кровлю и почву демонтажной камеры.

Машиностроительные фирмы Китая изготавливают подобные секции на пневмоходу.

Кроме того демонтажные камеры с углом наклона (падения) более 15° для транспортирования секций мехкомплекса на штрек оборудуются напольными реечными монорельсовыми дорогами. Кран-тягач при этом выполняет функции извлечения секций из ряда, погрузку их на платформу реечной монорельсовой дороги и передвижку пилотных секций.

На сопряжении демонтажной камеры со штреками могут быть оборудованы дополнительно пункты перегруза оборудования с одного вида транспорта на другой, как правило, при помощи гидравлических талей (подъемников).

Дальше оборудование на поверхность или в очистной забой следующего выемочного столба может доставляться подвесными монорельсовыми дорогами или самоходным транспортом на пневмоходу.

Монорельсовые подвесные дороги выпускаются различными иностранными фирмами, но наиболее применяемые в угольной промышленности России являются монорельсовые дороги, производимые в Германии и в Чехии фирмой «Ферраб».

Основными составными элементами монорельсовых дорог являются следующие: специальная двутавровая балка с усиленными полками, монорельс, состоящий из отрезков данной балки, как правило, длиной в среднем равной 3,0 м со специальными приваренными по концам элементами соединения друг с другом типа «папа-мама» и устройствами для подвески балки в двух конечных точках к кровле выработки, точнее к специально установленным в кровле выработки анкерам. Несущая способность анкеров рассчитывается по утвержденным нормативным документам.

Для различных поворотов из одной выработки в другую выпускаются специальные гнутые секции монорельсовых дорог, как для подвесных, так и для напольных дорог с необходимым радиусом изгиба, обеспечивающим безопасный поворот дизельного поезда из одной выработки в другую. Кроме того монорельсовые дороги как подвесные, так и напольные комплектуются стрелочными автоматическими или дистанционно управляемыми переводами, обеспечивающими переход дизельного поезда с одного маршрута на другой.

Монорельсовые подвесные и напольные дороги, т. е. дизельный или электрический поезд оборудуются автоматическими устройствами, которые обеспечивают безопасную эксплуатацию монорельсовых дорог при превышении локомотивом регламентной скорости передвижения, т. е. когда аварийно скорость локомотива превысит допустимую по нормативным документам.

Для механизации процесса крепления капитальных горных выработок значительного сечения, которые крепятся тяжелым металлическим арочным креплением, разработаны и выпускаются крепеустановщики, которые передвигаются по подвесному монорельсу.

Несколько зарубежных фирм, в том числе и китайские машиностроительные фирмы, выпускают самоходный транспорт на пневмоходу, способный перевозить крупногабаритное и тяжелое до 30 тонн горношахтное оборудование. Они могут быть с дизельным приводом, электрическим приводом от аккумуляторных батарей. Данное мобильное транспортное оборудование позволяет переводить оборудование со скоростью выше, чем монорельсовый или рельсовый транспорт, но для применения такого транспорта необходимы горные выработки шириной 5-6 метров и сопряжения выработок должны обеспечивать необходимый радиус поворота.

Кроме того для эксплуатации такого транспорта в горных выработках, как говорилось выше, необходима крепкая почва не способная к размоканию. При слабой почве в выработках настиляется слой крепких пород определенной крупности, что естественно приводит к удорожанию МДР.

В том случае, если для демонтажа мехкомплекса проводится предварительно в конце выемочного столба демонтажная камера. Демонтажная камера формируется за счет «холостых» стружек с перетяжкой кровли специальной полимерной сеткой и анкерованием в соответствии с разработанным проектом. Для снижения времени анкерования разработаны и выпускается анкеровщик, который передвигается самостоятельно по забойному конвейеру.

Таким образом, из вышеприведенного материала можно сделать вывод о том, что в странах с развитой угольной промышленностью уделять значительное внимание сокращению времени МДР при перемонтаже мехкомплексов из очистных забоев отработанных выемочных столбов в выемочные столбы с новыми очистными забоями. Для этого разработаны и производится целый ряд необходимой техники. Российским угольным компаниям и отдельным шахтам в связи с тем, что подобная техника в России не производится, приходится заказывать данную технику за рубежом.

Оценивая результаты отдельных закупок необходимо сделать выводы о том, что закупка только отдельного оборудования не решает в целом существующей проблемы. Необходимо принимать решение о закупке оборудования, которое бы действительно оказало существенное влияние на резкое изменение ситуации. При этом необходимо тщательно рассматривать изменение технологии при производстве МДР, а начинать необходимо с увеличения сечения горных выработок до необходимых для применения новой техники и создания безопасных условий труда.

АВТОРЫ:

Ремезов Анатолий Владимирович – д.т.н., проф. Кафедры Разработки месторождений полезных ископаемых подземным способом ГУ Кузбасский государственный технический университет

Ульянов Владимир Васильевич – зам. директора по производству ш/у Заречная

Новоселов Сергей Вениаминович – к.э.н., научный сотрудник ООО ИНП «Импульс»

Бубнов Константин Александрович – аспирант Кафедры Разработки месторождений полезных ископаемых подземным способом ГУ Кузбасский государственный технический университет

СОКРАЩЕНИЕ ПРОСТОЕВ ОЧИСТНЫХ ЗАБОЕВ ЗА СЧЕТ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МОНТАЖНО-ДЕМОНТАЖНЫХ РАБОТ

А. В. Ремезов, В. В. Ульянов, С. В. Новоселов, К. А. Бубнов

При современном проектировании и строительстве угольных шахт по прогрессивной схеме «шахта-пласт», «шахта-один очистной забой» большое значение приобрело сокращение непроизводительных работ очистных забоев за счет сокращения времени на их монтаж-демонтаж.

Современное производство угля, т. е. его добыча, переработка и реализация связано с потребителями жесткими договорными обязательствами. Добыча угля, его процесс должен носить счетный характер, т.е. время на непроизводственные паузы, монтаж, демонтаж должно быть сведено до минимума. Риск возникновения аварийных остановок очистного забоя должен быть сведен к нулю.

Никаких разговоров о создании резервных очистных забоев не должно быть. Это может привести к замораживанию средств как материальных, так и финансовых, что при существовании рыночных взаимоотношений недопустимо. Этот факт может свести на нет такой показатель как рентабельность производства. Да, есть пути снижения риска потерь добычи и участия на рынке реализации угля за счет развития другой технологии добычи угля как камерной или камерно-столбовой, т. е. отработки запасов угля короткими забоями. Но мы в данной статье этот вопрос рассматривать не будем.

Главной задачей данной статьи является определение конкретных мер по снижению длительности технологической паузы, связанной с простоем очистного забоя из отработанного выемочного столба в новый.

Необходимо отметить, что в настоящее время собственники угольных шахт и угольных компаний в целом, для достижения максимально возможной рентабельности вынуждены совершенствовать очистные, подготовительные работы, транспорт и другие технологические процессы. Но, к сожалению, за счет покупки и внедрения новых технологий и нового оборудования в основном у иностранных фирм. Но вопросы совершенствования технологии монтажно-демонтажных работ очистного оборудования решаются медленно. Это говорит о том, что до настоящего времени большинство собственников не занимаются анализом причин непроизводительных затрат в формировании себестоимости и рентабельности производства в целом.

За рубежом этому уделяется большое внимание в связи с чем очень интенсивно там развиваются как технологии монтажно-демонтажных работ (ДМР), так и техника и оборудование для проведения этих работ.

Технология ДМР развивается в следующем направлении:

разработка и совершенствование технологий ДМР;

совершенствуется технология подготовки очистного забоя к демонтажу;
совершенствуется технология проведения предварительных демонтажных камер;
совершенствуется технология демонтажа оборудования очистного забоя одновременно из нескольких точек;
совершенствуется технология подготовки и отработки выемочных столбов в двухстороннем порядке с изменением направления проветривания выемочных участков, что резко сокращает пути и соответственно пути и время доставки в новый очистной забой оборудования.

При этом осуществляется многоштрековая подготовка выемочных столбов:

совершенствуется технология крепления демонтажной камеры после извлечения очередной секции гидрофицированной крепи;

совершенствуется технология крепления и поддержания штреков, в том числе дополнительных, по которым извлекаемое из демонтажной камеры оборудование транспортируется дальше или в новый очистной забой, или на поверхность.

Разработка и совершенствование техники для производства ДМР:

разработка новых и совершенствование существующих мобильных средств извлечения и установки в ряд секций механизированной крепи, в том числе в монтажных и демонтажных камерах с углом падения $> 15^\circ$;

разработка новых и совершенствование существующих средств доставки оборудования очистного забоя, монорельсовых подвесных дорог, напольных монорельсовых дорог, в том числе с зубчатой рейкой, что позволяет механизировать МДР в монтажных и демонтажных камерах с углом падения $> 15^\circ$;

разработка и совершенствование крепей и материалов для усиления крепления штреков, в том числе дополнительных для обеспечения безопасной транспортировки горно-шахтного оборудования в монтажную или демонтажную камеру;

разработка и совершенствование средств механизации установки крепления штреков, в том числе дополнительных;

разработка новых типов канатных анкеров для крепления монтажных, демонтажных камер, в том числе предварительных;

разработка средств и совершенствование существующих для крепления кровли при подготовке механизированного комплекса к демонтажу.

Только за счет уже существующих вышеописанных технологий и средств механизации ДМР в зарубежной практике при проведении ДМР достигаются рекордные показатели, позволяющие произвести ДМР перемонтажа очистного оборудования из очистного забоя отработанного выемочного столба в новый за 6-8 суток.

В российских угольных шахтах ДМР осуществляются за месяц и более, хотя и имеются примеры, когда ДМР осуществлялись в течение не более двух недель.

Причиной такой длительной работы по проведению ДМР являются в отсутствие для этих целей в первую очередь современного отечественного оборудования и современных отечественных технологий, во-вторых приобретение современных средств механизации и технологии требует значительных разовых затрат, в третьих отсутствие у собственников четкого анализа потерь добычи и финансовых ресурсов от длительности МДР и сравнение этих потерь с вложением средств на приобретение прогрессивных технологий и средств производства ДМР, разработка бизнес-планов модернизации МДР с целью увеличения прибыли от производства добычи и реализации каменного угля.

В основном на шахтах России при выполнении ДМР используются различные лебедки и обычный рельсовый транспорт эти средства являются низкоэффективными и высокотравмоопасными, хотя в последнее время на шахтах, например в СУЭК-Кузбасса развивается технология перевозки механизмов и оборудования очистных забоев при помощи монорельсовых подвесных дорог, в том числе при помощи подрядных организаций. На шахте Распадская и шахте им. С. М. Кирова в Кузбассе были первые попытки осуществлять перевозки очистного оборудования при производстве ДМР при помощи мобильного пневмоколесного транспорта при помощи машин «ЕМСО».

В статье также необходимо отметить положительный опыт отработки выемочных столбов с разворотом механизированного очистного забоя из одного отрабатываемого выемочного столба в другой. Такая технология была опробована на ряде шахт Кузбасса. В настоящее время эта технология используется на шахтах Талдинская I и II «СУЭК Кузбасса».

Необходимо отметить также не совсем показавшуюся эффективной в условиях шахт Кузбасса технологию проведения предварительных демонтажных камер. Эта технология осуществляется при МДР из отработанного очистного забоя в новый.

Сами американцы, которые активно способствовали распространению данного вида технологии пришли к выводу, что данная технология, ее принятие имеет большую степень риска и применять ее необходимо при очень благоприятных горно-геологических условиях. Во всех случаях применения данной технологии на шахтах Кузбасса происходили аварийные ситуации, которые были не совсем безопасными и которые увеличивали плановые сроки проведения ДМР и увеличивали естественно финансовые потери предприятий, снижали рентабельность предприятий.

Одним из резервов сокращения сроков ДМР является увеличение скорости перемещения грузов, которое в настоящее время ограничено для монорельсового транспорта. Преимущество в скорости имеет мобильный пневмотранспорт, но он ограничен в своем применении наличием в горных выработках слабой почвы склонной к

размоканию, что требует настилки в таких горных выработках специального слоя крепкой породы определенной крупности.

Вторым условием применения мобильного пневмотранспорта и увеличения скорости перемещения грузов по выработкам при ведении ДМР является увеличение сечения горных выработок, в основном их ширины до 5-6м, и улучшение их крепления.

Решение этих вопросов дает возможность поднять вопрос о пересмотре нормативных документов по ограничению скорости монорельсового транспорта при производстве ДМР.

АВТОРЫ:

Ремезов Анатолий Владимирович – д.т.н., проф. Кафедры Разработки месторождений полезных ископаемых подземным способом ГУ Кузбасский государственный технический университет

Ульянов Владимир Васильевич – зам. директора по производству ш/у Заречная

Новоселов Сергей Вениаминович – к.э.н., научный сотрудник ООО ИНП «Импульс»

Бубнов Константин Александрович – аспирант Кафедры Разработки месторождений полезных ископаемых подземным способом ГУ Кузбасский государственный технический университет

ЗАКОНОМЕРНОСТИ МОДИФИКАЦИИ И ТРАНСФОРМАЦИИ ШАХТО-СИСТЕМ ТИПА :SDS, RTS MFMS В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЙ ТНП И КОНЪЮНКТУРЫ РЫНКА ТЭР

Харитонов В.Г., Ремезов А.В., Новоселов С.В.

SDS- высокодинамичная шахто-система

RTS- высокорентабельная диверсифицированная шахто-система

MFMS –многофункциональная шахто-система

Как отмечает А.С.Астахов: «Наука свидетельствует, что циклический закон развития, является основным, универсальным законом окружающего мира» [1, С. 40]. Авторы доказывают цикличность (этапность) развития, относится аналогично и к шахто-системам, поэтому жизненный цикл(тц-лет) любого объекта хозяйственной деятельности может быть расчленен на ряд последовательных этапов, которые А. С. Астахов, Г. Л. Краснянский определяют» [1, С. 4]:

$$t_{\delta} = t_{\grave{\imath}\grave{\alpha}\delta} + t_{\grave{\imath}\delta} + t_{\tilde{n}\delta\delta} + t_{\grave{\imath}\tilde{n}\grave{\alpha}} + t_{\acute{y}\acute{\imath}} + t_{\acute{o}\grave{\alpha}}, \quad (1)$$

$t_{\grave{\imath}\grave{\alpha}\delta}$ – этап проведения маркетингового обоснования перспектив объекта;

$t_{\grave{\imath}\delta}$ – этап проектирования объекта;

$t_{\tilde{n}\delta\delta}$ – этап (создания)строительства объекта;

$t_{\grave{\imath}\tilde{n}\grave{\alpha}}$ – этап начального освоения объектом запроектированной мощности;

$t_{\acute{y}\acute{\imath}}$ – этап стабильного функционирования (нормальной эксплуатации) объекта;

$t_{\acute{o}\grave{\alpha}}$ – этап угасания.

Кроме того А. С. Астахов, Г. Л. Краснянский выделяют две общие фазы цикла – предпроизводственную (тпп) и производственную (тп):

$$t_{\ddot{u}} = t_{\grave{\imath}\grave{\alpha}\delta} + t_{\grave{\imath}\delta} + t_{\tilde{n}\delta\delta} \quad (2)$$

$$t_{\grave{\imath}} = t_{\grave{\imath}\tilde{n}\grave{\alpha}} + t_{\acute{y}\acute{\imath}} + t_{\acute{o}\grave{\alpha}} \quad (3)$$

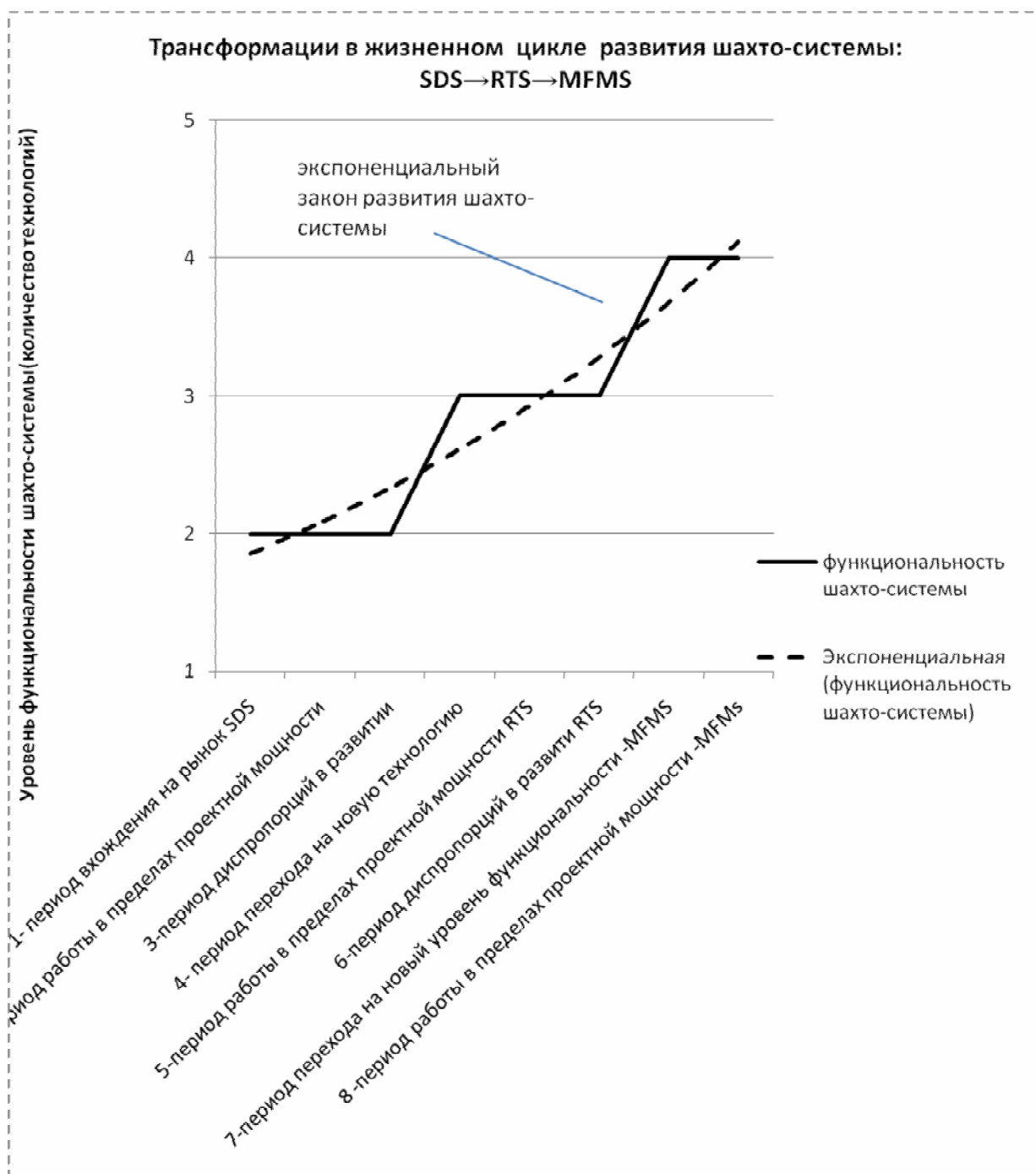


Рис.1. Стратегическая трансформация шахто-системы

Данные этапы определены для шахт, и применимы к развитию шахто-систем, но только с той оговоркой, что у шахто-системы могут присутствовать периоды модификации и трансформации, которые значительно продляют ее жизненный цикл, а сами модификации и трансформации могут проводиться по несколько раз. Это самый важный момент инновационного подхода в современном проектировании горнотехнических систем, т.к. предприятие при рациональном стратегическом проектировании будет оставаться «на плаву» до ста лет и более. В этом плане авторами предлагаются различные варианты трансформации технологий угольных шахт в шахто-системы.

Для решения данной проблемы необходимо четко определить понятия модификации и трансформации, привязать их общепринятым терминам модернизации, технического перевооружения, реконструкции, определить иерархию и соподчиненность терминов, после чего определить закономерности и методы проектирования шахто-систем, моменты начала модификации или трансформации. Как видно из определений трансформация требует больших затрат, времени и изменений в шахто-системе. С экономической, организационной, технологической точек зрения, это будет своего рода стратегия поведения шахто-системы во времени, для топ-менеджмента горного предприятия важно вовремя определить поворотные точки в развитии, т.к. это напрямую определяет

конкурентную позицию и прибыльность производства, а в некоторых случаях и существование бизнеса вообще (т.е. предотвращение банкротства, краха). Графически стратегия поведения шахто-системы имеет вид см. рис. 1.

Успешная стратегическая трансформация шахто-систем происходит в случае создавшейся необходимости ее технологического преобразования, и наличия необходимых ресурсов для ее успешного проведения. В этом случае необходимо точно выбрать момент начала трансформации, и ее завершения с учетом стабильного спроса на продукцию вводимой новой технологии шахто-системы. Зная период времени, параметры функциональности, размеры проектируемых и вводимых мощностей, прогнозируемые финансовые результаты, можно рассчитать прогнозные тренды их изменения во времени, для контроля и диагностики реализации проекта трансформации. Например, для случая рис. 1, при периоде равным 5лет, при начальной функциональности 2 технологии, производственная мощность шахто-системы изменялась по данным (см. табл.1), последующим наращиванием через 15 лет функциональности в количестве 1 технологии, за весь цикл технологического развития шахто-системы до 4-х технологий, тогда линейный закон развития производственной мощности шахто-системы, определится:

Таблица 1

Определение закона развития производственной мощности шахто-системы

Период времени t	Производственная мощность шахто-системы, млн. т (Yt)	Выравненное значение t	Произведение (Yt) t	t^2	Закон развития $Yt = a_0 + b \cdot t$
1	2	-8	-16	64	$\dot{a} = \sum \frac{Yt}{t}$
2	2	-7	-14	49	
3	2	-6	-12	36	$b = \frac{\sum Yt \cdot t}{\sum t^2}$
4	1,5	-5	-7,5	25	$Yt = 2,41 + 0,14t$
5	1,2	-4	-4,8	16	
6	1	-3	-3	9	
7	1,4	-2	-2,8	4	
8	1,7	-1	-1,7	1	
9	3	0	0	0	
10	3	1	3	1	
11	3	2	6	4	
12	2,5	3	7,5	9	
13	2	4	8	16	
14	2,7	5	13,5	25	
15	4	6	24	36	
16	4	7	28	49	
17	4	8	32	64	
Σ	41	$\Sigma 0$	57,2	$\Sigma 408$	

Комментируя закономерность $Yt = 2,41 + 0,14t$, можно сделать вывод, что средняя производственная мощность шахто-системы за период составляла 2,41 млн. т, при минимуме 1 млн. т в период трансформации, и при максимуме - 4 млн. т в период второй трансформации и выхода на проектную мощность шахто-системы. Другими словами в каждый период времени в среднем производственная мощность составляла 2,41 млн.т., следовательно, основная задача состоит в повышении времени эффективной загрузки технологических цепей. Это условный пример, но подставляя практические статистические данные, можно определить в принципе закономерность развития на заданном интервале времени любой шахто-системы (и по любой функциональной зависимости).

Закон развития функциональности (технологичности) шахто-системы за этот же период определится по данным табл. 2

Таблица 2

Определение закона развития функциональности шахто-системы

Период времени t	Функциональность шахто-системы, млн. т (Yt)	Выравненное значение t	Произведение (Yt) t	t^2	Закон развития $Yt = a_0 + b \cdot t$
1	2	-8	-16	64	$\dot{a} = \sum \frac{Yt}{t}$
2	2	-7	-14	49	

3	2	-6	-12	36	$b = \frac{\sum Yt \cdot t}{\sum t^2}$
4	1	-5	-5	25	$Yt = 2,7 + 0,11t$
5	1	-4	-4	16	
6	3	-3	-12	9	
7	3	-2	-6	4	
8	3	-1	-3	1	
9	3	0	0	0	
10	3	1	3	1	
11	3	2	6	4	
12	2	3	6	9	
13	2	4	8	16	
14	4	5	10	25	
15	4	6	24	36	
16	4	7	28	49	
17	4	8	32	64	
Σ	46	$\Sigma 0$	45	$\Sigma 408$	

Комментируя расчеты в табл. 2, по определению закона развития функциональности шахто-системы, за период ее жизненного цикла (17 периодов = 85 лет), видна средняя технологичность 2,7, т.е. в среднем на шахто-системе в любой период времени работало 2,7 технологии, при минимуме 1 –технология при максимуме – 4 технологии. Абсолютный рост технологичности - 4: 2 = 2 раза, а в 1 период на 11%. Кроме того следует отметить высокую зависимость между функциональностью и производственной мощностью шахто-системы определяемую коэффициентом корреляции - Ккорр.= 0,7068 (см. табл. 3).

Таблица 3

Определение корреляции между производственной мощностью и функциональностью шахто-системы

Период времени, t	Функциональность шахто-системы, млн. т (Yt)	Производственная мощность шахто-системы, млн. т (Yt)	Коэффициент корреляции
1	2	2	0,7068
2	2	2	
3	2	2	
4	1	1,5	
5	1	1,2	
6	3	1	
7	3	1,4	
8	3	1,7	
9	3	3	
10	3	3	
11	3	3	
12	2	2,5	
13	2	2	
14	4	2,7	
15	4	4	
16	4	4	
17	4	4	
Σ	46	41	

Ввиду того, что по типу шахто-системы относятся в большей части к горнотехническим системам, им присущи все свойства и закономерности развития искусственных систем – т.е. технических, технологических, организационных, экономических, безопасности систем созданных человеком. В шахто-системе авторы, определяют ряд подсистем: технологическую, безопасности, организационную, экономическую, финансовую, экологическую.

Методы совершенствования и развития имеют различную трактовку. Следует отметить, как емко определяют реконструкцию В. М. Еремеев, Ю. С. Григорьев, Н. Б. Изыгсон и др., а именно: «... как технологическое перевооружение шахты, которое может преследовать одну или несколько целей: увеличение мощности (объема добычи), повышение качества продукции, улучшение ТЭП, повышение комплексности

использования попутных полезных ископаемых, улучшение условий труда и техники безопасности, охрана окружающей среды» [2, С. 111].

Так же дано определение развития отдельных шахт и шахтного фонда, определенное А. С. Малкиным, Л. А. Пучковым, А. Г. Саламатиним и др. в следующей форме:

1. Новое строительство
2. Расширение действующих предприятий
3. Реконструкция действующих предприятий
4. Техническое перевооружение действующих
5. Поддержание действующих мощностей
6. Прекращение эксплуатации шахт [3, С. 24].

Анализируя данные определения, характеризующие формы развития отдельных шахт, необходимо отметить, что для шахто-систем потребуются свои термины характеризующие специфику их развития, но ввиду того, что у шахто-системы базовым элементом является – шахта, то все дефиниции характеризующие шахты, не противоречат и шахто-системам, а нуждаются в лишь в определенном уточнении и корректировке на многофункциональность технологии шахто-системы.

Поэтому, не нарушая логику существующей теории и методологии проектирования горно-технических систем, авторы, основываясь на общепринятых понятиях нового строительства, расширение действующих предприятий где всегда имеет место создание новых производственных мощностей, реконструкция предусматривает наращивание мощностей в большинстве случаев, а при техническом перевооружении, как правило, мощности остаются постоянными или увеличиваются незначительно, то для шахто-систем логично ввести две обобщающие дефиниции – модификации и трансформации. Первая включает любые изменения производственной мощности, но не увеличивает функциональности технологии шахто-системы. Вторая изменяет как производственную мощность шахто-системы, так и ее функциональность - введение новых технологий, и соответственно новых видов продукции из угля.

Ниже приведен типичный вариант модификации шахто-системы (см. рис. 2).

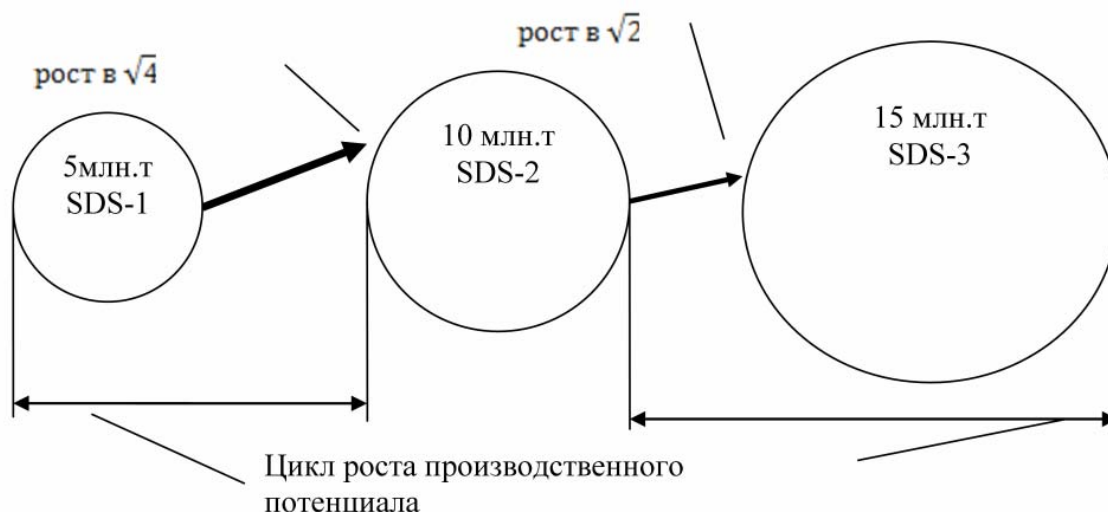


Рис. 2. Цепочка модификации (видоизменения) шахто-системы

Как и отмечалось, трансформация представляет более сложное преобразование вида формы и особенностей шахто-системы, что отображает рис. 3. Комментируя рис.3, видно, что в первом случае происходит трансформация в - SDS в углехимическую шахто-систему - RTS, с последующим переходом в углеэнергетическую -MFMS. Во втором случае происходит трансформация из углеобогащения SDS в угле-газо-энергетическую шахто-систему с последующей модификацией в углегазо-электро-тепло-энергетическую шахто-систему (Л. А. Пучков, Б. М. Воробьев, Ю. Ф. Васючков определяют такие производства как углеэнергетические комплексы). В третьем случае происходит трансформация из углеобогатительной системы SDS в углехимическую - RTS, с последующей трансформацией в углегазотеплоэнергетическую шахто-систему -MFMS, т.е. две трансформации в цепи развития.

Как было определено ранее, шахто-система может развиваться как эволюционно, так и революционно. Модификация – это видоизменение шахто-системы, не изменяющие основные классификационные параметры шахто-системы и характеристики, в большей степени все технологические процессы изменяются только количественно (параметрически), т.е. не вводятся новые технологии. Трансформация же, радикально меняет вид, ее форму и особенности шахто-системы (технология шахто-системы изменяется: увеличивается/уменьшается число технологий), поэтому ее можно отнести к революционному типу развития. Здесь присутствует именно, внедрение новых, инновационных решений, инновационных проектов, прорывных технологий.

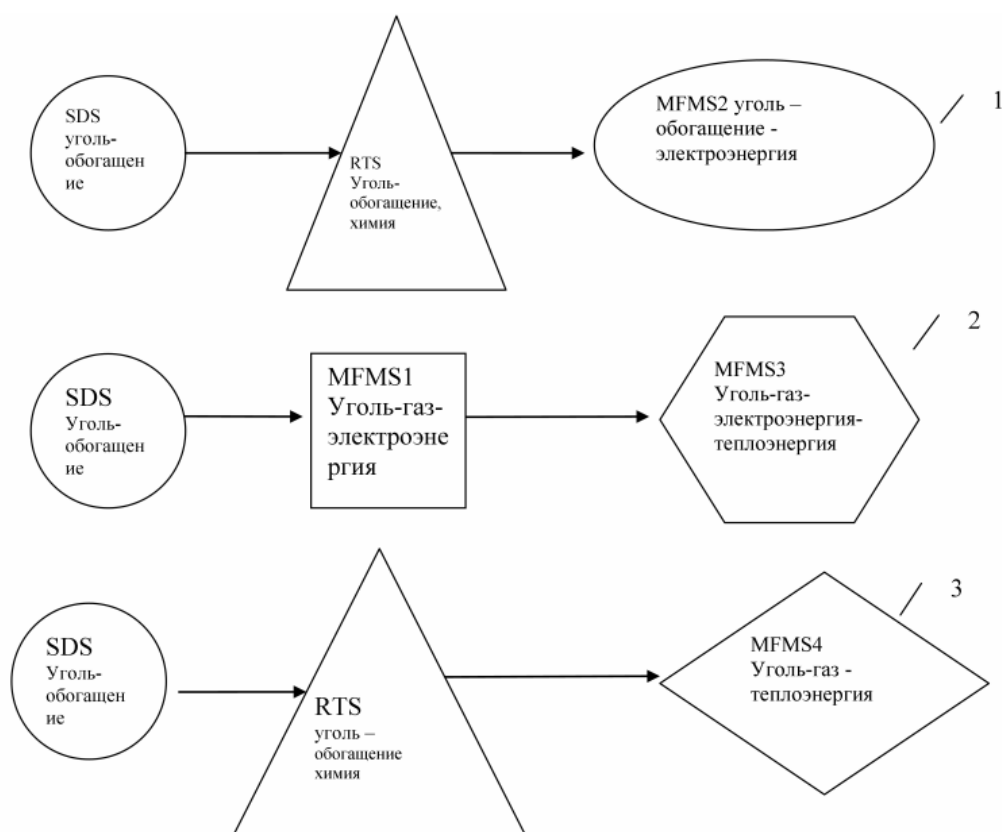


Рис. 3. Цепочки (1, 2, 3) трансформации(преобразования) шахто-системы

Почему в одних случаях достаточно модификации шахто-системы, а в других необходима трансформация, причем радикальная, ответить можно только, когда будут выявлены определяющие причины истинного состояния шахто-системы, проведена диагностика качества структуры шахто-системы, определен вариант модификации (трансформации) развития шахто-систем. Выбор направления развития, шахто-системы во многом зависит от условий и целей преобразований, которые осуществляются в форме модификации или трансформации, представлен рис. 4

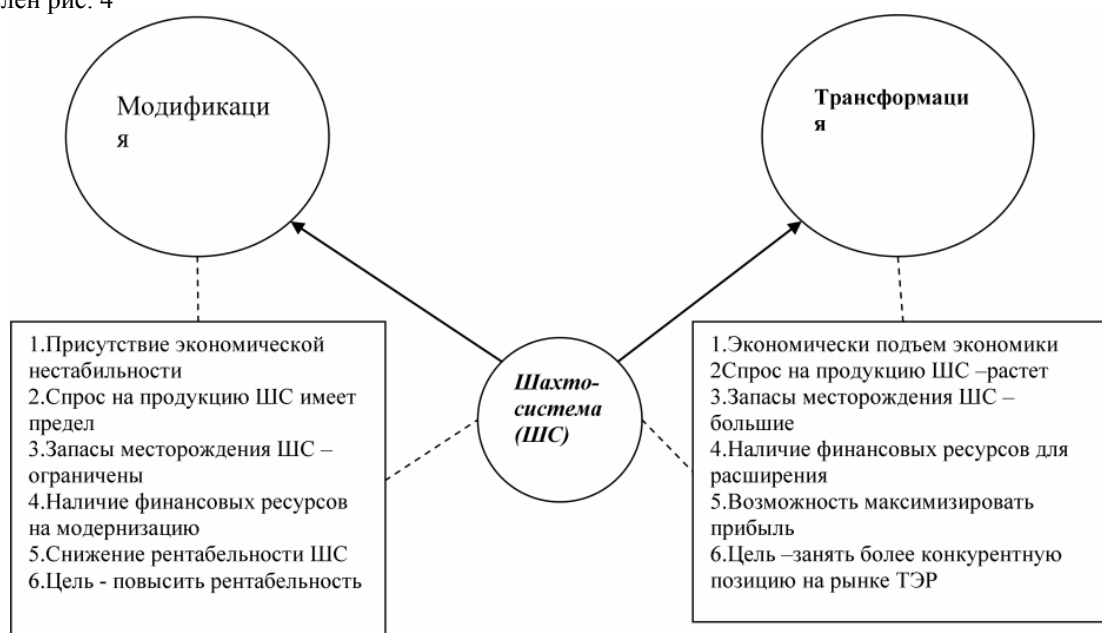


Рис. 4. Выбор направления преобразований ШС в зависимости от наличия условий и целей

По дихотомическому делению, авторы разделяет основные причины стимулирующие развитие шахто-системы (факторы - движущие силы) по принадлежности на два класса – внешние и внутренние, которые приведены в табл. 4.

Таблица 4
Внешние и внутренние факторы, стимулирующие повышение качественного уровня шахто-системы

Внутренние причины изменений шахто-системы	Внешние причины изменений шахто-системы
Несоразмерное соотношение базового и вспомогательных элементов	Рост конкурентоспособности субститутов продукции шахто-системы
Старение технологии шахто-системы	Бурный технологический прогресс
Возможность увеличить мощность шахто-системы - образование непредвиденных резервов в шахто-системе	Рост потребительского спроса на ТЭР
Повышение издержек производства в шахто-системе	Рост цен на материалы и энергию
Снижение качества минерального сырья в подсистеме – запасы месторождения	Экономический кризис
Истощение минеральных запасов в подсистеме – запасы месторождения	Сужение потребительского рынка ТЭР
Ухудшение горно-геологических условий	Ужесточение экологических норм
Снижение интегрального КПД шахто-системы	Повышение общественной производительности труда

Ниже приведены методы (основные направления) преобразования шахто-систем - характеризующие модификацию или трансформацию, см. табл. 5.

Таблица 5
Методы модификации или трансформации шахто-систем в пределах ЖЦ

Этап жизненного цикла	Методы модификации	Этап жизненного цикла	Методы трансформации
Вхождение на рынок	1.Новое строительство предприятия увеличивающее только производственную мощность шахто-системы	Вхождение на рынок	1.Новое строительство включающее создание технологии SDS,RTS,MFMS
На стадии завершения роста	2.Расширение действующей шахто-системы при условии увеличения только производственной мощности	Стадия интенсивного роста	2.Расширение действующего предприятия, включающее создание технологии SDS,RTS,MFMS
На стадии первоначального роста	3.Реконструкция действующей шахто-системы без расширения номенклатуры продукции	Стадия экономического подъема и роста спроса на продукцию	3.Реконструкция действующей шахто-системы с расширением номенклатуры продукции
На стадии зрелости	4.Техническое перевооружение действующей шахто-системы	Стадия зрелости	4.Вторичная(третичная) трансформация шахто-системы с целью продления ее жизненного цикла (ЖЦ)
На стадии упадка	5.Поддержание действующих мощностей шахто-системы	Стадия снижения потребительского спроса	5.Обратная трансформация со снижением функциональности с целью продления ее ЖЦ
Кризисное состояние	6.Подготовка к трансформации	На данный момент шахто-система себя исчерпала (100-120лет эксплуатации)	консервации, закрытия и ликвидации

Анализируя методы модификации и трансформации шахто-систем, авторы приходят к выводу: «Эффективность шахто-системы величина переменная и зависит от множества факторов как внешней, так и внутренней направленности. Для обеспечения относительно стабильной позиции шахто-системы на энергетическом рынке, необходимо гибкое управление в течение всего ЖЦ для обеспечения ее конкурентоспособности». Данная работа предполагает поэтапное улучшение проекта шахто-системы различными методами: реконструкцией, модернизацией, модификацией, трансформацией. Как производитель топливно-энергетического рынка может достичь стабильной конкурентной позиции, ответить однозначно сложно, это

многоаспектная и сугубо специфичная задача, а возможно для некоторых производителей – это неразрешимая проблема, но все же, есть термин, который даст ответ – это применение эффективной стратегии действий. Альтернативные варианты стратегической трансформации шахто-системы приведены на рис. 5.

Резюмируя можно отметить, что эффективный вариант трансформации, необходимо доказать расчетами экономической и технологической целесообразности при учете прогнозов и рисков на стратегическую перспективу. Процесс обоснования и выбора альтернативного типа шахто-системы (SDS, RTS, MFMS) при реализации стратегии технологической диверсификации в конкретных условиях, решается собственником, экспертами и топ-менеджментом шахто-системы, с учетом этапов жизненного цикла развития отрасли. Выбор своевременной технологической трансформации шахто-системы обеспечит долговременное стабильное ее функционирование, т.е. необходим расчет точки трансформации шахто-системы.

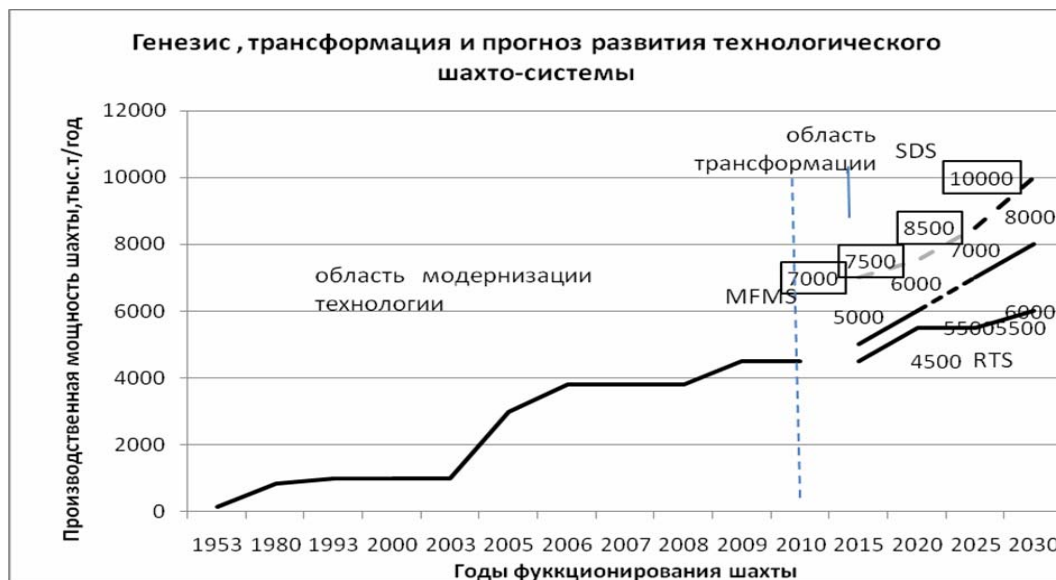


Рис.5. Альтернативные варианты стратегической трансформации шахто-системы

Используемая литература:

1. А. С. Астахов, Г. Л. Краснянский Экономика и менеджмент горного производства: учеб. пособ. для вузов: В 2 кн.- М.: Издательство Академии горных наук, 2002. - кн.1: Основы экономики горного производства. – 367 с.
2. В. М. Еремеев, Ю. С. Григорьев, К. Ю. Григорьев и др. Проектирование угольных шахт, разрезов и обогатительных фабрик, М.: 2000, 312 с.
3. А. С.Малкин, Л. А. Пучков, А. Г. Саламатин, В. М. Еремеев Проектирование шахт: Учеб. для вузов; Под ред. Л. А. Пучкова. - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Издательство Академии горных наук, 2000. – 375 с.

Авторы:

Харитонов Виталий Геннадьевич, к.т.н., генеральный директор ООО УК «Заречная», тел.: 8-905-908-95-82
 Ремезов Анатолий Владимирович – д.т.н., профессор кафедры РМПИ ПС ГОУ КузГТУ, ул. Весенняя, 28, Кемерово, 650000, т. (8 3842) 39-69-09
 Новоселов Сергей Вениаминович – к.э.н., научный сотрудник ООО ИНП «Импульс», тел.: 8-950-273-31-86

ОБОСНОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ШАХТО-СИСТЕМ ТИПА: SDS, RTS, MFMS НА РАЗЛИЧНЫХ ЭТАПАХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА РАЗВИТИЯ ОТРАСЛИ

Харитонов В.Г., Ремезов А.В., Новоселов С.В.

Большинство видных ученых в области проектирования угольных шахт определяют производственную мощность основным параметром функционирования. Как утверждает В. К. Буторин: «Основное качество, присущее любой системе – это ее функции; соответственно система может быть однофункциональной или многофункциональной» [1, С. 84]. В данной работе авторы определяют функциональность по количеству видов производств (технологий) продукции: если выпускается только рядовой уголь, без обогащения, то предприятие – однофункциональное, если же на шахте имеется обогатительный комплекс(обогатительная фабрика) или другие производства, то она переходит в разряд многофункциональных предприятий (шахто-систем).

Функциональное описание системы по Н. Н. Моисееву можно задавать системой переменных»[1,С.85]:

$$S_i = \{T, X, Y, Q\} \quad (1)$$

$$u = \{x, y, c, \varphi, \eta\} \quad (2)$$

где Т – множество моментов времени;

$$X = \left\{ \frac{c}{T} \rightarrow x \right\} \quad \text{- множество допустимых входных воздействий;}$$

$$Y = \left\{ \frac{u}{T} \rightarrow y \right\} \quad \text{- множество допустимых выходных величин;}$$

Q - состояний;

u - отрезок выходной величины;

x - множество мгновенных значений выходных величин;

y - множество значений выходных величин;

c - отрезок входного воздействия;

$$\varphi = \{T \cdot T \cdot T \cdot c \rightarrow Q\} \quad \text{- переходная функция состояния;}$$

$$\frac{\eta}{T} \cdot Q \rightarrow y \quad \text{- выходное отображение.}$$

Такое описание системы охватывает широкий диапазон свойств. Рациональный путь создания функционального описания заключается в применении такой многоуровневой иерархии описаний, при которых описание более высокого уровня иерархии системы будет зависеть от обобщенных переменных более низшего уровня. Следовательно, взаимозависимость базового и вспомогательных элементов шахто-системы закладывается на этапе составления ее описания. В. К. Буторин, предлагает следующую иерархию описания:

эффективность (зависит от функционала эффективности, который качественно и количественно описывает деятельность всей системы);

процессы первого уровня (функции) и параметры первого уровня (функционалы);

процессы второго уровня (функции) - параметры второго уровня (функционалы);

процессы n-го уровня (функции)- параметры n-го уровня (функционалы).

Согласно логики проектирования потенциальные возможности базового элемента шахто-системы (производство угля) должны быть больше суммарной мощности вспомогательных элементов(перерабатывающих уголь), поэтому авторы основное неравенство шахто-системы определяют зависимостью (3):

$$\dot{A} \dot{Y} \geq \dot{Y}_1 + \dot{Y}_2 + \dots + \dot{Y}_n \rightarrow \max \quad (3)$$

БЭ – потенциал производственной мощности базового элемента шахто-системы;

$\dot{Y}_1 + \dot{Y}_2 + \dots + \dot{Y}_n$ - потенциалы производственной мощности вспомогательных элементов шахто-системы;

Производственная мощность базового элемента шахто-системы может быть определена различными моделями, что отображает алгоритм (см. рис. 1).

При мощности базового элемента равного суммарной мощности всех вспомогательных элементов шахто-системы (см. ф. 3) нарушается стабильность ее работы, т.к. практически любой элемент, в какой-либо момент времени, может увеличить свою производительность по каким-либо причинам, то в шахто-системе мгновенно наступает аварийная ситуация - нехватка входного ресурса в подсистемы вспомогательных производств. Поэтому вышеприведенное неравенство работает при условии, что базовый элемент в любой момент времени может обеспечить производительность равную суммарной мощности всех вспомогательных элементов шахто-системы, плюс величину необходимого резерва - (R), который может при определенных случаях характеризоваться

коэффициентом резерва - K_p Упрощенная модель взаимосвязи элементного состава и функционирования шахто-системы MFMS, имеет вид, см. рис. 2.

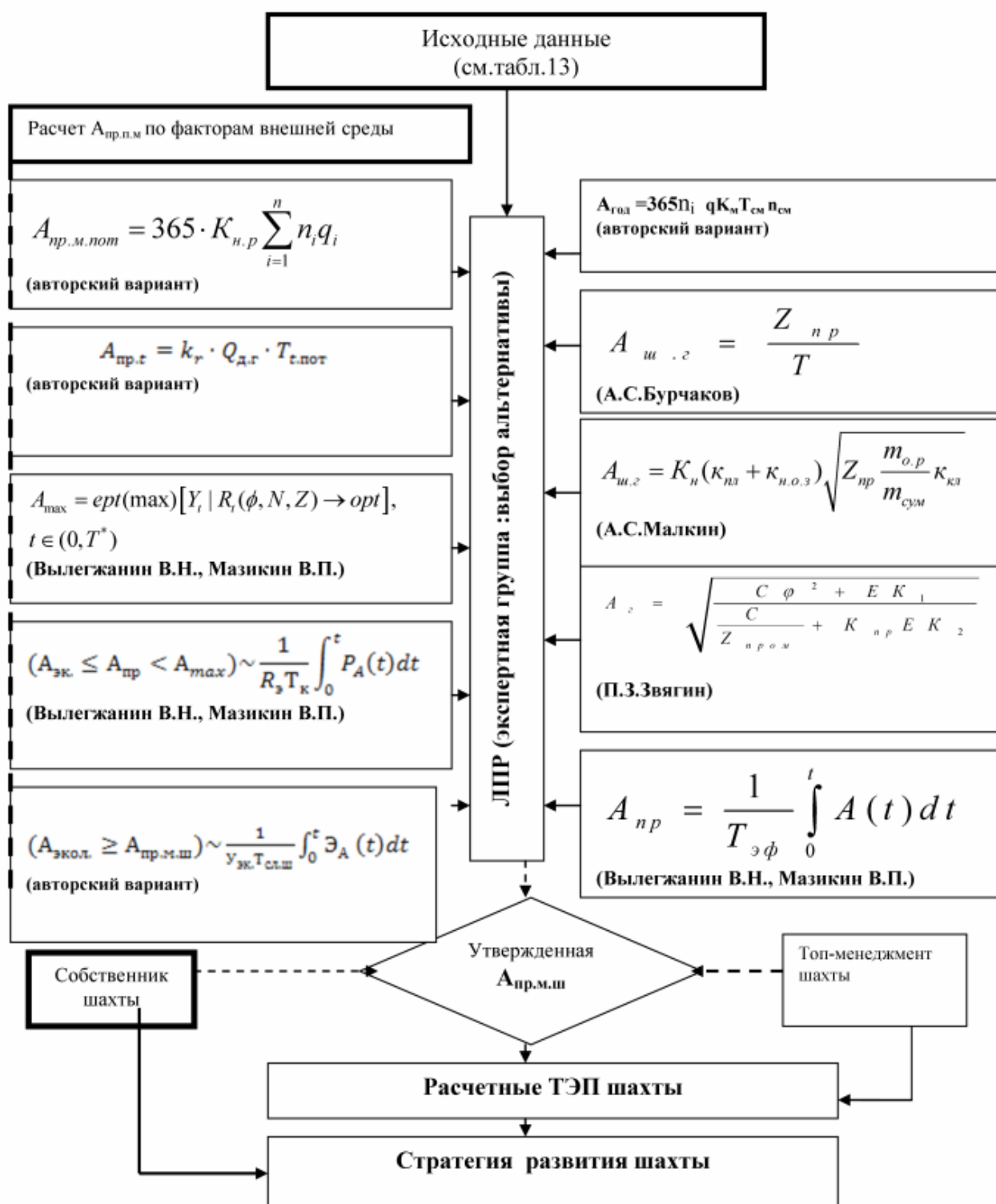


Рис. 1. Алгоритм расчета проектной производственной мощности шахты с учетом факторов внешней и внутренней среды

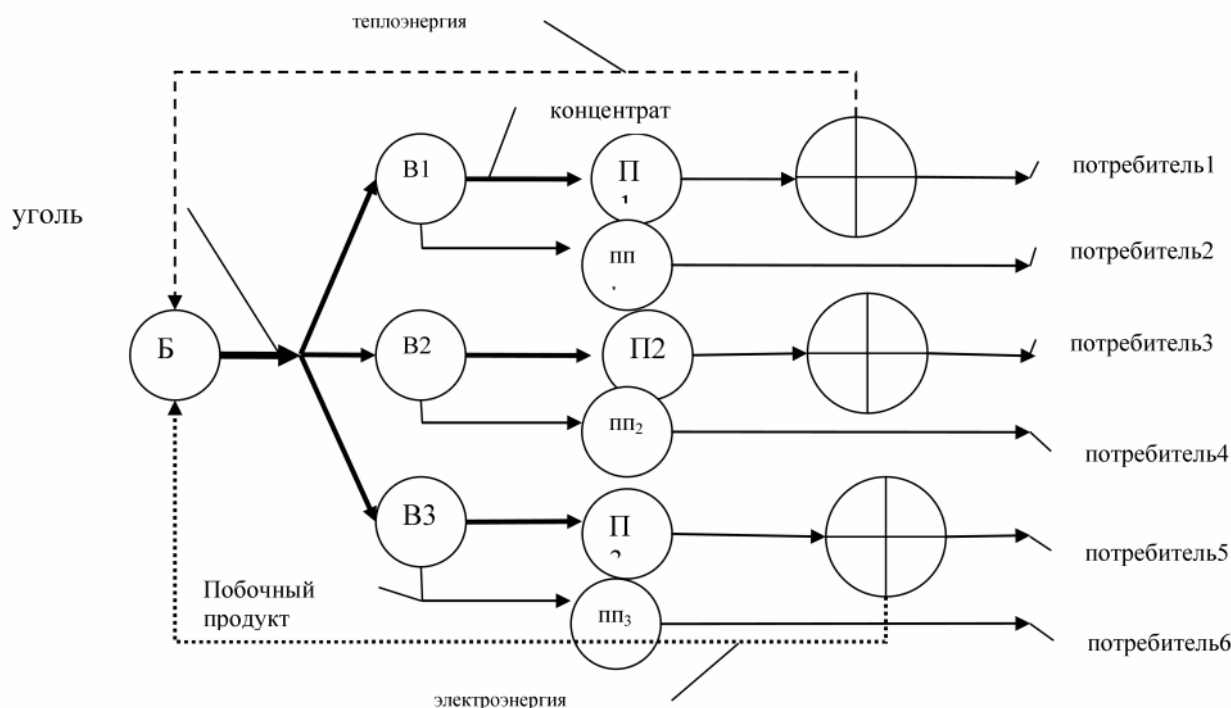


Рис. 2. Упрощенная модель взаимосвязи элементного состава и функционирования шахто-системы MFMS

Условные обозначения:

Б - базовый элемент шахто-системы;

В - вспомогательный элемент шахто-системы;

П - продукция вспомогательной технологии (концентрат, метан, энергия, химпродукт);

пп - побочный продукт (шлам, зола, смазки и т.п.)

Для обоснования рациональной проектной производственной мощности шахто-системы – основного параметра определяющего ее производственно-хозяйственную деятельность, расчеты необходимо производить с различных позиций. Высокий уровень производственной мощности шахто-системы, ее резерв и динамизм – определится по базовому элементу – шахте, который обеспечит ей высокую рентабельность в условиях конкурентной среды.

Производственная мощность базового элемента может быть рассчитана с различных аспектов по моделям определенным на рис. 1, но для простоты можно воспользоваться следующей моделью производственной мощности базового элемента шахто-системы (БЭш-с):

$$\dot{A}_{\text{БЭш-с}} = 365 \cdot D_{\text{БЭш-с}} \quad (4)$$

$D_{\text{БЭш-с}}$ - суточная добыча угля базовым элементом, т/сут

Производственные мощности вспомогательных элементов можно определить по их технической производительности продукции и удельному потреблению угля на производство того, или иного вида продукции вспомогательного элемента шахто-системы:

$(\alpha \cdot \dot{A})$ – производственная мощность подсистемы обогащения;

$(\beta \cdot \dot{A})$ - производственная мощность подсистемы химическое производство;

$(\gamma \cdot G)$ – производственная мощность подсистемы добыча метана;

$(\delta \cdot W)$ – производственная мощность подсистемы выработка электроэнергии;

$(\varepsilon \cdot T)$ – производственная мощность подсистемы выработка теплоэнергии;

Подставляя в зависимость (3) вышеприведенные обозначения удельных норм на производство

соответственно концентрата, химпродукта, метана, электроэнергии, тепло-энергии $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \varepsilon$ [т/т], и технической производительности данных производств - A, B, G, W, T [т/год], и зависимость (4)– авторы определяют основную закономерность определения производственной мощности шахто-системы(5):

$$D_{\text{нóò.ø} - \tilde{n}} = \frac{(\alpha \cdot A + \beta \cdot B + \gamma \cdot G + \delta \cdot W + \varepsilon \cdot T) \cdot \prod_{i=1}^{k=n} K_{pi}}{365 \cdot \prod_{i=1}^{k=n} K_{ni}} \rightarrow opt, \text{ т/сут (5)}$$

где K_{pi} – коэффициенты резерва мощности i-го элемента,

K_{ni} – коэффициенты потерь угля в каждой технологическом производстве i-го элемента шахто-системы.

Резюмируя можно констатировать следующую основную закономерность шахто-системы: «Производственная мощность шахто-системы прямопропорциональна производственным мощностям отдельных подсистем и коэффициентам их резерва, и обратно пропорциональна коэффициентам потерь в каждой технологической подсистеме шахто-системы, при целевой функции оптимизации ее структуры, расходов и ресурсов».

Обоснование параметров функционирования шахто-систем должно происходить с учетом жизненного цикла на различных этапах развития отрасли. Производственная мощность шахто-системы является основным параметром ее функционирования, определяющим технологический уровень шахто-системы и конкурентную позицию в отрасли.

Используемая литература:

1. Прикладной системный анализ: концептуальный подход / В. К. Буторин, А. Н. Ткаченко, С. А. Шипилов. - Кемерово; М.: Издательское объединение «Российские университеты»: «Кузбассвуиздат: АСТШ», 2006. – 323 с.

Авторы:

Харитонов Виталий Геннадьевич, к.т.н., генеральный директор ООО УК «Заречная», тел.: 8-905-908-95-82

Ремезов Анатолий Владимирович – д.т.н., профессор кафедры РМПИ ПС ГОУ КузГТУ, ул. Весенняя, 28, Кемерово, 650000, т. (8 3842) 39-69-09

Новоселов Сергей Вениаминович – к.э.н., научный сотрудник ООО ИНП «Импульс», тел.: 8-950-273-31-86.

ОСНОВНЫЕ ПОСТУЛАТЫ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ШАХТО-СИСТЕМ ТИПА: SDS, RTS, MFMS В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ СОСТОЯНИЙ ВНУТРЕННЕЙ И ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ

Харитонов В.Г., Ремезов А.В., Новоселов С.В.

Как за период реструктуризации, шахты старого технологического уровня сменили шахты нового технического уровня, так по всей вероятности, созданные шахты уровня 2000года, сменят более продуктивные угольные предприятия создаваемые по проектам 2020года или 2030 года, так как за 30 летний период могут произойти 2 цикла технического перевооружения, а угольные предприятия могут увеличить свой потенциал

примерно в $(\sqrt{2} \times \sqrt{2})$ раза. Но объективно уточним, что многие новые шахты это частично преобразованные или в значительной степени модернизированные старые предприятия. Исключение составят новые шахты, которые строятся по новым или инновационным проектам, на них основе надежнее закладывать повышенный уровень производственной мощности соответствующий уровню развития технического прогресса.

Основываясь на подходах отечественных научных школ В. В. Леонтьева, Н. Н. Моисеева, В. М. Глушкова и Б. И. Кудрина, которые определили основные постулаты системного анализа, то логично их учитывать и при проектировании шахто-систем [1, С. 274]:

- постулат назначения;
- постулат единства;
- постулат взаимодействия;
- постулат адаптации;
- постулат измерения;
- постулат представления системы;
- постулат идентификации;
- постулат ресурсного баланса.

В. К. Буторин дает следующие характеристики данным постулатам.

Постулат назначения гласит, что всякая управляемая экономическая система (шахта также является в своем роде экономической системой) имеет свой жизненный цикл и имеет цель (целевую функцию)своего существования. Всякая управляемая система имеет глобальной целью продление времени своего жизненного цикла.

Постулат единства гласит, всякая экономическая система является элементом и составной частью внешней среды. Во время жизненного цикла управляемая система получает от внешней среды материальный,

энергетический и информационный ресурс, преобразует его в выходной продукт, который может являться, в свою очередь, ресурсом для другой системы. Ресурс системы по видам классифицируется на материальный, энергетический и информационный.

Постулат взаимодействия гласит, за все время существования управляемая система подвергается воздействию контролируемых и неконтролируемых помех и возмущений, препятствующих в различной мере выполнению целевой функции. Управление системой предназначено для продления ее жизненного цикла и направлено как для выполнения целевой функции, так и для компенсации отрицательного влияния помех и возмущений на функционирование системы. Окончание жизненного цикла характеризуется невозможностью выполнения управляемой системы ее функций.

Постулат адаптации. Реакцией системы на помехи и возмущения является изменение ее параметров и структуры или адаптации. Экономическая система не может иметь жесткую структуру. Если не существует возможности структурно-параметрического изменения как реакции системы на помехи и возмущения, то система прекращает свое существование.

Постулат измерения. Функционирование всякой системы может быть измерено, и всякая управляемая система может быть представлена в виде ее информационного образа. Информационный образ конкретной управляемой системы представляет собой связанный уникальный набор количественной информации как совокупности некоторых измеряемых параметров. Параметром системы считается измеряемая и размерная характеристика системы, относящаяся как к ресурсу системы, так и к законам ее преобразования в выходной продукт, а также все процессы взаимодействия системы с внешней средой. Всякое изменение состояния системы может быть представлено изменениями значений параметров системы.

Постулат представления системы. Всякая система может быть однозначно представлена в виде некоторой структуры элементов, описанием взаимосвязей и взаимодействия элементов в процессе функционирования системы и в их пространственном расположении. Информационный образ системы считается полным, если он описывает полностью ее структуру, параметры и топологию, а экономической или социально-экономической системой будем считать такую управляемую систему, параметры которой измеряются в стоимостных показателях и все управленческие воздействия вырабатываются и реализуются людьми (лицами, принимающими решения, активными элементами).

Постулат идентификации. Для всякой системы в произвольно любой момент ее жизненного цикла может быть получен набор информации, однозначно характеризующий как ее внутреннее состояние, так и взаимодействие с внешней средой.

Постулат ресурсного баланса. Не существует управляемых систем, только потребляющих ресурс или только его производящих. Это очевидное следствие из законов сохранения массы и энергии [1, С. 275]. В свою очередь, анализируя, систематизируя и интегрируя, по всем вышеприведенным постулатам, в определенной степени лаконичности, авторы формулируют: «шахто-система в пределах жизненного цикла развивается по определенному закону приложенных управленческих воздействий и противодействий внешней среды по заданной целевой функции, чем идентифицируется ее конкурентная позиция».

Кроме вышеприведенных В. К. Буториным системных постулатов при проектировании, авторами разработаны следующие характерные для шахто-системы постулаты (аксиомы):

Для SDS (супердинамической системы):

1. аксиома безопасности шахто-системы;
2. аксиома пропорциональности: максимальное соответствие производственной мощности базового элемента производственным мощностям вспомогательных элементов (больше на величину резерва);
3. аксиома прямооточности технологических потоков;
4. аксиома резерва шахто-системы;
5. аксиома эффективности шахто-системы;
6. аксиома саморегулирования шахто-системы;
7. аксиома цели шахто-системы.

Для RTS (высокорентабельной технологической системы):

1. аксиома безопасности;
2. аксиома необходимой и достаточной продуктовой диверсификации технологии;
3. аксиома прямооточности технологических потоков;
4. аксиома резерва шахто-системы;
5. аксиома синергизма шахто-системы;
6. аксиома саморегулирования шахто-системы;
7. аксиома цели шахто-системы.

Для MFMS (многофункциональной системы):

1. аксиома безопасности;
2. аксиома энергетической самодостаточности;
3. аксиома соразмерности элементов;
4. аксиома резерва шахто-системы;
5. аксиома синергизма шахто-системы;
6. аксиома саморегулирования шахто-системы;

7. аксиома цели шахто-системы.

Долгосрочное и стабильное функционирование шахто-системы определяется, по мнению авторов, соблюдением следующих постулатов:

- потенциал базового элемента шахто-системы в любой момент времени должен быть выше суммы потенциалов вспомогательных элементов на величину рационального резерва;
- оптимальное соотношение производственных мощностей базового и вспомогательных элементов обеспечивает эффективность работы шахто-системы;
- масштаб базового элемента шахто-системы определяется временем функционирования всех вспомогательных элементов при их оптимальных производственных мощностях и установившемся потребительском спросе;
- в целях повышения эффективности шахто-системы производственные мощности вспомогательных элементов регулируются в зависимости конъюнктуры рынка;
- потенциал базового элемента и время его функционирования определяется ЛПР на основе выбранных и обоснованных в установленном порядке целей проекта и стратегии.

Авторы разработали и доказывают применимость следующих постулатов присущих всем шахто-системам:

1. Постулат соответствия. Максимизировать соответствие технологических подсистем базовому элементу;
2. Постулат КПД. Повышать кпд «узких» мест;
3. Постулат слабого звена. Сокращать количество «слабых элементов» в технологической цепи;
4. Постулат мощности. Использовать мощную и высокоэффективную технику;
5. Постулат цепи. Сокращать длину технологических цепей до оптимальной;
6. Постулат времени. Повышать коэффициент машинного времени машин до оптимального;
7. Постулат потерь. Минимизировать технологические потери.
8. Постулат приоритета стратегических целей.

Резюмируя по очевидным истинам (постулатам, аксиомам) в теории развития шахто-систем, которые принимаются за основу при проектировании горнотехнических систем, авторы выделили по одному основному постулату для каждой специфической шахто-системы, а именно:

- для SDS - аксиома пропорциональности: максимальное соответствие производственной мощности базового элемента производственным мощностям вспомогательных элементов (больше на величину резерва);
- для RTS - аксиома необходимой и достаточной продуктовой диверсификации технологии (оптимизация структуры);
- для MFMS- аксиома энергетической самодостаточности.

Используя данные аксиомы, можно разрабатывать основы проектов шахто-систем типа SDS, RTS, MFMS, определять параметры их элементов, выявить основные закономерности их функционирования, развития, модификации и трансформации, в условиях изменения состояний внутренней и внешней среды.

Используемая литература:

1. Прикладной системный анализ: концептуальный подход / В. К. Буторин, А. Н. Ткаченко, С. А. Шипилов. - Кемерово; М.: Издательское объединение «Российские университеты»: «Кузбассвуиздат: АСТШ», 2006. – 323 с.

Авторы:

Харитонов Виталий Геннадьевич, к.т.н., генеральный директор ООО УК «Заречная», тел.: 8-905-908-95-82

Ремезов Анатолий Владимирович – д.т.н., профессор кафедры РМПИ ПС ГОУ КузГТУ, ул. Весенняя, 28, Кемерово, 650000, т. (8 3842) 39-69-09

Новоселов Сергей Вениаминович – к.э.н., научный сотрудник ООО ИНП «Импульс», тел.: 8-950-273-31-86

ПРЕДПОСЫЛКИ ГЕНЕЗИСА ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ ГОРНТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ТИПА: SDS, RTS, MFMS

Харитонов В.Г., Ремезов А.В., Новоселов С.В.

В конце 80-х годов прошлого столетия в отечественной угольной промышленности наступил период спада, перешедший в последующую стагнацию производства. Все это потребовало неординарных мер решения проблем отрасли, а конкретнее – проведения акционирования и реструктуризации угольной промышленности. Как определяет А. С. Астахов: «Под реструктуризацией (структурной перестройкой) отрасли понимают комплекс взаимоувязанных мер по коренному преобразованию ее производственной и организационной структур в целях радикального повышения экономической эффективности ее функционирования и решения социальных проблем горнодобывающих регионов» [1, С. 207].

Примеры проведения реструктуризации за рубежом характеризуются впечатляющими фактами, так в Великобритании общее число шахт за послевоенные 50 лет сократилось в 34 раза, а численность персонала – в 66 раз. Нагрузка на шахту увеличилась в 8,3 раза, нагрузка на очистной забой – в 17,5 раза». В ФРГ примерно за тот же период число действующих шахт уменьшилось в 8 раз, а численность персонала отрасли в 5 раз. Нагрузка на шахту возросла в четыре с лишним раза, а производительность труда – в 4,6 раза [1, С. 210].

В России за 14 лет (1994-2007 гг.) реструктуризации, угольной промышленностью, по утверждению А. Е. Агапова, директора ГУ «ГУРШ», пройден трудный путь вывода ее из системного кризиса и перевода в новое состояние функционирования в условиях рыночной экономики [2, С.3]. Сегодня действующие угольные предприятия формируют свои финансовые ресурсы только за счет реализации продукции, тогда как к началу 1990-х годов на бюджетные дотации угольной отрасли тратилось до 1,5% ВВП страны. Производительность труда рабочего по добыче в целом по отрасли возросла до 183т/мес., что в 2,75 раза превышает уровень 1994г. (66,5 т/мес.). Нагрузка на очистной забой увеличилась в 3,7 раза, в том числе на комплексно-механизированный – в 3,6 раза и достигла 2577т в сутки (см. диаграмму, рис. 1)

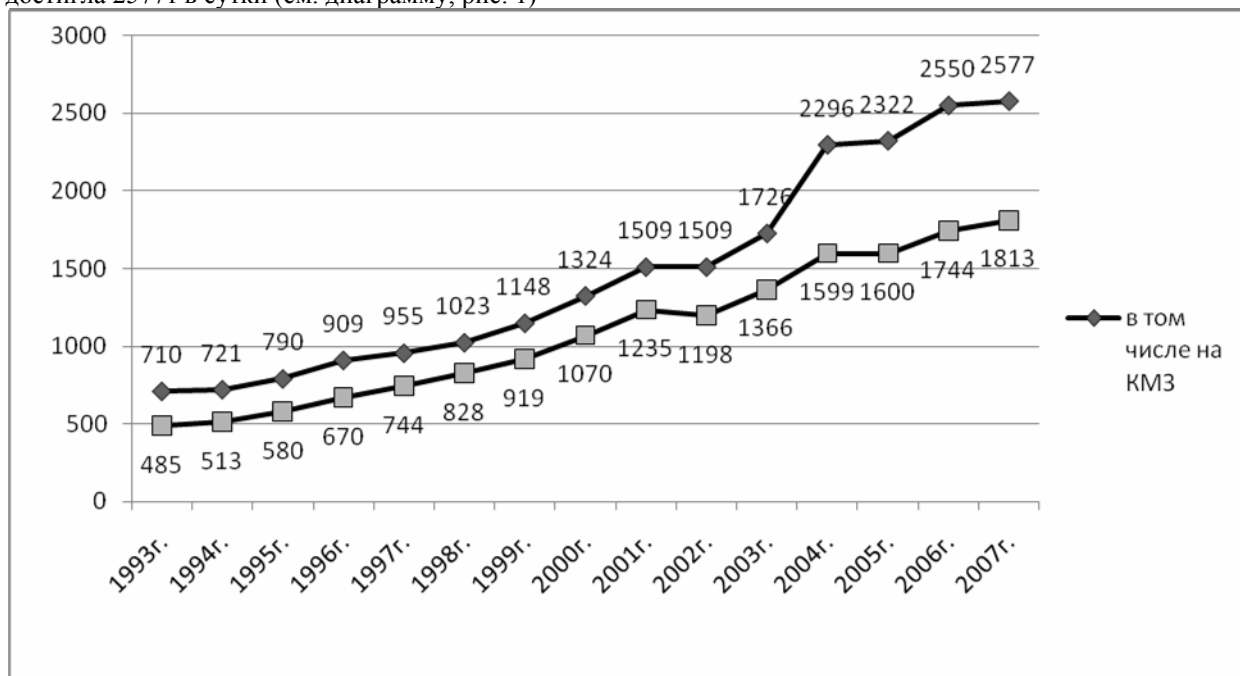


Рис. 1. Диаграмма среднесуточной нагрузки на очистной забой, в том числе на КМЗ

Именно генезис (происхождение) таких производственных единиц, дал последующий импульс формирования современных угольных компаний. Кроме того, «утяжелилась» структура шахт и разрезов, появились крупные компании: ОАО «СУЭК», ОАО «УК Кузбассразрезуголь», ОАО ХК «СДС-Уголь», ОАО «Мечел», ОАО «Южкузбассуголь», ООО «Компания «Востсибуголь», ООО «Холдинг Сибуглемет», ОАО «Распадская», ЗАО «Северсталь-ресурс», ОАО «Русский Уголь». Десятка наиболее крупных компаний по добыче угля, которые обеспечивают 77% всего объема добычи угля в России, по данным [3], приведена в табл. 1

Таблица 1

Десятка наиболее крупных российских компаний по добыче угля

Название компании	2009г. тыс. т	Название компании	2009г. тыс. т
1. ОАО «СУЭК»	87820	ОАО ХК «Якутуголь»	5802
ОАО «СУЭК-Кузбасс»	32006	5.ОАО «Южкузбассуголь»	14079
ОАО «СУЭК-Красноярск»	28067	6. ООО «Компания «Востсибуголь»	12066
ОАО «СУЭК-Хакасия»	8520	Филиал «Разрез Мугунский»	4462
ОАО «Разрез Тунгуйский»	5857	Филиал «Разрез Черемховский»	3150
ОАО «Приморскуголь»	5215	Филиал «Разрез Азейский»	1550
ОАО «Разрез Харанорский»	5444	ООО «Ирбейский разрез»	1487
ОАО «Ургалуголь»	2712	ООО «Ольхон»	858
2. ОАО «УК Кузбассразрезуголь»	46097	ООО «Трайлинг» (разрез «Вереинский»)	559
Филиал «Талдинский угольный разрез»	15480	7. ООО «Холдинг Сибуглемет»	11331
Филиал «Бачатский угольный разрез»	7934	ОАО «Междуречье»	6061
Филиал «Краснобродский угольный разрез»	7415	ОАО «Шахта Полосухинская»	2771
Филиал «Моховский угольный разрез»	7054	ЗАО «Шахта Антоновская»	1024
Филиал «Кедровский угольный разрез»	4643	ОАО «Шахта «Большевик»	988
Филиал «Калтанский угольный разрез»	3571	ОАО «Угольная компания «Южная»	487
3. ОАО ХК «СДС-Уголь»	15828	8. ОАО «Распадская»	10559

«ЗАО «Черниговец»	4554	9. ЗАО «Северсталь-ресурс»	9458
«ЗАО «Салек»	3416	ОАО «Воркутауголь»	6033
ООО «Объединение «Прокопьевскуголь»	2401	ЗАО «Шахта Вогашорская-2»	3425
ОАО «Шахта Южная»	2203	10. ОАО «Русский Уголь»	8659
ОАО «Разрез «Киселевский»	2103	ООО «Амурский уголь»	3099
ООО «Шахта Киселевская»	950	ЗАО «УК Гуковуголь»	2321
ООО «Итатуголь»	201	ООО «УК Разрез Степной»	1970
4. АОО «Мечел»(добыча в России без учета «Мечел Блустоун»	15364	ООО «Русский уголь- Кузбасс»	1269
ОАО «Южный Кузбасс»	9562		

В настоящее время в некоторых компаниях стали внедряться многофункциональные технологии, производящие не только добычу угля, но и добычу метана с последующим получением на его основе энергии. Например, в СУЭК на шахте «им. С. М. Кирова», присутствует технология использования шахтного метана с помощью мобильных ТЭС. Дальнейшее внедрение этой технологии позволяет увеличить экономическую самостоятельность работ по комплексной дегазации на ОАО «СУЭК-Кузбасс». Предприятия данного типа подпадают под определение многофункциональных шахто-систем.

В угольной промышленности России появились шахты, как оснащенные современной техникой, так и по топологии горных выработок, не уступающие мировым лидерам. Следующим шагом в шахтной политике инноваций авторами, просматривается тенденция увеличения многофункциональности шахт в виде создания дополнительных производств: мини-ТЭС, котельных, химпроизводств и т.п.

Эволюцию тенденций проектирования подземной угледобычи, можно проследить по эволюции определений (понятий, дефиниций) типов проектов угольных начиная с 70-х годов по настоящее время, что отражает табл. 2

Таблица 2

Эволюция типов проектов угольных шахт

Типы угольных шахт (аксиоматические определения, авторы)	Современные типы угольных шахт (применяемые в настоящее определения угольных шахт, авторы)	Инновационные типы угольных шахт (генезис новых определений, авторы)
Горнотехнические системы (краткий паспорт специальности 25.00.21)	Симхион (В. М. Еремеев)	Углеэнергетические комплексы (Л. А. Пучков, Б. М. Воробьев, Ю. Ф. Васючков)
Шахта – большая сложная система (А. С. Астахов, А. С. Бурчаков, А. С. Малкин)		
Малая шахта (шахта-модуль) (Вылегжанин В. Н., Мазикин В. П.)		
Средняя (типовая шахта) (Вылегжанин В.Н., Мазикин В.П.)	Супердинамическая система (Ю. Н. Малышев)	Многофункциональные шахто- системы (Харитонов В. Г., Ремезов А. В., Новоселов С. В.)
Крупная шахта (шахта-гигант) (Вылегжанин В. Н., Мазикин В. П.)	Энерготехнологический угольный кластер (ЗАО «МПО «Кузбасс»)	
Угледобывающий комплекс (УДК) (Вылегжанин В. Н., Мазикин В. П.)		

Анализируя табл. 2, авторы приходят к выводу, что эволюция развития угледобычи и теоретических концепций представления шахты с системных позиций, напрямую формирует эволюцию внедрения аналогичных типов проектов угольных предприятий в практику.

Как видно из таблицы 1, значительное число российских производственных единиц угледобычи не дотягивает до барьера в 5 млн.т. в год, когда показатели работы всех десяти наиболее производительных шахт США показывают превышение предела в 5млн. т/год, да и в большинстве случаев – одним очистным забоем. Вопрос повышения эффективности производства подземной угледобычи, авторами видится в наиболее действенном методе – повышении эффективности использования месторождения полезного ископаемого, посредством создания многофункциональных шахт (шахто-систем).

Все выше обозначенное, требует совершенствования теории проектирования угольных предприятий (теории проектирования горнотехнических систем), что очевидно подтверждается генезисом шахто-систем (возникновением), развитием, а в дальнейшем их модификацией и трансформацией. В этом плане требуется развитие как научно-методической базы проектирования шахто-систем, так и выбора стратегий освоения угольных месторождений, для обеспечения высоких технико-экономических показателей при их функционировании.

То, что предлагают авторы, не просто идеи, а развивающиеся практикой идеи – это очевидно. Если заглянуть внимательно в историю развития угледобычи, то обнаружится, что идеи создания многофункциональных шахто-систем «витали в воздухе» еще в советское время. Например, существовали «шахто-системы» (тогда их так еще не определяли), где присутствовали технологии подземной газификации и последующим получением из газа энергии, т.е. по факту две функции, а это уже по определению шахто-система. Техничко-экономические показатели подземной газификации угля представлены в источнике [4, С. 63] табл. 4.

Таблица 4

Показатели по станциям Подземгаз	Ангренская	Южно-Абинская	Шатская
Производственная мощность, млрд. м ³ /год	2,32/0,8	0,4/0,40	0,66/0,2
Удельные капитальные вложения, руб/т у.т.	37,8/73	70,4/70,4	65,7/219,3
Себестоимость, руб/т у.т.	12,7/16	12,6/14	-/33,1
Приведенные затраты, руб/т у.т.	18,3/27	21,3/24,5	-/65,9

Примечание, в числителе проектные показатели, в знаменателе фактические, Источник: Нетрадиционные решения в горной промышленности / под редакцией Ю. А. Чернегова. - М. : Недрa ,1991.

Многолетний опыт промышленной эксплуатации станций Подземгаза (Ангренская-25 лет, Южно-Абинская-30 лет) свидетельствуют об их достаточно высокой эффективности. Имеется также зарубежный опыт использования интегрированных углегазификационных установок, например в рамках Федеральной программы США «Чистые угольные технологии» [4, С. 124], см. табл. 5

Таблица5

Финансовая характеристика проектов ИГКЦ

Название демонстрационного проекта	Стоимость проекта млн. долл. США	Общая энергетическая мощность, МВт (КПД, %)	Удельные затраты, млн. долл./МВт	Среднесуточное потребление угля, т	Удельное суточное потребление угля, т/МВт
«Вэбэш Ривер» Углегазификационный энергетический проект (Wabash River Coal Gasification Repowering Project)	591,927	265*	2,23	2544	9,6
«Эйр-Блоун» ИГКЦ проект (Air-Blown/Integrated Gasification Project)	241,458	120(48%)	2,01	1270	10,5
«Томе Крик» ИГКЦ проект (Tome Creek IGCC Demonstration Project)	219,1	107 55** 52***	2,04	430	4,01
«Пиньон Пайн» ИГКЦ проект (Pinon Pine IGCC Power project)	340,7	86	3,9	800	9,3
«Комбашн Инжиниринг» ИГКЦ проект (Combustion Engineering IGCC Repowering Project)	270,7	65	4,16		

*34 МВт – потребление на собственные нужды

**55МВт обеспечивается углем

***52 МВт на природном газе (дополнительный энергоблок)

Создание сопряженных многопродуктовых углетехнологий, а в итоге угольных шахт, оснащенных данными технологиями, направлено на наиболее полное, рациональное и эффективное использование минерального сырья, что было предопределено возникшими в то, или иное время различными углетехнологиями, которые востребовал рынок и тенденции развития научно-технического прогресса. Так или иначе, на базе технологии добычи угля сформировалось ряд технологических направлений: углеобогащение, углехимические производства, производство различных видов энергии из угля (углеэнергетические комплексы), добыча метана из шахтных пластов (углегазоэнергетические комплексы) с последующей его переработкой и использованием.

Следует учитывать, что интеграция существующих концепций формирования локальных углегазоэнергетических комплексов, т.е. концепция: «уголь-газ-электричество», и практическая ее реализация, а так же развитие технологий углехимии, обогащения, в любом случае замыкаются на концепции шахто-систем – без использования горного массива (месторождения полезного ископаемого) и определенной топологии горных выработок невозможно использование ни одной из вышеупомянутых технологий, что определяет приоритет горно-технических систем при проектировании.

Констатируя, что зарождение идеи (генезис) и создание шахто-систем продиктовано временем, и эволюционно внедрялось, и будет внедряться в практику – потому, что рационально и логично получать с минерального сырья как можно больше эффекта – прибыли и продуктов. Последнее стимулирует бизнес и науку внедрять в производство наиболее эффективные – инновационные технологии. Как видно, уже «рожденные» первоначальные элементы данных шахто-систем: шахта-обогадательная фабрика, шахта-контейнерная ТЭС, шахта-котельная, а следующим шагом будет объединение в одно диспетчерское управление 3-4-х и более угольных технологий, при целенаправленном проектировании. Кстати, такие пилотные проекты существуют, например: Энерготехнологический угольный кластер «Серафимовский» - автор (ЗАО «МПО «Кузбасс»). «Поэтому вопрос, генезиса шахто-систем решился эволюционно, исподволь проблемы совершенствования шахты как большой системы (по А. С. Бурчакову).

Резюмируя, авторы утверждают необходимость создания диверсификационных технологий добычи и переработки углей в различные виды продукции. Очевидно, чтобы создать и внедрить многопродуктовые угольные технологии в практику, необходимо модифицировать и трансформировать значительную часть шахтного фонда отрасли. Основываясь на опыте реструктуризации, при учете тенденций развития российской экономики данная модификация должна происходить эволюционно. Хотя в некоторых случаях, для отдельных угольных предприятий возможна радикальная трансформация технологий на основе инновационных проектов шахто-систем. Ориентируясь на ранее проводимые исследования, установлены закономерности, что за каждый цикл технического перевооружения (модернизация и реконструкция) угольные предприятия увеличивают свой потенциал примерно в $\sqrt{2}$ раза, за период 15-20 лет, но есть исключения, для некоторых шахт этот коэффициент может значительно отличаться (например, $\sqrt{6}$ на ш. «Заречная»).

Эволюцию генезиса и последующего развития шахты старого технологического уровня до уровня многофункциональной шахто-системы наглядно отражает рис. 2.

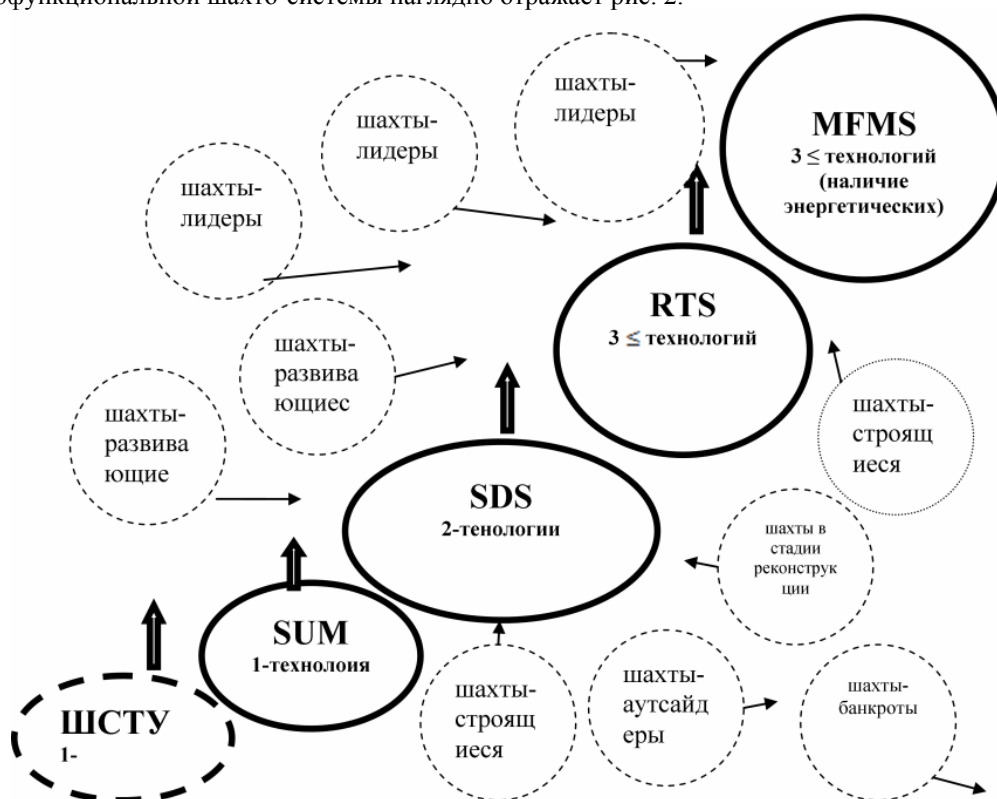


Рис. 2. Эволюция генезиса многофункциональной шахто-системы

В заключении можно отметить, что основными проблемами проектирования многофункциональных шахто-систем является взаимоувязка разнородных технологий в единый технологический комплекс. Возможно, найдутся консервативные мнения по оппонированию концепции проектирования шахто-систем, но они уже существуют, и дают прибыль. Поэтому, реально вопреки субъективизму, следующим логическим шагом должен стать процесс усовершенствования данных производств, начиная с проектирования. Первое, что определит проект как

рациональный, является не противоречие его сути основным постулатам проектирования шахто-систем типа SDS, RTS, MFMS в условиях изменения состояний внутренней и внешней среды.

Используемая литература:

1. А. С. Астахов, Г. Л. Краснянский. Экономика и менеджмент горного производства: учеб. пособ. для вузов: В 2 кн.- М.: Издательство Академии горных наук, 2002. - Кн.1: Основы экономики горного производства. - 367с.
2. Агапов А. Е. Итоги работы Государственного учреждения «ГУРШ» по реализации программы ликвидации особо убыточных шахт и разрезов в 2007 году // Уголь. - №3. - 2008. - С. 3-6
3. Пучков Л. А., Воробьев В. М., Васючков Ю. Ф. Углеэнергетические комплексы будущего. - М.: МГГУ, 2007. – 245 с.
4. Таразанов, И. Г. Аналитический обзор. Итоги угольной промышленности за 2009год // Уголь №3. 2010. С. 34-42

Авторы:

Харитонов Виталий Геннадьевич, к.т.н., генеральный директор ООО УК «Заречная», тел.: 8-905-908-95-82
 Ремезов Анатолий Владимирович – д.т.н., профессор кафедры РМПИ ПС ГОУ КузГТУ, ул. Весенняя, 28, Кемерово, 650000, т. (8 3842) 39-69-09
 Новоселов Сергей Вениаминович – к.э.н., научный сотрудник ООО ИНП «Импульс», тел.: 8-950-273-31-86.

УДК 622.235(088.8): 519.21

ЗАВИСИМОСТЬ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ГОРНЫХ ПОРОД ОТ ИЗМЕНЯЮЩЕГОСЯ ВО ВРЕМЕНИ МЕХАНИЧЕСКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

*Сирота Д. Ю. к.т.н., доцент кафедры теоретической
и геотехнической механики КузГТУ, г.Кемерово*

Получены теоретические зависимости между перепадами механических напряжений в различных режимах нагружения образца (постоянным, периодическим, экспоненциальным) и потенциалом образовавшегося электрического поля в случае дефектов структуры по Френкелю и Schottky.

Theoretical relationship between the differences of mechanical stresses in the various modes of loading pattern (constant, periodic, exponential) and the resulting potential of the electric field in the case of structural defects, according to Frenkel and Schottky.

Ключевые слова: электрическое поле, потенциал, механическое напряжение.

Key words: electric field, potential, mechanical stress

В работах [1,2,3] Б.Г. Тарасов, В.В. Дырдин, В.В. Иванов, Д.В. Алексеев экспериментально, а затем теоретически, установили взаимосвязь между градиентом среднего напряжения в горных породах Земли и напряженностью электрического поля (далее ЭП):

$$\vec{E} = \frac{\Omega}{q} \nabla P, \quad (1)$$

где $\Omega \sim 10^{-29}$ – дилатация кристаллической решетки, м³; $q \sim e \approx 1,602 \cdot 10^{-19}$ – заряд вакансии, Кл; $\vec{E}$ – напряженность ЭП, В/м; ∇P – градиент механических напряжений, Па/м.

Как показал Д.В. Алексеев в работе [3] зависимость (1) получается в результате решения следующей системы дифференциальных уравнений (непрерывности тока, амбиполярной диффузии, Пуассона):

$$\frac{\partial n^{\pm}}{\partial t} = -\text{div } \vec{i}_{\pm}, \quad (2)$$

$$\vec{i}_{\pm} = \pm \frac{qn^{\pm} D^{\pm}}{kT} \vec{E} - D^{\pm} \nabla n^{\pm} - \frac{D^{\pm} n^{\pm} \Omega^{\pm} \nabla P}{kT}, \quad (3)$$

$$\text{div } \vec{E} = \frac{q(n^{+} - n^{-})}{\varepsilon \varepsilon_0}, \quad (4)$$

где q – заряд точечных дефектов (катионных и анионных вакансий), Кл; $n^{\pm}, \Omega^{\pm}$ – соответственно концентрация и дилатация для каждого типа носителей, м-3, м³; $D^{\pm}$ – коэффициент самодиффузии дефектов

положительного и отрицательного знака, м2/с; $\vec{E}$ – напряженность поля проводимости, В/м; P – среднее давление в каждой точке кристалла, Па; $\varepsilon\varepsilon_0$ – диэлектрическая проницаемость кристалла, Ф/м; $\vec{i}^\pm$ – вектор потока точечных дефектов положительного и отрицательного знаков.

Д.В. Алексеев полагал [3], что в уравнениях (2 – 4) напряжение, а следовательно, и его градиент не изменяются во времени. Как показали приведенные автором расчеты, уравнения (2 – 4) позволяют обобщить полученные зависимости на случай зависящего от времени напряжения.

В случае периодически изменяемого напряжения, его величина будет определяться следующим образом: $P = P \cdot \cos(f \cdot t)$, где f – частота изменения давления. Если частота $f = 0$, то периодически изменяемое напряжение переходит в стационарный режим.

В случае экспоненциальной зависимости от времени напряжение изменяется по закону $P = P \cdot \exp(\pm \lambda \cdot t)$, где сомножитель λ , 1/с – характеризует скорость затухания напряжения. Если $\lambda = 0$, то напряжение переходит в стационарный режим. Здесь рассмотрен процесс затухания, аналогично можно рассмотреть процесс нарастания напряжения.

Расчеты показали, что для дефектов структуры по Schottky и Френкелю характер зависимости потенциала и напряженности ЭП от градиента механического напряжения будет существенно различаться. Кроме того, существенное влияние оказывает соотношение между коэффициентами самодиффузии в выражении $\beta = [D^+ - D^-] / [D^+ + D^-]$.

Составим таблицу формул в зависимости от дефектов структуры и соотношений между значениями коэффициентов самодиффузии.

Таблица 1.
Формулы зависимостей потенциала φ от P .

	Периодическое нагружение		Экспоненциальное нагружение	
	$\beta \approx 0$	$\beta = \pm 1$	$\beta \approx 0$	$\beta = \pm 1$
Schottky	нет	(6)	нет	(8)
Френкель	(5)	(7)	(8)	(8)

$$\varphi = -\frac{q}{\varepsilon\varepsilon_0} \times [A_2 \cos(f \cdot t) + f \sin(f \cdot t)] \times \frac{A_3}{f^2 + A_2^2} \times P(x, y, z), \quad (5)$$

$$\varphi = \mp \frac{q}{\varepsilon\varepsilon_0} \times [A_2 \cos(f \cdot t) + f \sin(f \cdot t)] \times \frac{A_3}{A_2^2 - f^2} \times P(x, y, z), \quad (6)$$

$$\varphi = -\frac{q}{\varepsilon\varepsilon_0} \times \frac{A_2 A_3}{A_2^2 - f^2} \times \cos(f \cdot t) \times P(x, y, z), \quad (7)$$

$$\varphi = -\frac{q}{\varepsilon\varepsilon_0} \times \frac{A_3 \cdot \exp(-\lambda \cdot t)}{\lambda - A_2} \times P(x, y, z), \quad (8)$$

где $A_2 = 2/(\rho\varepsilon\varepsilon_0)$, $A_3 = 2\Omega/(\rho q^2)$, ρ – УЭС горной породы, Ом·м.

Выводы.

1) Можно выдвинуть гипотезу, что для дефектов структуры по Schottky в случае равенства коэффициентов самодиффузии величина ЭП не зависит от давления.

2) В случае дефектов по Френкелю зависимость между напряжением и потенциалом присутствует независимо от типа нагружения и соотношения между коэффициентами самодиффузии.

3) В случае экспоненциального нагружения как для дефектов по Schottky, так и для дефектов по Френкелю зависимость между потенциалом ЭП и механическим напряжением определяется по одной и той же формуле независимо от соотношения между коэффициентами самодиффузии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тарасов, Б. Г. Применение метода электрометрии для контроля за состоянием горных выработок в условиях рудника «Октябрьский» [Текст] / Б. Г. Тарасов и др. – В сб. «Вопросы рудничной аэрологии». – Кемерово, изд-во КузПИ, 1976, вып 4. – с. 250 – 257.
 2. Тарасов, Б. Г. Геотектонические процессы и аномалии квазистационарного электрического поля в земной коре [Текст] / Б. Г. Тарасов, В. В. Дырдин, В. В. Иванов // ДАН СССР 1990. Т. 312. №5. – с. 1092 – 1095.
 3. Алексеев, Д. В. Баротоки в твердых телах с диффузионным механизмом проводимости [Текст] / Д. В. Алексеев // ФТТ 1991, т. 33, №10 –с. 1456 - 1476
 4. Тарасов, Б. Г. Физический контроль массивов горных пород [Текст] / Б. Г. Тарасов, В. В. Дырдин, В. В. Иванов, А. Н. Фокин. – М.: Недра, 1994. – 238 с.
 5. Китиль, Ч. Введение в физику твердого тела [Текст] / Ч. Китиль. – М.:Наука, 1978. – 789 с.
- УДК 622.273, 622.333

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОТРАБОТКИ ВЕРХНЕГО СЛОЯ НА МОЩНЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТАХ

***В.А.Федорин, д.т.н, заведующий лабораторией;
В.Я.Шахматов, к.т.н., старший научный сотрудник;
Е.Л.Варфоломеев, младший научный сотрудник; О.В.Кассина, ведущий технолог;
Учреждение Российской Академии Наук Институт угля СО РАН, г. Кемерово***

В Кузбассе не менее 25% всех запасов высококачественного коксующегося угля сосредоточенно в пологих мощных угольных пластах.

Использование средств комплексной механизации на пластах мощностью более 6,0 м всегда сопряжено с дополнительными проблемами, которые не позволяют достигнуть достаточно высоких технико-экономических показателей и часто приводят к значительным безвозвратным потерям угля в недрах.

В связи с этим проблемы связанные с отработкой комплексно-механизированными забоями мощных пластов угля обуславливают актуальность создания и промышленного освоения других более гибких и, вместе с тем, менее затратных технологий добычи угля, использующих унифицированное оборудование, как для подготовительных, так и для очистных работ, основанных на камерных системах разработки.

Одна из таких камерных систем разработки мощного пласта с использованием для выемки верхнего слоя безразгрузочных комплектов передвигжных опор (БКПО) [1,2].

В приводимой схеме для отработки верхнего слоя используется технология с применением безразгрузочного комплекта передвигжных опор (БКПО), которые выступают искусственными целиками (рис.1.) [3].

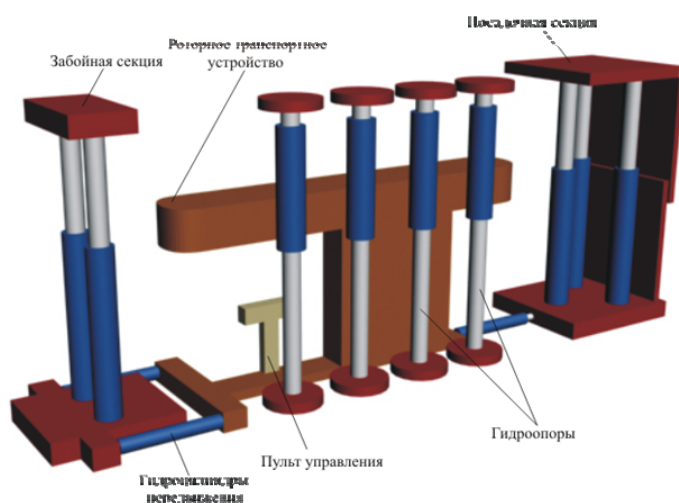
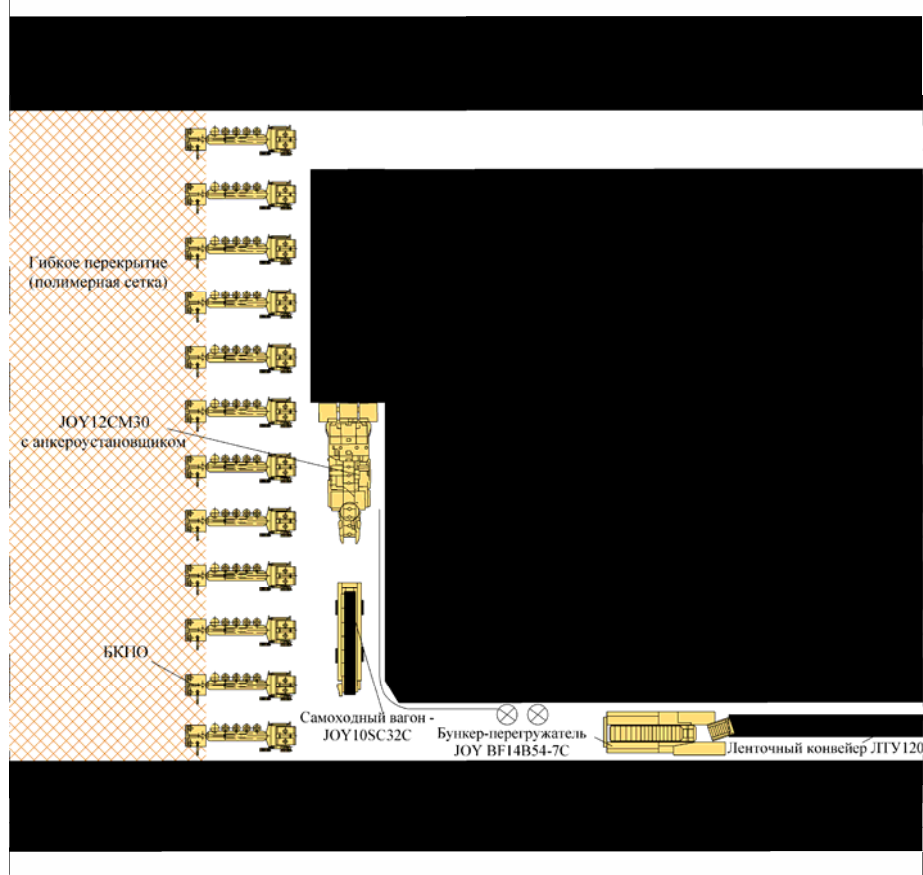


Рисунок 1. Общий вид безразгрузочного комплекта передвигжных опор (БКПО)

Увеличение ширины поддерживаемого призабойного пространства с помощью установки искусственных целиков позволяет перераспределить нагрузку пород кровли с краевой части пласта на целики и при ширине призабойного пространства, равной длине зоны опорного давления, эти нагрузки воспринимаются целиками. В результате при первичных и периодических посадках пород кровли максимум опорного давления формируется над гидрофицированными целиками (БКПО), а интенсивность проявлений горного давления в очистном забое снижается. БКПО включает взаимосвязанную систему механизированной крепи, состоящую из забойной и посадочной секций и роторного транспортного устройства, обеспечивающего перестановку гидроопор при

передвижении. Роторное транспортное устройство служит базой БКПО и для обеспечения устойчивости и управляемости снабжено отдельной передвижной опорной платформой, устанавливаемой на почве очистного забоя. БКПО располагается продольной осью в направлении подвигания очистного забоя. В очистном забое располагается ряд БКПО, устанавливаемых с необходимой частотой, в зависимости от тяжести проявлений горного давления. По мере выемки угля в забое передвигается и распирается забойная секция, к которой гидроцилиндром передвижения подтягивается роторное транспортное устройство, с помощью которого затем перемещают гидроопору в направлении от завальной части к забойной, а затем после распора к роторному устройству подтягивают посадочную секцию с необходимой корректировкой в поперечном, вдоль очистного забоя, направлении с помощью домкрата корректировки от сползания секции при наклоне очистного забоя. БКПО обеспечивает надежное поддержание шириной 8-15 м полосы труднообрушаемой кровли в очистном забое, разгрузку краевой части пласта от опасной концентрации напряжений у забоя и снижает вероятность отжима и выброса угля и газа из забоя, оперативное механизированное передвижение БКПО от завала к забою с корректировкой поперечного сползания, а так же повышает безопасность ведения работ и снижает затраты по добыче.

Технология работ заключается в следующем. Пласт угля технологически делится на подкровельный слой (верхний), подсечной слой (нижний) и межслоевую толщу угля, при этом нижний слой отрабатывается и подготавливается после подкровельного слоя. Технология отработки на верхнем слое мощного полого угольного пласта представлена на рисунке 2.



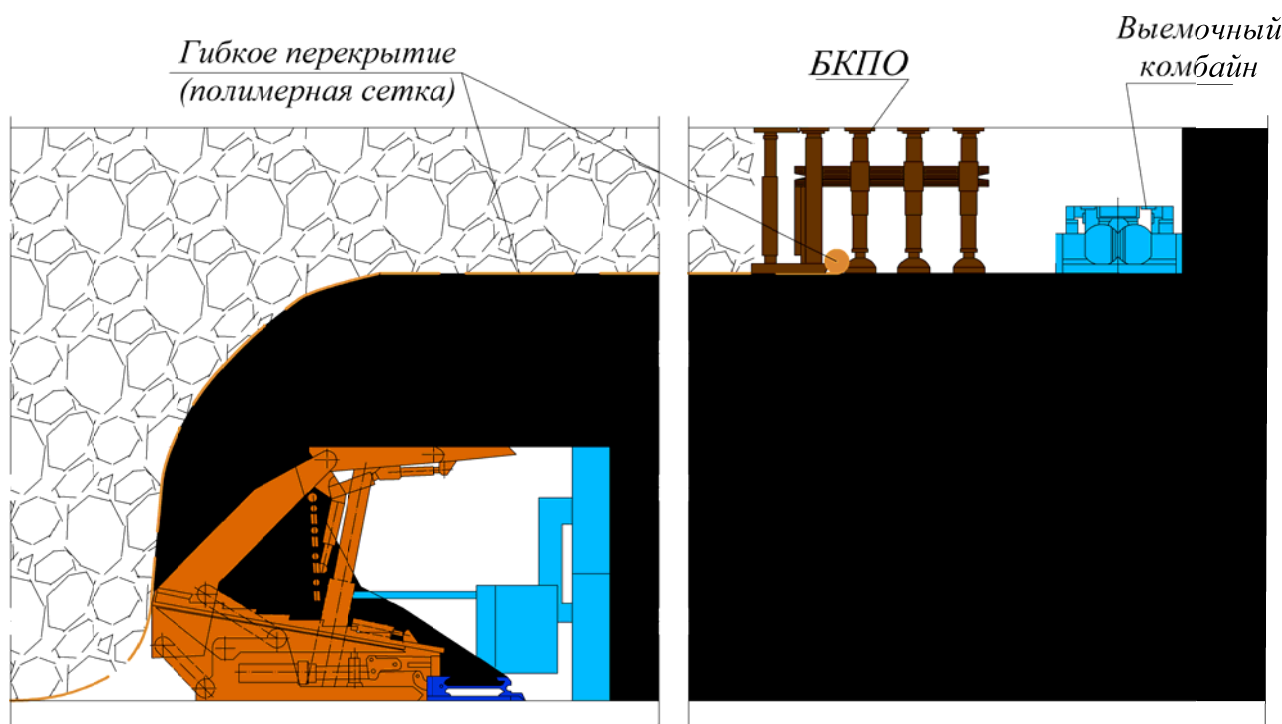


Рисунок 2. Схема отработки запасов с использованием БКПО на верхнем слое и механизированных крепей с выпуском на нижнем слое

Для отработки запасы пласта делятся на выемочные блоки с размерами по падению 90 - 150 м, размер по простиранию определяется по планам горных работ.

Как уже упоминалось, отработка верхнего слоя ведётся с использованием БКПО. Таким образом, подкровельный слой отрабатывается широкозахватным очистным забоем с использованием для выемки угля комбайна непрерывного действия типа JOY в комплекте с самоходным вагоном. Ширина захвата составляет 3,0 - 3,5 м. Заходки закладываются от транспортного штрека под прямым углом. Кровля пласта при выемке заходки дополнительно крепится анкерами. Поддержание кровли пласта со стороны выработанного пространства производится при помощи БКПО. Оптимальная ширина закрепленного пространства согласно исследованиям ВНИМИ составляет 6 - 14 м. После проведения заходки на полную длину выемочный комбайн перегоняется на транспортный штрек вслед за этим производится перемещение опор.

Далее цикл работ по выемке полосы угля повторяется. Следует отметить, что использование для отработки верхнего слоя БКПО позволяет сравнительно просто создавать на нём качественное гибкое перекрытие для выемки нижележащей толщи угля. Гибкое перекрытие, создаваемое в подкровельном слое, способствует повышению уровня безопасности работ и повышению качества добываемого угля.

Гибким перекрытием может служить полимерная сетка фирмы «Dr.Klaus Schulte GmbH» (Германия). По техническим характеристикам сетка применяется для крепления кровли при проходческих и очистных работах, а так же использовалась для демонтажа комплекса на шахте «Южная», компании «СДС-Уголь».

Нижний слой отрабатывается по схеме с выпуском межслоевой пачки угля [4]. Для подготовки подсечного слоя по почве пласта проводятся конвейерный и вентиляционный (нижнего слоя) штреки. Проведение выработок по слоям производится таким образом, чтобы работы в нижнем слое оказались внутри выработок верхнего слоя. Выработки крепятся металлическими анкерами с полимерным закреплением. Принятая система разработки на нижнем слое — длинные столбы по простиранию с выпуском межслоевой толщи. Нарезка выемочных участков производится проходкой вентиляционного и конвейерного штрека с монтажной камерой. Работы по выпуску угля из межслоевой толщи и отработки нижнего слоя осуществляются механизированным комплексом с дозируемым выпуском угля регулируемые по производительности питателями, установленными в секциях крепи.

Основные технико-экономические показатели предлагаемой системы разработки приведены в таблице

Технико-экономические показатели			
№	Наименование показателя	Ед.изм.	Показатель
1	Коэффициент извлечения		0,82 - 0,87
2	Численность трудящихся	чел.	350

3	Среднемесячная добыча	тыс. т	300000
4	Производительность труда трудящегося	т/мес.	800

Как видно из таблицы коэффициент извлечения при данной системе разработки по величине, практически, равен достигаемому при отработке пластов длинными столбами по простиранию. При этом издержки на добычу остаются весьма небольшими.

Краткие выводы:

Вероятность возникновения эндогенных пожаров в описанной технологической схеме в значительной мере снижена по сравнению с другими вариантами систем разработки, тем не менее, она продолжает оставаться достаточно высокой, поэтому при ведении работ должны предусматриваться специальные противопожарные меры.

Результаты расчетов и оценки геомеханического состояния массивов показывают, что при применении широкозахватного комбайна в сочетании с БКПО снижается величина опорного давления на краевую часть угольного пласта.

Применение технологической схемы с использованием широкозахватного комбайна снижает опорное давление на угольный пласт по сравнению с лавами, где используется узкозахватный комбайн, однако это достигается за счет увеличения сопротивления крепи в рабочем пространстве широкозахватной очистной лавы.

Использование технологических схем отработки с применением крепи типа безразгрузочного комплекта передвижных опор (БКПО), как крепи в виде гидроопор высокого постоянного сопротивления позволяет снизить величину и уменьшить зону распространения опорного давления на угольный пласт по сравнению с лавами, использующими механизированные крепи нарастающего сопротивления.

Список использованной литературы:

Ялевский В.Д., Варфоломеев Е.Л. Технология отработки пологих пластов с помощью безразгрузочного комплекта передвижных опор (БКПО) // Уголь. – 2005. - № 2. - С.52 – 53.

Варфоломеев Е.Л., Гречишкин П.В. Длиннокамерная технология отработки пологих угольных пластов // Горный информационно-аналитический бюллетень. - М.: МГТУ. - 2008. - №7. - С. 286-290.

Федорин В.А. Технология отработки мощных пологих угольных пластов с использованием безразгрузочного комплекта передвижных опор (БКПО) и механизированных крепей с выпуском /Шахматов В.Я., Варфоломеев Е.Л., Кассина О.В./ Научные технологии разработки и использование минеральных ресурсов: сб. науч. статей / Сиб. Гос. индустр. Ун-т; под общей ред. В.Н. Фрянова. – Новокузнецк, 2011. – 32-36 с.

Клишин В.И., Разработка мощных пластов механизированными крепями с регулируемым выпуском угля / В.И. Клишин, Ю.С. Фокин, Д.И. Кокоулин, Б. Кубанычбек уулу. – Новосибирск: Наука, 2007. – 135 с.

Аннотация

Рассматривается технология слоевой выемки мощного угольного пласта. Верхний слой отрабатывается с использованием безразгрузочного комплекта передвижных опор, нижний - с выпуском угля.

Abstract

The parameters of shortwall mining system for slice mining in high-seam applications are under consideration in this article. The upper slice is mine out using of permanent resistant moving support set, the bottom - using longwall top coal caving.

УДК 622.232.83.054

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ФРОНТА ПОГРУЗКИ ПРИ РАБОТЕ ПРОХОДЧЕСКИХ КОМБАЙНОВ ИЗБИРАТЕЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ

*Хорешок А.А., д.т.н., проф., Маметьев Л.Е., д.т.н., проф., Борисов А.Ю.,
ст. преподаватель., Кузгту им. Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово*

Аннотация

Рассмотрены результаты модернизации конструкций радиальных коронок для стреловидных исполнительных органов проходческих комбайнов, обеспечивающих расширение фронта погрузки до прибортового пространства горной выработки и совмещение процессов разрушения, дробления и погрузки с использованием породоразрушающего дискового инструмента.

The summary

Results of modernization of designs radial-cutting heads for boom-type an effectors the road headings providing expansion of front of loading up to edge near mine of interspace and overlapping of processes of destruction, shattering and loading with use the disk cutter are considered.

Горные выработки угольной шахты образуют до 60 % стоимости основных фондов предприятия, что существенно влияет на его экономические показатели. Затраты на проведение выработок зависят, с одной стороны, от горно-технологических условий – крепости пород, угла наклона, площади сечения, с другой - применяемых технологии и средств механизации

Причины низких технико-экономических показателей горно-проходческих работ заключается в высокой трудоемкости вспомогательных работ, особенно при выполнении погрузочно-транспортных операций. Анализ процесса погрузки и транспортирования крепких крупнокусковых пород с помощью существующих средств выявил их недостаточную эффективность из-за конструктивных и технологических недостатков.

Наиболее трудоемкая часть выгрузки штабеля – это объем, расположенный непосредственно у груди забоя перед погрузочным модулем проходческого комбайна. Необходимо использовать такие погрузочные устройства и рабочие органы стреловидных исполнительных органов, которые бы минимизировали объемы непогруженного штабеля по всей ширине призабойного пространства [1].

В процессе погрузки проходческие комбайны избирательного действия представляют собой взаимосвязанную систему “машина – погрузочный орган – штабель”, которая формирует грузопоток разрушенного забойного массива горных пород в определенном направлении. Ходовым механизмом осуществляются подача и внедрения приемной плиты стола питателя погрузочного устройства проходческого комбайна в штабель разрушенной горной массы. В процессе захвата погрузочным органом непрерывного действия и передачи материала на конвейер происходит отодвигание части штабеля, находящегося перед рабочей кромкой плиты. Процесс погрузки материала из штабеля - динамический. В каждый момент времени меняются положение машины относительно штабеля, глубина внедрения, высота активного объема материала и, следовательно, производительность рабочего органа и нагрузки в приводе скребкового конвейера проходческого комбайна [2].

Одним из решений сложившейся ситуации, помимо экономического, является унификация проходческих машин, их основных сборочных единиц, узлов и деталей на основе использования принципа их модульной компоновки из узлов серийно выпускаемой заводом-изготовителем техники. Такой подход позволяет снизить номенклатуру выпуска сборочных узлов машин, повысить их взаимозаменяемость, тем самым снизить себестоимость изготовления при увеличении объема выпуска типовых запасных частей.

В области совершенствования горно-проходческой техники, в частности проходческих комбайнов избирательного действия, наметились тенденции по созданию семейства машин серии КП для работы в выработках с вмещающими породами прочностью вмещающих пород на одноосное сжатие свыше 80-100 МПа. Опыт эксплуатации комбайнов КП21 в ЗАО “УК “Гуков-уголь” подтвердил их высокую эффективность при разрушении и погрузке крепких пород. Кроме того, применение заводом-изготовителем гидравлических приводов нагребавшей части комбайна КП21 и ходовой тележки комбайна 1КПКС значительно повысило их надежность по отношению к электромеханическому приводу. Применение гидропривода на погрузочном органе позволяет разместить его под небольшими углами наклона к почве выработки, что обеспечит необходимую глубину внедрения в крупнокусковую горную массу [3].

Исследования нагрузок, возникающих в приводе погрузочного устройства с нагребавшими лапами, выполнялись докторами технических наук, профессорами Б.А. Веркаловым, С.С. Музгиным, Г.М. Водяником, Г.Ш. Хазановичем, П.Д. Кравченко, кандидатами технических наук Е.А. Крисаченко, Ю.А. Васильевым, В.А. Турушиным, А.И. Ровенком, СМ. Лузановым, Л.Ю. Куперманом, Ю.Г. Кунтуковым, Р.В. Вагановым, В.К. Козло, Ю.А. Дмитраком и др.

Несмотря на наличие многих научных школ и широкого спектра рассматриваемых проблем, многие авторы указывают на отсутствие исследований, посвященных изучению влияния гранулометрического состава и формы частиц штабеля на процессы взаимодействия рабочего органа с погружаемым материалом. Это не позволяет использовать данные экспериментальных исследований для разработки общей методики определения производительности, нагрузок и мощности двигателей рабочих органов погрузочных машин с нагребавшими лапами для широкого спектра конкретных условий эксплуатации [4].

Поскольку процессы разрушения могут увеличить поступление объемов пород на приемную плиту погрузочного устройства в 1,5-2,5 раза по сравнению с базовым проходческим комбайном 1ГПКС, то процесс погрузки будет главным лимитирующим фактором в достижении требуемых темпов в проведении выработок для поддержания фронта очистных работ. Это требует приоритетного решения проблем расширения, как фронта погрузки так и погрузочно-транспортирующей способности основных звеньев рабочих органов проходческих комбайнов избирательного действия в виде радиально-осевых коронок, особенно около прибортовых рабочих пространствах. В настоящее время за пределами приемных столов погрузочных устройств комбайнов образуются практически “мертвые” зоны формирования штабелей продуктов разрушения на почвах выработок (рис. 1) [5, 6].

Дозагрузка продуктов разрушения в этих зонах заставляет проходческий комбайн работать в режиме обычной челноковой погрузочной машины по коридорам этих мертвых прибортовых зон штабеля продуктов разрушения (рис. 2).

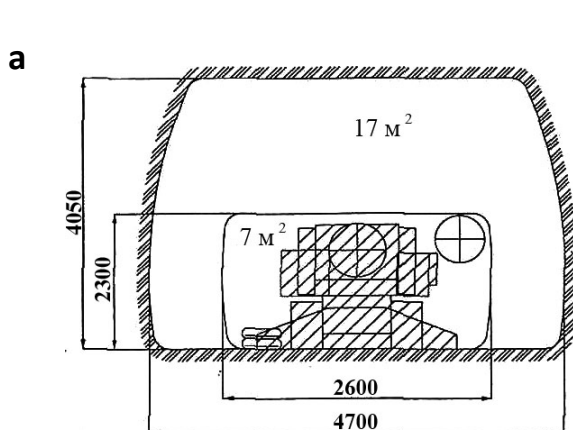


Рис. 1. 1ГПКС

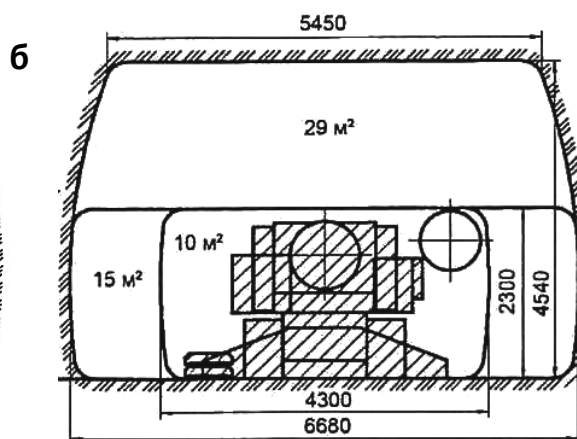


Рис. 2. КП-21

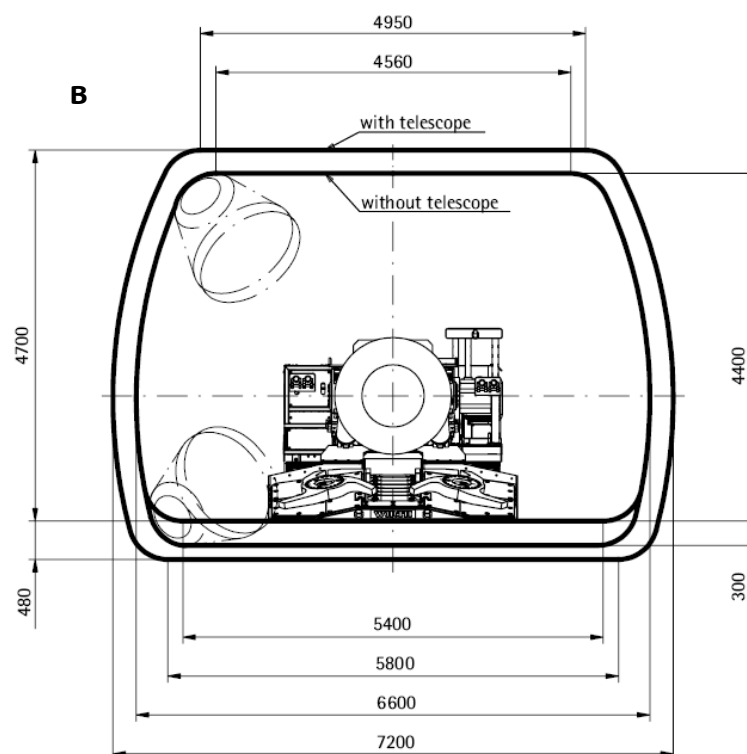


Рис. 1. Примеры форм поперечных сечений проводимых горных выработок проходческими комбайнами:

а – 1ГПКС и б – КП-21 ОАО “Копейский машиностроительный завод; в – Wirth T1.24 (Германия)

На кафедре горных машин и комплексов КузГТУ разработана конструкция исполнительного органа проходческого комбайна избирательного действия для проведения горных выработок по углю и смешанному забою с крепкими и абразивными породными прослойками и отдельными включениями. Конструкция исполнительного органа позволяет расширить область применения проходческого комбайна на разрушение структурно-неоднородных сред забойных массивов горных пород, включая негабариты, причиной появления которых являются процессы отжима и внезапных выбросов угля, породы, газа в призабойных пространствах подземных горных выработок.

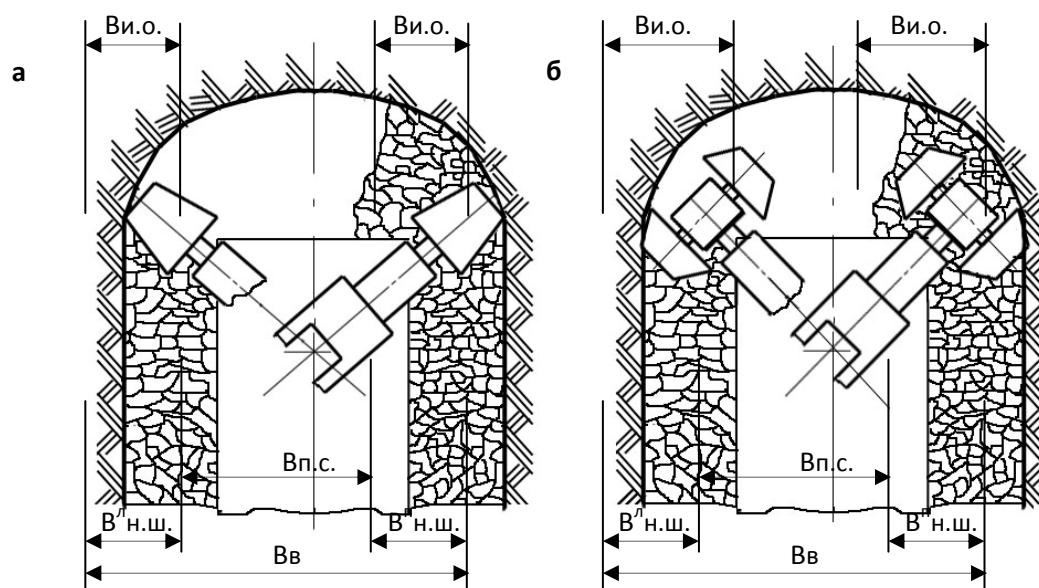


Рис. 2. Варианты формирования прибортовых полос из штабеля непогруженных продуктов разрушения типовыми исполнительными органами проходческих комбайнов избирательного действия: а – при эксплуатации радиальных коронок; б - при эксплуатации аксиальных коронок; Ви.о. – прибортовая рабочая ширина исполнительного органа; В'н.ш. – ширина непогруженного штабеля продуктов разрушения у левого борта; Впн.ш. – ширина непогруженного штабеля продуктов разрушения у правого борта; Вв – проектная ширина выработки; Вп.с. – ширина приемного стола питателя погрузочного устройства

Основной научно-технический результат предлагаемого исполнительного органа заключается в повышении эффективности проведения горных выработок путем совмещения процессов разрушения, дробления и погрузки в исполнительном органе проходческого комбайна. Это достигается тем, что, в исполнительном органе проходческого комбайна, включающем стрелу, раздаточный редуктор и две разрушающе-погрузочные коронки, оси которых параллельны продольной оси стрелы, направление их вращения взаимно противоположно, а корпус каждой из разрушающе-погрузочных коронок выполнен в виде усеченной конической поверхности, объединяющей меньшее основание со стороны забоя с большим основанием со стороны раздаточного редуктора, а на наружных поверхностях корпусов разрушающе-погрузочных коронок установлены с возможностью перекрытия траекторий движения и реверсирования направлений вращения трехгранные призмы с дисковыми инструментами.

Изменяя направления вращения спаренных кинематически разрушающе-погрузочных коронок исполнительного органа, можно регулировать ширину фронта погрузки от минимальной до максимальной величины, обеспечивая выгрузку продуктов разрушения из прибортового пространства.

Предлагаемая конструкция двухкорончатого исполнительного органа может быть рекомендована в виде сменного конструктивного модуля к широкому конструктивному спектру отечественных и зарубежных проходческих комбайнов избирательного действия.

Список литературы

1. Хазанович, Г. Ш. Системы горно-проходческих машин на основе клиновых гидрофицированных исполнительных органов / Г.Ш. Хазанович, Ю.М. Ляшенко, Е.В. Никитин, А.С. Корниченко, Э.Ю. Воронова // Горное оборудование и электромеханика. – 2007. – № 10. – С. 21–29.
2. Хазанович, Г. Ш. Метод расчета основных параметров погрузочной машины с нагребными лапами с учетом физико-механических свойств погружаемого материала / Г.Ш. Хазанович, Е.А. Ревякина // Горное оборудование и электромеханика. – 2007. – № 11. – С. 32–36.
3. Носенко, А.С. Сервисное обеспечение эксплуатации и унификация горно-проходческих машин / А.С. Носенко, В.Г. Хазанович, В.В. Носенко, С.Д. Сазонов // Горное оборудование и электромеханика. – 2009. – № 4. – С. 9–12.
4. Хазанович, Г.Ш. Метод аналитического определения величины отпора штабеля при перемещении горной массы в плоскости плиты питателя погрузочной машины типа ПНБ / Г.Ш. Хазанович, Е.А. Ревякина // Горное оборудование и электромеханика. – 2009. – № 8. – С. 7–10.
5. Калашников, С.А. Основные направления совершенствования горно-проходческой техники / С.А. Калашников, О.А. Малкин, А.Н. Левченко // Горное оборудование и электромеханика. – 2008. – № 8. – С. 27–33.
6. www. wirth-europe.com

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ АНКЕР-ИНЪЕКЦИОННОЙ СИСТЕМЫ УПРОЧНЕНИЯ ТРЕЩИНОВАТЫХ ГОРНЫХ ПОРОД

*Хмяляйнен В.А. д.т.н., профессор, зав. кафедрой
теоретической и геотехнической механики КузГТУ*

*Майоров А.Е. к.т.н., зав. лабораторией
проблем энергосбережения КемНЦ СО РАН, г. Кемерово*

Предложена технология консолидирующей, интегрированной в массив системы крепления горных выработок на основе цементационного упрочнения нарушенных пород и напряженного армирования анкерной крепью.

The article represents new technologies of consolidating, integrated into the rock mass roadway support systems on the basis of grout hardening of faulted rocks and tension reinforcement by roof bolting.

Крепление горных выработок в сложных горно-геологических и горно-технических условиях целесообразно реализовать в виде системы, эффективно влияющей на напряженно-деформированное состояние, физико-механические характеристики и структуру дезинтегрированной приконтурной зоны, которая эффективно воспринимает основные действующие нагрузки при сохранении устойчивости контура. При этом важно максимально возможное повышение плотности и упрочнение нарушенных зон, прочностных характеристик поверхностных слоев блоков, что приводит к общему повышению сдвиговой прочности приконтурной зоны. Подобное комплексное воздействие возможно при применении интегрированных в массив систем крепления выработок, обладающих эффектом консолидации нарушенных горных пород. Указанную систему консолидирующего крепления горных выработок (СКК) возможно характеризовать как совокупность взаимовлияющих элементов «крепь», «упрочненная приконтурная зона», «массив».

КемНЦ СО РАН совместно с кафедрой теоретической и геотехнической механики КузГТУ разработаны новые технологии крепления горных выработок, основанные на цементационном упрочнении трещиноватой приконтурной зоны в сочетании с анкерами, закрепляемыми в скважинах сыпучим материалом – кварцевым песком. При этом, скважины анкерного крепления используются как для нагнетания цементного раствора, так и для дренажных фильтрационных сбросов «излишней» жидкой фазы (не участвует в процессе гидратации цемента и необходима только для транспорта частиц) из системы трещин через песок при воздействии давления нагнетания и последующего механического сжатия (поджатия) анкерами расслоившейся и нарушенной структуры горных пород. Анкеры в данных технологиях также выполняют роль временной крепи, ограничивая развитие под действием давления нагнетания цементного раствора системы трещин [1].

Для реализации предлагается три принципиальных варианта технологических решений. Первый – организация сброса «излишнего» объема жидкой фазы раствора из системы инъецируемых трещин через дренажные скважины. Второй – виброцементация, при которой колебания раствору и окружающим породам передаются одновременно с процессом нагнетания. Третий – цементация под вакуумом, при которой одновременно с процессом нагнетания проводится откачка воздуха из соседних скважин. При обоснованной необходимости возможно различное сочетание указанных способов.

Развивая известные исследования [2, 3], геомеханику СКК, использующей несущую способность массива и основанной на инъекционном упрочнении пород в сочетании с анкерным креплением, наглядно иллюстрирует график на рис. 1. Характерной особенностью СКК является то, что режим работы и принцип взаимодействия составляющих элементов системы изменяется по мере развития деформационных процессов в массиве горных пород и изменения геомеханической ситуации. При этом весь срок существования горной выработки можно разбить на четыре этапа.

I этап соответствует периоду с момента проведения выработки до возведения конструкции крепи (облегченной временной, анкерной).

II этап соответствует поддержанию выработки конструкцией крепи до проведения мероприятий по инъекционному упрочнению.

III этап соответствует работе СКК в процессе схватывания и твердения упрочняющего состава. В случае применения химических растворов с малыми сроками схватывания и твердения этот этап может отсутствовать, в то же время при применении цементных растворов он играет существенную роль, поскольку реологические процессы в твердеющем цементном камне могут существенным образом повлиять на характеристику упрочненной оболочки.

IV этап соответствует работе СКК после набора прочности упрочняющего состава и полного взаимодействия всех элементов системы.

Исходя из рис. 1 геомеханические параметры конструкции временной крепи, поддерживающей выработку до проведения упрочнения, определяются точкой С пересечения графика ее силовой характеристики с графиком Р

$= f_l(U_{t1})$ – зависимости отпора на контуре выработки от его смещения на период времени t_1 . После достижения необходимых расчетных смещений (U_0+U_k) контура производят нагнетание цементного раствора в нарушенный приконтурный массив. Оболочка из упрочненных пород должна рассчитываться на параметры, определяемые координатами точек С и Е. Точка Е образуется пересечением графика силовой характеристики упрочненной оболочки и графиком $P_y = f(U_\infty)$ зависимости смещений точек массива на границе зоны упрочнения от радиального отпора на конечный период существования выработки. Зону CDEF можно обозначить как область эффективной консолидации нарушенного массива.

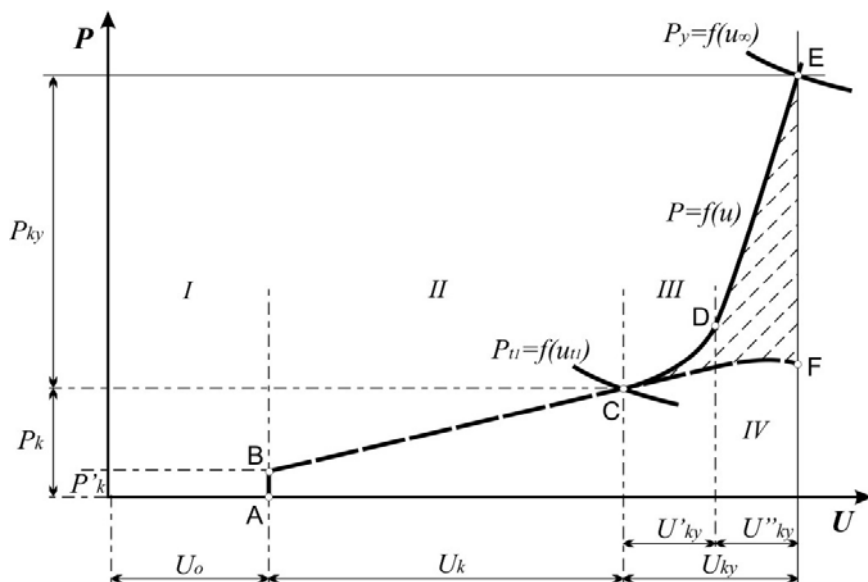


Рис. 1. Качественная характеристика («напряжения – деформация») взаимодействия СКК

U_0 – смещения контура до возведения конструкции временной крепи; U_k – смещения крепи (контура) до выполнения упрочнения; U_{ky} – полные смещения контура СКК; U'_{ky} – смещения контура за период твердения цементного камня; U''_{ky} – смещения контура после окончания твердения цементного камня; P_k – отпор, создаваемый временной (анкерной) крепью; P'_k – величина предварительного натяжения анкерной крепи; P_{ky} – отпор, создаваемый СКК.

В соответствии с [3, 4] возможность применения инъекционного упрочнения пород определяется наличием вокруг выработок зоны разрушенных (трещиноватых) пород, в которые можно нагнетать упрочняющие цементные растворы. В зависимости от условий возникновения и развития приконтурных трещин можно выделить следующие случаи применения инъекционного упрочнения:

- упрочнение пород при проведении выработок, вокруг которых образуется трещиноватая зона неупругих деформаций;
- предварительное или последующее упрочнение пород при проведении выработок в зонах геологических нарушений;
- повышение устойчивости эксплуатируемых выработок, крепь которых деформируется из-за продолжающихся смещений пород, вызванных их разрушением.

С точки зрения эффективности и практического применения интерес представляет использование инъекционного упрочнения в качестве основного средства обеспечения устойчивости вновь проводимых выработок в условиях развития вокруг них зоны неупругих деформаций. При этом основными геомеханическими параметрами СКК являются несущая способность $q = P_k$ и податливость U_k временной крепи, которые обеспечивают поддержание выработки до образования оболочки из упрочненных пород; время t отставания инъекционных работ от проходческих; глубина упрочнения b ; требуемая прочность породного массива после упрочнения $R_y = \sigma_y$, которая определяет в свою очередь требования к прочностным, адгезионным и когезионным характеристикам инъекционных растворов [3].

Для определения указанных параметров предлагается использовать известную зависимость, связывающую основные параметры взаимодействия системы «упрочненная приконтурная зона» – «массив» при условии $0,3 \leq \gamma H/R \leq 0,8$ [2]

$$\frac{R_y}{E_y} = \varphi \cdot \frac{Z}{Z_y} \cdot \frac{R}{E} \cdot \frac{3 \cdot \left(2\gamma \frac{H}{R} + 1 \right) \cdot \left(0,5 + 0,66 \frac{E}{M} \right) \cdot r_p^2}{(1 + \lambda) \cdot (1 + \mu_y) \cdot [r_p^2 (1 - 2\mu_y) + 1]},$$

где R и R_y – прочность породного массива и упрочненных пород; E и E_y – модуль упругости породного массива и упрочненных пород; Z и Z_y – реологические параметры породного массива и упрочненных пород; H – глубина, на которой находится рассматриваемая точка массива; γ – средневзвешенный удельный вес пород; M – модуль спада; $gr = l/a$ – безразмерный радиус зоны разрушения; l – радиус контура устойчивой части массива; a – радиус горной выработки; μ – коэффициент Пуассона упрочненных пород; $\lambda = \sin \rho / (1 - \sin \rho)$; ρ – угол внутреннего трения пород.

При этом требуемая прочность заинъектированных пород прямо зависит от времени отставания тампонажных работ от проходческих, которое учитывается коэффициентом ϕ' , показывающим, какая часть от конечных смещений массива воспринимается упрочненной оболочкой. Установлено, что оптимальное отставание тампонажных работ от проходческих составляет в среднем 20 – 30 сут.

До создания оболочки из упрочненных пород выработка должна поддерживаться временной крепью, несущую способность которой можно определить из условия предотвращения возможного обрушения пород зоны интенсивной трещиноватости. Глубина упрочнения также определяется границами области интенсивности трещиноватости, которая сформировалась вокруг выработки к моменту проведения инъекционных работ.

Для определения требований к прочностным характеристикам цементируемой приконтурной зоны предлагается использовать коэффициент упрочнения пород $\zeta = R_y/R$, показывающий, на сколько восстанавливается прочность разрушенных и заинъектированных пород по отношению к первоначальной прочности массива [2].

После определения геомеханических параметров СКК целесообразно провести дополнительный перерасчет и проверку основных параметров анкерного (временного) крепления на основании положений действующих нормативных документов.

Таким образом, с учетом представленного подхода возможен расчет и выбор основных геомеханических параметров СКК, перспективность которых очевидна вследствие их высокой надежности и низкой материалоемкости, что особенно важно при проведении капитальных выработок и выработок с длительным сроком службы, проведении горных выработок в сложных горно-геологических и горно-технических условиях.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Майоров, А.Е. Консолидирующее крепление горных выработок / А.Е. Майоров, В.А. Хямяляйнен; науч. ред. В.А. Хямяляйнен; Сиб. отд-ние РАН, КемНЦ. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009. – 264 с.
2. Заславский, Ю.З. Новые виды крепи горных выработок / Ю.З. Заславский, Е.Б. Дружко. – М.: Недра, 1989. – 256 с.
3. Заславский, Ю.З. Инъекционное упрочнение горных пород / Ю.З. Заславский, Е.А. Лопухин, Е.Б. Дружко, И.В. Качан. – М.: Недра, 1984. – 176 с.
4. Хямяляйнен, В.А. Формирование цементационных завес вокруг капитальных горных выработок / В.А. Хямяляйнен, Ю.В. Бурков, П.С. Сыркин. – М.: Недра, 1994. – 400 с.

**СЕКЦИЯ III:
ОБЪЕДИНЕННЫЕ СЕКЦИИ «ОБОГАЩЕНИЕ И ПЕРЕРАБОТКА УГЛЯ,
НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ ГЛУБОКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ УГЛЯ,
ЭКОЛОГИЯ И НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ»**

УДК 662.65

**УТИЛИЗАЦИЯ ВТОРИЧНЫХ РЕСУРСОВ В ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ
ВОДОУГОЛЬНЫХ ТОПЛИВНЫХ СУСПЕНЗИЙ**

М.П. Баранова, к.т.н., доцент

Сибирский федеральный университет, Политехнический институт, г. Красноярск

Технологии производства, транспортировки и прямого сжигания водоугольных суспензий (ВУС) без обезвоживания и сушки угля – актуальное и современное направление развития теплоэнергетики. Технология получения ВУС входит в «Перечень технологий сокращения выбросов парниковых газов» Межправительственной группы экспертов по изменению климата (IPCC). Возможность использования в процессе получения ВУС некондиционных углей и отходов угледобычи, углепереработки и других производств позволяет решать вопросы ресурсосбережения.[1]. Горючей основой суспензионного топлива могут быть неэнергетические бурые угли, твердые остаточные продукты переработки угля и нефти и многое другое. Эти отходы представляют значительную экологическую опасность, а их хранение требует значительных затрат.

В технологии получения текучих высококонцентрированных водоугольных суспензий особое место отводится применению пластифицирующих добавок. К перспективным направлениям подбора и синтеза добавок можно отнести переработку с целью получения пластификаторов отходов целлюлозно-бумажной промышленности. В качестве исходного сырья для получения добавки для ВУС использовали технические лигносульфонаты (ТЛС) Красноярского ЦБК с содержанием сухого остатка 45–55%, который содержит 88–93% органической части и 7–12 % зольного остатка. Лигносульфонаты – это водорастворимые полимерные производные лигнина с широким диапазоном полидисперсности. Их молекулярная масса меняется от $1 \cdot 10^3$ до $6 \cdot 10^3$ а.е.м. Полимерные лигносульфонаты в ТЛС красноярских щелоков составляют 50% от сухого остатка органической части, причем 20% имеют молекулярную массу от $20 \cdot 10^3$ до $60 \cdot 10^3$ а.е.м, которая обладает наибольшим воздействием на реологические характеристики ВУС. Методом термоокислительной полимеризации с использованием органических и неорганических модификаторов получен ряд модифицированных лигносульфонатов (ЛСМ).

Полученные добавки применяли как на стадии мокрого помола совместно с водной фазой, так и на стадии гомогенизации в предварительно полученную суспензию. Установлено, что введение добавки в ВУС на стадии гомогенизации, как правило, снижает значение структурной вязкости, в то время как введение добавки на стадии мокрого помола приводит к увеличению структурной вязкости. По всей видимости, в процессе механохимической деструкции происходит разрушение полимерной структуры добавки и ее эффективность снижается. Определено, что действие добавок зависит от зольности угля, количества гуминовых кислот, характеристик несущей среды.

Для модификации ВУС на основе каменных углей применяются различные углещелочные реагенты (УЩР), получаемые растворением гуминовых кислот подходящих углей в водном растворе щелочи. Активным веществом в УЩР, обладающим пластифицирующим действием являются те же гуматы натрия. Установлена возможность использования в качестве аналога УЩР окисленных бурых углей с высоким содержанием гуминовых кислот (до 60%) совместно со щелочью. При такой схеме гуматы натрия производятся непосредственно в мельничном аппарате в процессе приготовления ВУС. Это позволяет упростить процесс получения и дозирования добавок, т.е. исключить операции приготовления, доставки и хранения. При этом исходные компоненты подаются совместно на стадию помола в мельничный аппарат. Эффективность применения окисленного угля и щелочи проверяли на ВУС из кузнецкого каменного угля марки Д. Процентное содержание щелочи оставалось тем же самым, что и при раздельном получении УЩР, т.е. 16–20% на сухую массу окисленного бурого угля или 0,1% на массу каменного угля. Доля окисленного бурого угля составила 0,5% на сухую массу угля. Результаты показали, что использование окисленного бурого угля совместно со щелочью снижало вязкость каменноугольных ВУС с 1,1–1,3 Па·с до 0,64–0,77 Па·с, т.е. практически в 2 раза. Исходная зольность углей не оказывала значительного влияния на снижение вязкости, что может позволить использовать добавку окисленного угля совместно со щелочью для низкозольных каменных углей.

Одной из задач работы было определение возможных источников технической воды для приготовления водоугольных суспензий и исследование влияния состава этой воды на реологические свойства суспензий. Исследованы дренажные воды, бытовые и промышленные стоки (разрез «Березовский», Березовская ГРЭС). Химический анализ технических вод показывает, что они, в сравнении с водопроводной имеют повышенную жесткость и высокое содержание солей натрия, кальция, магния и хлоридов. Общее солесодержание в технических

водах выше в 4-5 раз, чем в водопроводной воде. Сточные воды в сравнении с дренажными характеризуются высоким содержанием анионов хлора (в 15 раз), а по общему содержанию солей различаются незначительно (в 1,2 раза). Высокое содержание хлоридов в очищенных стоках обусловлено их обработкой хлорирующими препаратами с целью дезинфекции. На рисунке 1 показано влияние используемой воды на структурную вязкость ВУС с разным содержанием твердой фазы. Для сравнения применялась дистиллированная вода, которая характеризуется отсутствием солей. Реология сравнивалась при одинаковых условиях приготовления суспензий.

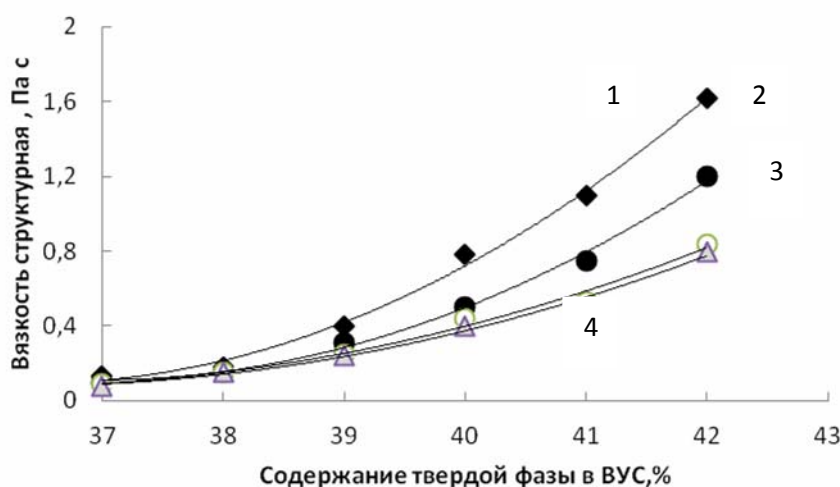


Рисунок 1. Зависимость структурной вязкости ВУС от содержания твердой фазы при использовании технической воды: 1 – сточная; 2 – дренажная; 3 – водопроводная; 4 – дистиллированная.

Показано, что ВУС на основе технической воды, по сравнению с водопроводной и дистиллированной, характеризуется повышенными значениями вязкостных параметров. Причем, эти различия наиболее существенны в области высоких содержаний твердой фазы, при высокой плотности упаковки и сильных межмолекулярных взаимодействиях между частицами угля. Реологические характеристики суспензий, приготовленных на сточной воде выше, чем у суспензий с использованием дренажной воды. Очевидно, высокое содержание именно ионов хлора в сточной воде отрицательно влияет на текучесть ВУС. Дистиллированная вода по оказываемому влиянию на реологические свойства суспензий практически равнозначна водопроводной. Использование в качестве пластификаторов лигносульфонатных и щелочных добавок улучшает реологические характеристики ВУС. Однако характер этой зависимости сохраняется таким же, что и без применения добавок. Сравнительная оценка вязкотекучих характеристик суспензий показала, что эффективность снижения динамического напряжения сдвига и структурной вязкости с добавками щелочи и модифицированными лигносульфонатами (КБП) от вида воды располагается в следующем ряду: водопроводная > дренажная > сточная. Эффективность действия добавок снижается с увеличением количества содержащихся в воде солей. Для получения той же степени снижения вязкости ВУС с техническими водами в сравнении с водопроводной необходимо повысить расход добавки в 1,5 раза.

В ходе работы исследована так же возможность использования в качестве жидкой фазы сточных вод после гидрозолоудаления. Эксперименты по приготовлению ВУС проводились с использованием одной сточной воды и совместно с пластификатором НФУ(аналог С-3). Техническая вода имела следующие характеристики: показатель pH – 12,1, жесткость общая – 17,5 мг-экв/л, жесткость кальциевая – 15 мг-экв/л, щелочность общая - 10,2 мг-экв/л, содержание хлоридов – 380 мг/л, содержание сульфатов – 235 мг/л, солесодержание – 1750мг/л. В качестве твердой фазы при проведении исследований использовался бурый уголь Канско-Ачинского угольного бассейна марки Б2.

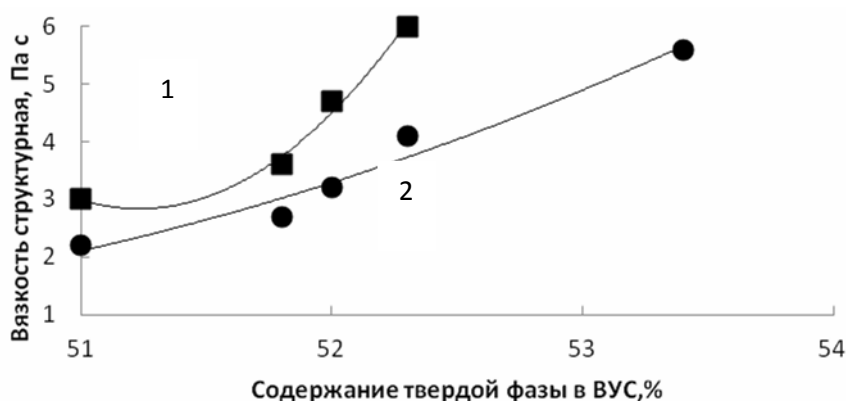


Рисунок 2. Зависимость реологических характеристик ВУС от типа воды:
1 – питьевая; 2 – сточная

С целью увеличения калорийности исследовалась так же возможность получения ВУС из смеси углей различной степени метаморфизма с применением сточных вод после гидрозолоудаления. Использовали бурый уголь марки Б2 и каменный уголь марки Д в процентном отношении 70:30. В этом случае установлено (рисунок 2), что при сопоставимых значениях структурной вязкости при использовании сточной воды и пластификатора НФУ можно получить ВУС с более высоким содержанием твердой фазы в ВУС, чем при употреблении питьевой воды (в среднем на 3-5%). Использование сточных вод в процессе получения ВУС будет способствовать экономии водных ресурсов и улучшению экологической обстановки. Полученные результаты были учтены при проведении опытно-промышленных испытаний технологии получения ВУС.

На рисунке 3 представлена принципиальная схема технологической линии по получению ВУС.

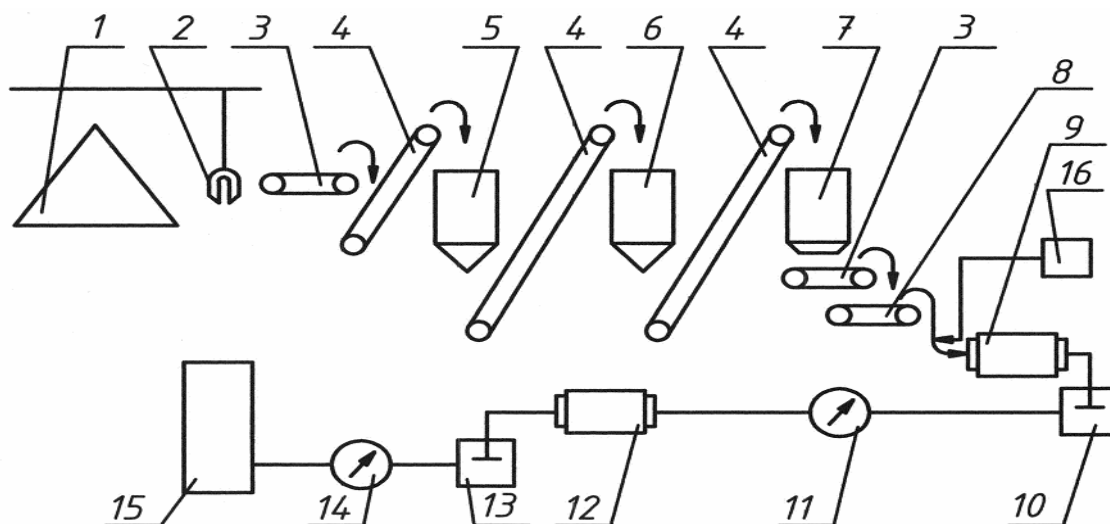


Рисунок 3. Технологическая схема получения ВУС из бурых углей на промышленном оборудовании: 1 – склад; 2 – грейферный кран; 3 – пластинчатый питатель; 4 – ленточный конвейер; 5 – дробилка крупного дробления; 6 – дробилка мелкого дробления; 7 – бункер; 8 – ленточный весовой дозатор; 9 – шаровая мельница; 10, 13 – мешалка; 11, 14 – насос; 12 – центробежная мельница; 15 – коррекционный бассейн; 16 – мерник добавок.

Таким образом установлено, что при получении водоугольных суспензий в качестве пластифицирующих добавок можно использовать недорогие и доступные реагенты такие как технические лигносульфонаты - отходы ЦБК. Для каменноугольных ВУС можно использовать, как пластификатор, окисленный бурый уголь совместно со щелочью, что упростит и удешевит весь процесс получения ВУС. Исследовано влияние зольности исходного угля на реологические и стабилизационные свойства ВУС, что дает возможность оптимизации свойств суспензий в промышленных условиях совместным изменением количества добавки и регулированием зольности угля. Показана возможность получения водоугольных топливных суспензий с использованием технической воды, включая промышленные, бытовые стоки и сточные воды после гидрозолоудаления в качестве несущей среды. Использование этих вод позволяет получать ВУС с необходимыми реологическими характеристиками и статической стабильностью. Химический состав воды оказывает значимое влияние на реологию водоугольных суспензий. Определена возможность получения ВУС из смеси углей разной степени метаморфизма с использованием сточных вод после гидрозолоудаления ТЭЦ.

Предложенная технология получения ВУС позволяет решить ряд вопросов экологической безопасности и ресурсосбережения за счет расширения ассортимента источников сырья. Разработана промышленная схема получения ВУС на серийном оборудовании без дополнительной модернизации последнего.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баранова, М. П. Физико-химические основы получения топливных водоугольных суспензий: монография / М. П. Баранова, В. А. Кулагин – Красноярск: ИПК СФУ. – 2011. – 160 с.
2. Бруер Г.Г. Получение высококонцентрированных водоугольных топливных суспензий из смеси кузнецкого каменного и канско-ачинского бурого углей в опытно-промышленных условиях / Г.Г. Бруер, С. М. Колесникова, М.П. Баранова // Уголь.–№11.– 1994.–С. 49–53.

Аннотация

Показана возможность получения водоугольных топливных суспензий с использованием некондиционных углей, отходов производств и технической воды. Установлена возможность получения ВУС из смеси углей разной степени метаморфизма с использованием сточных вод. Проведены опытно-промышленные испытания технологии получения таких ВУС.

The possibility of obtaining fuel coal-water slurry with the usage of substandard coal waste products and industrial water is shown. The possibility of obtaining a different metamorphism degree coal mixture with the usage of wastewater of coal-water slurry is established. The technological obtaining of such coal-water slurry was experimental-industrial tested.

УДК 504.064.4: 622.7

НОВОЕ НАПРАВЛЕНИЕ ПОВТОРНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТРАБОТАННЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ МАСЕЛ

***Т.Е.Вахонина - старший преподаватель кафедры «Обогащение полезных ископаемых»
ГУ КузГТУ***

***М.С.Клейн - доктор техн. наук, проф. кафедры «Обогащение полезных ископаемых»
ГУ КузГТУ***

Отработанные минеральные масла являются источником загрязнения окружающей среды. Существующие методы регенерации и утилизации этого вида отходов очень дороги и не всегда эффективны. Показана возможность использования отработанных масел в составе реагента-собирателя для флотации угольных шламов как одно из перспективных направлений утилизации.

The fulfilled mineral oils are an environmental contamination source. Existing methods of regeneration and recycling of this kind of waste are very expensive and not always efficient. Possibility to use the fulfilled oils as a part of a reagent-collector for flotation of coal slimes as one of perspective directions of recycling is shown.

Нефть занимает ведущее место в мировом топливно-энергетическом хозяйстве, при этом её доля в общем потреблении энергоресурсов непрерывно растёт. Потребление нефти за последние 35 лет выросло с 20 до 30 млрд баррелей в год. При дальнейшем развитии энергетики в мире удельный вес нефти в топливном балансе впредь будет сокращен, и нефть все больше будет служить источником для синтеза различных промышленных продуктов. Нефть является одним из невозобновляемых полезных ископаемых и при нынешних темпах потребления, разведанной нефти хватит примерно на 40 лет [1].

Нефть служит сырьем для производства различных нефтепродуктов и примерно 50 % ее идет на производство различного вида топлива (бензин, керосин, мазут), которые при использовании практически полностью перерабатываются не образуя отходов.

Другим видом продуктов нефтепереработки являются минеральные масла (моторные, индустриальные, компрессорные, трансформаторные, турбинные и другие), использующиеся в различных отраслях промышленности. При работе в машинах и аппаратах нефтяные масла после определенного периода применения почти на 90 % переходят в отходы. Мировой объем производства минеральных масел составляет более 45 млн. т в год, а ежегодная масса маслосодержащих отходов, образующихся в мире, оценивается в 40 млн. тонн [2].

Отработанные нефтяные масла являются одним из существенных источников загрязнения окружающей среды - почвы, водных источников и грунтовых вод. Огромный экологический ущерб наносит слив отработанных масел в почву и водоёмы, который по данным зарубежных исследователей, превышает по объему аварийные сбросы и потери нефти при ее добыче, транспортировании и переработке. Отработанные нефтепродукты токсичны, имеют невысокую степень биоразлагаемости (10-30%) и являются опасными отходами, которые подлежат обязательному сбору и утилизации, а в отдельных случаях – уничтожению. Однако законодательство в

России по этому вопросу до сих пор отсутствует и, как следствие, уровень их утилизации по существующим оценкам, составляет 10-15 %. Необходимость утилизации отработанных масел в настоящее время ни у кого не вызывает сомнений, поскольку их захоронение и уничтожение порождают подчас еще большие экологические проблемы, чем сами отработанные масла, и при значительных затратах не позволяют повторно использовать ценное сырье, что невыгодно уже с экономической точки зрения. Таким образом, анализ современного состояния проблемы использования ОММ свидетельствует о ее фактической нерешенности, как в теории, так и на практике. Эта проблема требует незамедлительного решения, так как накопление нефтесодержащих отходов влияет не только на экологическое состояние природной среды, но и на санитарное благополучие населения.

Источником образования наибольших объемов отработанных нефтепродуктов, более 60 %, являются отработанные моторные масла (ОММ), а постоянный рост автопарка приводит к увеличению их количества. Только на территории Кемеровской области ежегодно образуется до 35,0 тысяч тонн отработанных масел (на автопредприятии ПАТП-1 г. Кемерово масса отработанных масел составляет 5 т.) [2]. Для снижения ущерба, наносимого окружающей среде таким количеством отработанных масел, необходима их утилизация.

Переработка отработанных минеральных масел производится на специализированных предприятиях или в специальных цехах НПЗ с применением всего комплекса физико-механических, физико-химических и химических методов и приемов (отстаивание, центрифугирование, фильтрация, перегонка, адсорбция, обработка ПАВ, очистка пропаном, фенолом и др.). К химическим методам относятся кислотная и щелочная мойка. При кислотной обработке масло окончательно очищается, и при этом образуются так называемые кислые гудроны, являющиеся самостоятельным видом отходов нефтепереработки.

Существующие методы регенерации отработанных минеральных масел часто малоэффективны и не позволяют получить масла требуемого качества. Общим недостатком технологий утилизации и переработки отработанных нефтепродуктов является их низкая производительность и высокие материальные, энергетические и финансовые затраты. Кроме того, они не позволяют осуществить полную переработку и утилизацию и не обеспечивают экологическую безопасность для окружающей среды.

В тоже время, повторное использование отработанных масел в любых циклах промышленного производства и потребления дает ощутимую выгоду, как в натуральном, так и в денежном выражении. Одним из перспективных направлений можно рассматривать использование отработанных минеральных масел в качестве реагента собирателя при флотации угольных шламов. В настоящее время на углеобогащательных фабриках (УОФ), обогащающих главным образом коксующиеся угли, флотация угольных шламов является практически единственным способом обогащения тонких классов углей. Значительные материальные затраты на флотацию связаны с большим расходом флотореагентов, годовое потребление которых на УОФ в Кузбассе составляет примерно 10 тысяч тонн. В качестве реагентов собирателей при флотации угольных шламов используют дорогостоящие, разнообразные по химическому составу, структуре и свойствам органические аполярные вещества, такие как керосин, термогазойль и другие нефтепродукты. Снижение себестоимости процесса флотации возможно за счет сокращения расхода реагентов собирателей и использования новых, более дешевых реагентов. Таким реагентом может стать собиратель на основе отработанных минеральных масел, так как стоимость их значительно ниже стоимости применяемых сейчас на фабриках нефтепродуктов.

Известно, что флотационная активность аполярных реагентов зависит от группового состава, а распределение классов углеводородов по их флотационной активности имеет вид: ароматические углеводороды > нафтеновые > изопарафиновые > парафиновые [3]. Анализ группового состава отработанных минеральных масел (турбинного, трансформаторного, моторного) и применяемых при флотации угля реагентов показал, что основу и тех и других нефтепродуктов составляют предельные углеводороды, в том числе 50 - 70 % нафтеновые и ароматические (таблица). Так как в процессе эксплуатации групповой состав и физико-химические характеристики масел практически не изменяются, отработанные минеральные масла могут служить сырьем для производства аполярных реагентов.

Состав и физико-химические характеристики реагентов-собирателей и минеральных масел

	Керосин	Термогазойль	Турбинное	Трансформаторное	Моторное
Групповой состав, % (масс.)					
<u>Предельные:</u>					
Парафиновые	-	7-10	10-15	-	20-22
Алифатические	20-60	25-30	18-20	35-50	40-45
Нафтеновые	20-50	15-10	34-40	25-40	10-11
Ароматические	5-25	45-50	35	8-20	23-24
Непредельные	2	2,5	1,5	2	1-2
Физические свойства					
Вязкость при 20 ⁰ С, мм ² /с	1,2-4,5	4,24-7,2	30-40	15-28	> 36

Молекулярная масса, г/моль	220-300	234-270	250-320	230-330	300-600
Плотность при 20 °С, г/см ³	0,78-0,85	0,909	0,9-0,905	0,875-0,898	0,89
Температура кипения, °С	150-250	205-325	300-410	280-430	300-600
Температура застывания, °С не выше	-15	-27	-15	-45	-35
Температура вспышки, °С	28-40	35	190-215	95-150	200-220

Исследованиями флотационной активности отработанных масел показано, что при использовании их самостоятельно в качестве реагента собирателя не удается получить положительных результатов флотации шламов. Установлено, что при содержании в составе реагента собирателя до 50 % отработанных масел в сочетании с керосино-газойлевыми фракциями и введением небольшого количества активирующих добавок можно добиться хороших результатов. При создании необходимых условий взаимодействия капель такого масляного реагента с угольными частицами в процессе подготовки пульпы перед флотацией методом масляной аэроагломерации достигаются более высокие показатели флотации по сравнению с использованием традиционных реагентов собирателей [4].

Низкая стоимость и большие объемы отработанных минеральных масел указывают на перспективность их использования в составе реагентов собирателей для флотации угольных шламов, решая при этом технологические, экономические и экологические проблемы. Все это позволит создать основу для решения проблем утилизации отработанных масел, защиты окружающей среды от загрязнения маслами и ресурсосбережения нефтепродуктов.

1. Магарил Е. Р., Локетт В. Н. Основы рационального природопользования: учебное пособие / Е. Р. Магарил, В. Н. Локетт – М.: КДУ, 2008. – 460 с.: табл., ил.
2. Латышенко М. П., Определение годового объема отработанного масла от автомобильного транспорта в Кузбассе / М. П. Латышенко, Е. В. Резанова // Вопросы безопасности труда: Сборник научных трудов/ Под ред. Л. А. Шевченко, В. А. Колмакова, ГУ КузГТУ – Кемерово, 2004. – С. 35-39
3. Сорокин М. М. Химия флотационных реагентов: Учеб. пособие / Рец. А. П. Попович, В. А. Чантурия – М.: МИСиС, 1978. – 128 с.
4. Вахонина Т. Е. Использование отработанных моторных масел для флотации угольных шламов / Т. Е. Вахонина, М. С. Клейн, И. А. Горбунков // Вестник Кузбасского гос. техн. ун-та. – Кемерово, 2009. – № 1. – С. 15 –17.

УДК 622.7

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОБОРУДОВАНИЯ И ГИБКОСТЬ ПРОЦЕССА ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ ФЛОТАЦИИ ПРИ ОБОГАЩЕНИИ УГЛЯ

Юрген Винклер, технический директор, член правления MBE Coal & Minerals Technology GmbH, ранее KHD HUMBOLDT WEDAG, Германия, г. Кёльн.

Лутц Маркворт, менеджер MBE Coal & Minerals Technology GmbH, ранее KHD HUMBOLDT WEDAG, Германия, г. Кёльн.

В.И. Удовицкий, зав. кафедрой ОПИ, проф., докт. техн. наук, КузГТУ, г. Кемерово.

Рассмотрен принцип действия и технология применения пневматических флотационных машин PNEUFLOT® для обогащения рудных и угольных частиц.

Considered the principle and technology of pneumatic flotation machine PNEUFLOT ® enrichment of ore and coal particles.

Пневматическая флотационная машина PNEUFLOT® предназначена для флотации как рудных, так и угольных частиц крупностью менее 0.5 мм работает по принципу смешивания воздуха и пульпы в непрерывном потоке и обеспечивает необходимые размеры пузырьков, насыщающих пульпу при входе в камеру. Это увеличивает количество столкновений частиц с пузырьками. Аэратор находится в вертикальной трубе, установленной по центру камеры. Зёрна с гидрофобной поверхностью прилипают к пузырькам, поднимаются, образуя на поверхности пульпы

минерализованную пену - флотационный концентрат, который попадает в кольцевой желоб и выводится из процесса. Гидрофильные частицы не прилипают к пузырькам и выходят в нижней части флотационной камеры. Уровень пульпы поддерживается на постоянном уровне посредством зонда уровня, который управляет регулирующим разгрузку клапаном или «S-образным» устройством.

Аэраторы. Аэраторы с «наддувом». На выбор предлагаются аэраторы различных конструкций. Они различаются по материалу, из которого изготовлены детали для подачи воздуха. Во всех конструкциях пульпа протекает со скоростью 6 и 10 м/сек. в поперечном направлении по отношению к газоподающему устройству. Устройство состоит либо из очень узких сопел (толщина $25 \div 100 \mu\text{m}$), либо из диафрагм с отверстиями. Возможны промежуточные размеры.

Опасность засорения маленьких отверстий, известная проблема прежних типов пневматических газоподающих устройств, надежно устраняется, благодаря применению самых современных материалов. Износ сводится к минимуму в результате использования керамических и/или резиноподобных материалов.

Несмотря на вышеперечисленные меры предосторожности, отдельные, испытывающие более значительную нагрузку, детали быстро заменяются, не требуя больших затрат. Засвидетельствованный срок службы составляет более 2-х лет. Ширина кольцевого канала пульпы в области аэрации ограничена до 10-12 мм. В противном случае, качество смешивания и эффективность процесса флотации снизились бы. Поэтому для увеличения пропускной способности пульпы параллельно подключаются несколько аэраторов.

Аэраторы с «наддувом» используются преимущественно в том случае, если плотность минеральных частиц питания составляет $>2000 \text{ кг/м}^3$. В этом случае требуется более высокое содержание воздуха к пульпе 2:1 при 3 барах.

Самовсасывающие аэраторы. Специально для обработки угольных шламов и других минералов с меньшей плотностью, а также для очистки сточных вод технологией PNEUFLOT®, разработаны самовсасывающие устройства без потребления сжатого воздуха. Шлам всасывается посредством соответствующих встроенных керамических сопел с противоизнашивающимся эффектом (распределенных по кругу по принципу Вентури, создающих безвоздушное пространство при закачивании пульпы). По этому принципу воздух втягивается в пульпу. До 40 форсунок расположенных по кругу распределяют поток пульпы, создавая необходимую турбулентность для интенсивного контакта воздушных пузырьков/ минеральных частиц. Данные аэраторы также поставляются различных размеров, для того чтобы отвечать различной скорости потока пульпы, а также различной производительности, следовательно, одного аэратора в расчете на одну флотационную камеру достаточно для получения флотационного эффекта.

Отличительные положительные особенности машины PNEUFLOT® в сравнении с существующими аналогами:

- технологические: гибкий процесс флотации, благодаря автоматической рециркуляции пульпы; постоянный уровень пульпы в камере; отсутствие дополнительного шламообразования в камере (нет механического аэратора); возможность регулирования размеров пузырьков в одном и том же аэраторе; проведение «дробной» флотации при постоянном уровне пульпы.
- технико-экономические: меньший износ, благодаря отсутствию импеллера и применения современных защитных материалов; низкий расход электроэнергии; требуется меньше места для размещения машины; меньшее время флотации, что позволяет снизить расход реагентов.

Флотокамеры PNEUFLOT® работают сегодня на различных крупных промышленных линиях с весьма хорошими сепарационными результатами.

Продолжительность флотации соответствует времени пребывания пульпы в машине. Оно должно составлять не менее 2-х и не более 4-х минут для обеспечения беспрепятственного подъема нагруженных твердыми частицами воздушных пузырьков. Более продолжительное время пребывания суспензии в машине, т.е. более крупные камеры, не улучшают качество продукции, потому что, в отличие от механических камер, процесс насыщения воздухом завершается с прохождением пульпы через аэратор.

Важнейшие показатели. Во флотокамерах PNEUFLOT® гидрофобные частицы, которые не присоединились к воздушным пузырькам, могут в процессе оседания в самое глубокое место камеры вновь прилипнуть к устремляющимся им навстречу воздушным пузырькам. Затем направленный вверх идущий из дистрибьютора поток пульпы способствует всплыванию воздушных пузырьков с крупными частицами твердых фракций на поверхность.

Флотокамеры PNEUFLOT® более простые с точки зрения конструкции и обеспечивают особенно высокий процент выноса продукта с пеной, что особенно актуально при наличии в пульпе сравнительно крупных фракций.

Все известные до настоящего времени недостатки пневматических флотомашин, особенно постепенное засорение аэраторов, устранены благодаря самым современным материалам, таким например, как твердая керамика, как в реакторах, работающих под давлением, так и в самовсасывающих вентиляционных устройствах.

Опасения того, что из-за сравнительно высокой скорости пульпы в аэраторах или в дистрибьюторе износ будет больше, не подтвердились.

Особые преимущества. Особым преимуществом самовсасывающих аэраторов является весьма низкое потребление электроэнергии, которое ограничивается потреблением электроэнергии насосом - питателем.

Поскольку у флотокамер PNEUFLOT® качество выносимых с пеной твердых фракций по сравнению с механическими флотокамерами значительно выше, как правило, нет необходимости в одной или даже нескольких перелистках концентрата. Они являются обязательными у механических флотомашин, особенно при обработке труднофлотируемых минералов. Это ведет в сравнении с механическими флотокамерами, к дополнительному снижению потребления электроэнергии.

Область применения. Машина PNEUFLOT® может использоваться:

- при флотации угля; сульфидных руд (медных, свинцово-цинковых, никелевых); окисленных руд (железных, медных, оловянных); промышленных минералов (фосфатов, магнезита, плавикового шпата, кварца, известняка); минеральных солей и пр.

- для рециклинга бумаги и пластиковых отходов;

- для удаления летучей золы и гипса из процесса десульфуризации отработанных газов;

- для очистки промышленных сточных вод от твердых взвесей, нефтепродуктов, поверхностно-активных веществ и др. реагентов.

УДК 622:662.7.62-78

К ВОПРОСУ О СНИЖЕНИИ РАСХОДОВ ФЛОКУЛЯНТОВ ПРИ ОЧИСТКЕ ТЕХНОГЕННЫХ ВОД УГЛЕОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИК

Евменова Г.Л. канд. техн. наук, доцент

Кузбасский Государственный технический университет, г. Кемерово

Аннотация

Представлены экспериментальные данные по уменьшению расходов полимерных флокулянтов при исследовании процесса очистки загрязненных вод углеобогажительных фабрик.

The experimental data regarding the decrease of polymer flocculants consumption during study of the process of purification of the contaminated waters from processing plants have been presented.

Анализ работы углеобогажительных фабрик Кузбасса за последние годы показал возможность очистки техногенных вод углеобогащения за счет совместного применения растворов анионных и катионных высокомолекулярных флокулянтов. Однако при этом усложняется приготовление и дозирование их растворов.

Более выгодно было бы применять один тип флокулянта, например, катионный, макромолекулы которого имеет заряд противоположный агрегируемым частицам.

Особый интерес представляло изучить действие катионного полимера на частицы менее 45 мкм, которые составляют основу твердой фазы шламовых вод и практически не связываются анионными флокулянтами.

В данной работе представлены результаты исследований влияния катионных флокулянтов на процесс осаждения тонкодисперсных угольно-глинистых частиц. Исследования проводили на природных угольно-глинистых дисперсиях ЦОФ “Кузнецкая”, “Сибирь”, “Березовская” с размером частиц менее 45 мкм и содержанием твердого 15 г/л. В качестве флокулянта использовали промышленные образцы Магнафлока (1440, 368, 1597), Праестола (851BC, 650TR, 854BC) и отечественного ВПК-402.

Проведенные исследования показали, что применение катионных флокулянтов интенсифицируют процесс агрегации тонкодисперсных частиц с получением чистого слива. Это достигается за счет нейтрализации заряда их поверхности, снижения электрокинетического потенциала до значений, благоприятствующих агрегации этих частиц, с последующим образованием как микро-, так и макрофлокул [1].

Особенно успешно протекал этот процесс при использовании дробной подачи полимера. Причем расход реагента в этом случае уменьшился в 2 раза и составил 1–2 мг/л. Предлагаемый способ подачи полимера в пульпу,

при введении первой порции, позволил получить первичные агрегаты, которые флокулировались в более крупные, макромолекулами, внесенными с последующими добавками, и оседали с большей скоростью.

При изучении адсорбции было установлено, что даже при высоких концентрациях исследуемых флокулянтов (8–10 мг/л), превышающих оптимальные, происходит их полная адсорбция на поверхности угольно-глинистых частиц, а значит, нет накопления в оборотной воде. В случае применения анионных флокулянтов часть полимера остается в осветленной воде после установившегося адсорбционного равновесия [2].

Литература:

1. Евменова, Г. Л. Электроповерхностные свойства угольных частиц при взаимодействии их с полиэлектролитами / Г. Л. Евменова // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых, 2006. – №4. – С. 111–115.
2. Евменова, Г. Л. Кинетика адсорбции полимерных флокулянтов на угольных частицах / Г. Л. Евменова // Известия вузов. Горный журнал. 2011. – №4.

УДК 622.85:622.85

ИССЛЕДОВАНИЕ УРОВНЕЙ ПОТЕРЬ ПЛОДОРОДНОГО СЛОЯ ПОЧВЫ И ПОЧВООБРАЗУЮЩИХ ПОРОД В ТЕХНОЛОГИЯХ ГОРНОТЕХНИЧЕСКОЙ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ЗЕМЕЛЬ НА РАЗРЕЗАХ КАНСКО-АЧИНСКОГО УГОЛЬНОГО БАССЕЙНА

*Специальное конструкторско-технологическое бюро «Наука»
Красноярского научного центра СО РАН
И.В.Зеньков, инженер, Е.В.Кирюшина, старший преподаватель
Сибирский федеральный университет, Красноярск*

Аннотация

Приводятся результаты определения потерь почвообразующих пород и плодородного слоя почвы в горнотехнической рекультивации земель.

Results of definition of losses of soil breeds and fertile layer of earth in mining-technical recultivation the earths are resulted.

На угольных разрезах Канско-Ачинского угольного бассейна в ходе проведения горнотехнического этапа рекультивации снятие плодородного слоя почвы (ПСП) производится практически во всех случаях не на полную глубину распространения пластовой почвенной залежи. В итоге на полигонах снятия ПСП после работы выемочных механизмов остаются почвенные слои мощностью 5-35 см с содержанием гумуса 4-6 % и более, также остаются подстилающие ПСП почвообразующие породы с незначительным (до 1,0-1,5 %) гумуса мощностью до 1,5 м.

В проектах на разработку угольных месторождений в разделе «Рекультивация земель» находятся показатели годовых объемов снятия ПСП. Данные показатели являются основой для планирования годового объема работ по горнотехнической рекультивации. Исходя из объемов снятого ПСП и имеющихся площадей для его нанесения определяют площади, подлежащие рекультивации. Угольный разрез работает согласно проекту, в котором все объемы служат регламентирующей базой для производства основных и вспомогательных работ. Поэтому проектный объем снятого ПСП предприятие вывезет на отвальные поверхности, подготовленные для его нанесения, либо на промежуточный склад, в котором ПСП может находиться до 20 лет.

Объем, оставшийся «сверх проектного», предприятие сработает в отвал, поскольку площади отвалов для нанесения почвенного слоя примерно в два раза меньше, чем площади сельхозугодий, с которых этот ПСП снят, а также мощность наносимого почвенного слоя согласно ГОСТу меньше, чем мощность ПСП, находящегося в природном состоянии на территории агроландшафтов, попадающих в расширяющиеся контуры горных работ. В этой связи актуальны исследования, касающиеся определения уровней объемов ПСП и гумусосодержащих почвообразующих пород, срабатываемых в потери, и связанного с этим обстоятельством сокращения площадей рекультивируемых агроландшафтов. Результаты исследований должны быть универсальными, без привязки к конкретной глубине снятия ПСП. Поэтому исследования проводили для условий снятия ПСП на полную глубину в диапазоне 0,01-0,6 м с учетом изменения мощности почвенного слоя.

По результатам полевых работ, проведенных с целью установления закономерностей пространственного расположения почвенных слоев, для существующих технологий рекультивации построены зависимости потерь ПСП от глубины его снятия, геометрических параметров залежи и от разновидностей пространственного расположения плоскостей контакта ПСП и подстилающих почвообразующих пород.

Исследования уровней потерь ПСП проведены для полигонов снятия с простым и сложным строениями пластовой залежи ПСП.

В результате установлена тенденция в изменении объемов потерь ПСП и почвообразующих пород – неравномерность темпов их изменения на всем диапазоне значений глубины его снятия. Анализ изменения объемов ПСП по глубине его залегания показывает, что в верхнем слое до минимального значения мощности изменение объемов определяется по линейным функциям вида $y=ax+b$, а в нижнем слое – от минимального значения мощности ПСП до максимальной глубины его распространения – изменение мощности определяется полиномами 2-4 порядка.

Для установления вида функций, определяющих зависимости потерь ПСП от форм изменения мощности в зоне контакта ПСП с подстилающими вскрышными породами, строят соответствующие графики.

Результаты расчетов по сокращению площадей агроландшафтов, рекультивируемых путем нанесения дополнительного слоя ПСП, изображают графически. На графиках, на вертикальных отрезках, проведенных перпендикулярно из точек с координатами 0;0, показывают значения площадей земель, на которых возможно проведение рекультивации при условии обработки залежи ПСП на полную глубину. Далее, при движении по горизонтальной оси вправо, находят сокращение площади рекультивируемых агроландшафтов при глубине снятия ПСП от 0,01 до 0,6 м. Площадь рекультивируемых земель определяют в виде разницы между максимальным значением соответствующей кривой и значением на этом же ряду, определяемым путем восстановления вертикального отрезка из точки, соответствующей принятой глубине снятия ПСП. Сокращаемую площадь рекультивированного агроландшафта устанавливают на пересечении соответствующего ряда на графике с вертикальным отрезком, восстановленным из точки на горизонтальной оси, значение которой соответствует принятой глубине снятия ПСП.

Поскольку мощность почвенного слоя, наносимого по ГОСТу на рекультивированные отвалы, меньше мощности ПСП в природном состоянии, то площадь восстанавливаемых сельскохозяйственных угодий, которые могли быть созданы при использовании ПСП без потерь, будет больше, чем площадь полигона снятия ПСП.

Графический анализ показывает, что минимальные потери ПСП достигаются при обработке залежи на полную глубину. В объемном измерении разница в объемах снимаемого ПСП может достигать значительных уровней. Важным фактором, влияющим на объем прирезаемых к ПСП почвообразующих нижележащих пород, выступает заглубление рабочего органа выемочного механизма (бульдозер, экскаватор) ниже контакта ПСП с подстилающими почвообразующими породами.

Исходя из объемов потерь ПСП определим площади безвозвратно теряемых земель, обусловленных данным обстоятельством. В этой связи будем рассматривать два альтернативных варианта рекультивации земель агроландшафтов: 1. Вариант удаления за контуры горного отвода снятого ПСП согласно мощности, оговоренной проектом. 2. Вариант удаления за контуры горного отвода всего объема снятого ПСП на полную глубину его залегания. Объем снятого ПСП согласно каждому из вариантов будем наносить на рекультивируемые земли. Естественно, что площадь восстановленных земель по второму варианту будет больше, в сравнении с первым, так как по второму варианту потери снятого ПСП будут практически равны нулю.

В нашем анализе объемов ПСП, остающегося на полигоне снятия будем принимать во внимание проектную глубину снятия ПСП, равную 0,35 м. Нам также известно, что максимальная мощность залежи ПСП достигает своего значения 0,6 м. В этих условиях объем ПСП, который останется на поверхности верхнего вскрышного уступа, составляет 75-225 тыс. м³ и более с учетом объемов гумусосодержащих почвообразующих пород.

Оставляемый на верхней площадке верхнего вскрышного уступа ПСП может быть нанесен на рекультивируемые поверхности в случае его снятия и укладки в бурты. В случае принятия глубины снятия за уровень в 0,35 м, в зависимости от нарастания объемов подстилающих вскрышных пород по глубине, сокращение площадей сельхозугодий может достигать 10-45 га на каждые 100 га изъятых из оборота земель. Причина этому явлению следующая: весь объем ПСП, расположенный ниже проектной отметки, предприятие безвозвратно работает в отвал.

Аннотация

Приводятся результаты производственного эксперимента по снятию плодородного слоя почвы бульдозером в горнотехнической рекультивации земель. Целью эксперимента является достижение стабилизации качества и полноты выемки почв.

Results of industrial experiment on removal of a fertile layer of earth by the bulldozer in mining-technical recultivation the earths are resulted. The experiment purpose is achievement of stabilization of quality and completeness of dredging of soils.

В 70-80-е гг. прошлого столетия в горном деле, в практике недропользования получает развитие новое направление хозяйственной деятельности с учетом устойчивого развития. К настоящему времени это направление оформилось как «Экологически безопасные, ресурсосберегающие производственные технологии» и базируется на трудах академиков РАН В.В. Ржевского и К.Н. Трубецкого, докторов технических наук П.И. Томакова, К.Е. Винницкого, В.А. Галкина, Л.Н. Кашпар, В.В. Истомина, А.П. Красавина, А.М. Демина, И.М. Ялтанца, В.А. Харченко, В.С. Коваленко, Е.А. Кононенко, И.М. Щадова, Е.Л. Счастливцева и др. В этом направлении работают научные школы ИПКОН РАН, МГГУ, НИИОГР, ИГД им. А.А. Скочинского, ВНИИОСуголь и др.

Проведенные исследования в целом можно охарактеризовать стремлением повысить экономическую эффективность горных работ и параллельно снизить их негативное влияние на окружающую природную среду. Вместе с тем, в научном направлении «восстановление земель, нарушенных горными работами, для использования в сельском хозяйстве» недостаточно изучено прогнозирование изменения комплексных показателей пластовых залежей плодородного слоя почвы (ПСП) в технологиях горнотехнической рекультивации на основе устанавливаемой вариации его мощности, что приводит к снижению продуктивности земель, восстановленных угольными разрезами.

Добыча угля открытым способом в Красноярском крае на территории Канско-Ачинского угольного бассейна производится угольными разрезами большой единичной мощности, возраст которых составляет 30-60 лет, что обуславливает масштабное нарушение земель агроландшафтов, обрабатываемых предприятиями АПК. Наиболее значительные ландшафтные нарушения произошли в его Юго-Восточном секторе, где под горные работы изъято более 100 км² продуктивных земель сельскохозяйственного назначения.

На исследуемой территории продуктивность сельхозугодий постоянно снижается и может быть существенно повышена за счет нанесения дополнительного слоя ПСП. Повышенный спрос на почвенные ресурсы с высокими качественными характеристиками со стороны предприятий АПК целесообразно перекрывать за счет ПСП, снимаемого в ходе горнотехнической рекультивации на угольных разрезах. Параллельно с этим установлено следующее: проектирование технологий рекультивации земель и планирование работ по рекультивации на угольных разрезах производится без прогнозной оценки изменения качественных характеристик ПСП по его усредненным показателям, что приводит к уменьшению содержания гумуса в 1,5-2,0 раза в рекультивированном почвенном слое, и как следствие этого – к снижению экономического плодородия восстановленных земель. Кроме того, ограниченный выбор направлений использования ПСП в рекультивации в виде его нанесения на поверхности вскрышных отвалов и отсутствие альтернативных направлений его использования приводит на практике к значительным потерям ПСП на уровне 70-80 % от его объемов в естественно природном состоянии.

В этих условиях не вызывает сомнений необходимость разработки новых научно и экспериментально обоснованных подходов к восстановлению техногенно нарушенных агроландшафтов с высокой продуктивностью земель на основе формирования технологий горнотехнической рекультивации, комплексно обеспечивающих стабилизацию качества и сбережение почвенных ресурсов.

В горнотехнической рекультивации разделение залежи ПСП по глубине залегания на технологические слои при его снятии на основе устанавливаемых зависимостей вариации его мощности, как вдоль фронта горных работ, так и в крест его простираения служит основой для обоснования глубины снятия ПСП выемочными механизмами. При определении потерь и засорения ПСП в рекультивации необходимо залежь ПСП делить на технологические слои с разнящимися качественными показателями, что является основой для установления направлений использования ПСП.

Оптимальный вариант порядка отработки перспективных полигонов снятия ПСП для условий разрезов «Бородинский» и «Переясловский» вызывает повышение эффективности хозяйственной деятельности предприятия АПК на уровне 44,3 млн руб. за 5-летний период оценки. При этом дополнительные затраты на создание информационной базы для корректировки технологии снятия ПСП определены на уровне 50,0 тыс. руб. Технология снятия ПСП с применением бульдозера «Komatsu D155A», сформированная на основе прогнозирования изменения качественных характеристик плодородного слоя почвы, с учетом установленного изменения мощности пластовой залежи ПСП, позволяющая комплексно стабилизировать качественные показатели ПСП, а также обеспечивающая полноту его выемки, успешно прошла экспериментальную проверку на угольном разрезе «Бородинский».

Сущность эксперимента кратко изложена ниже.

1. В перспективных контурах горного отвода разреза «Бородинский» (на западном, восточном флангах, в центральном секторе) путем бурения шпуров в пластовой залежи плодородного слоя почвы изучено изменение его

мощности в диапазоне 0,2-0,6 м. На западном фланге на полигоне снятия площадью 12000 м² изменение мощности ПСП установлено на площади 11238 м² и определяется функциями вида $y=aebx$ при изменении $a=0,95-1,0$ и при изменении $b=0,065-0,07$. На восточном фланге на полигоне снятия площадью 12000 м² изменение мощности ПСП установлено на площади 10965 м² и определяется функциями вида $y=aln(x)+b$ при изменении $a=0,23-0,234$ и при изменении $b=0,027-0,0285$. В центральном секторе на полигоне снятия площадью 12000 м² изменение мощности ПСП, определяемое функциями вида $y=aln(x)+b$ при изменении $a=0,225-0,23$ и при изменении $b=0,028-0,0295$, установлено на площади 5238 м², а также установлено изменение мощности ПСП, определяемое функциями вида $y=aebx$ при изменении $a=0,96-0,99$ и при изменении $b=0,06-0,075$ на площади 6359 м².

2. Содержание гумуса в почвах, подлежащих снятию, определено ФГУ САС «Солянская» на уровне 8,2; 8,0; 8,3 %, а в породах, подстилающих ПСП – на уровне 0,4; 0,4; 0,6 % соответственно для восточного, западного флангов и центрального сектора.

3. На основе геометризации залежи ПСП определена глубина его снятия с учетом исключения подрезки вскрышных пород, подстилающих ПСП. На полигонах снятия выставляют метки, позволяющие оператору бульдозера регулировать толщину стружки снимаемого почвенного слоя. Бульдозер с учетом ограничений тонкими выемочными слоями снимает ПСП, укладывая его в бургт высотой 2,0-3,0 м. Сравнительные показатели проведенного эксперимента представлены в таблице.

Таблица

Сравнительные показатели технологий снятия ПСП

Показатели	Технология снятия ПСП	
	проектная	экспериментальная
Глубина снятия ПСП, м		
- на восточном фланге	0,35	0,42
- на западном фланге	0,35	0,48
- в центральном секторе	0,35	0,5
Объем снимаемого ПСП, м ³		
- на восточном фланге	2630,0	3480,0
- на западном фланге	3240,0	4230,0
- в центральном секторе	2970,0	3890,0
Объем подрезаемых вскрышных пород, м ³		
- на восточном фланге	1570,0	160,0
- на западном фланге	960,0	220,0
- в центральном секторе	1230,0	195,0
Содержание гумуса в снятом ПСП, %		
- на восточном фланге	5,1	7,8
- на западном фланге	6,2	7,6
- в центральном секторе	5,9	7,9
Технологические потери ПСП, м ³		
- на восточном фланге	1170,0	320,0
- на западном фланге	1340,0	350,0
- в центральном секторе	1280,0	340,0

Корректировка технологий рекультивации с учетом современных представлений о качестве восстанавливаемых природных ресурсов – это первый и необходимый шаг на пути к внедрению систем управления, базирующихся на основе исследований и анализа процессов, создаваемых по серии стандартов ISO 9000. Экспериментальное обоснование процесса выемки ПСП позволило сделать вывод о том, что использование информации о природных закономерностях расположения ПСП на полигонах его снятия позволит обеспечить полноту выемки почвенного слоя и стабилизировать его качественные показатели при проведении горнотехнической рекультивации земель, что является значимым обстоятельством в угледобывающих регионах с развитым земледелием.

Список литературы

Зеньков И.В. Обоснование корректировки технологий рекультивации земель сельскохозяйственного назначения на угольных разрезах Центральной Сибири // Уголь. 2007. № 10. С. 80-83.

УДК 622.7.09.

ПРИМЕНЕНИЕ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ ОБОГАЩЕНИЯ УГЛЯ

***Г.В. Иванов, д.т.н., КузГТУ, А.А. Куранов ООО «Мониторем» г. Кемерово, Россия,
В.К. Кипа, к.т.н., С.А. Золотарев ООО «НПП «Арикон», В.Е. Медведев
ВУГУ им.В.И. Даля, г. Луганск, Украина.***

Повышение эффективности, сокращение потерь угля в процессе обогащения с одновременным увеличением производительности труда, возможно только при применении эффективных, современных автоматических систем управления процессами обогащения

Increased efficiency, reduced losses of coal in the enrichment process, while simultaneously increasing productivity, is only possible when using efficient, modern automatic control systems for the enrichment process

Повышение эффективности, сокращение потерь угля в процессе обогащения с одновременным увеличением производительности труда, возможно только при применении эффективных, современных автоматических систем управления процессами с использованием оборудования, характеристики которого соответствуют качеству и свойствам поступающего сырья.

Сотрудники ООО "НПП Арикон" в Донбассе, ООО «Мониторем» в Кузбассе накопили большой опыт проведения работ по автоматизации технологических процессов обогащения угля

Большое количество угля подвергается гравитационным процессам обогащения, таким как тяжелосредная сепарация в сепараторах и циклонах, отсадка, спиральные сепараторы.

При обогащении в тяжелой среде контролируемыми и регулируемыми параметрами, определяющими эффективность процесса разделения является плотность и вязкость суспензии магнетита.

Оптимальная автоматизированная система управления процессом тяжелосредного обогащения должна обеспечить выполнение следующих функций:

Автоматическое определение и поддержание заданной плотности суспензии, автоматическое и дистанционное управление подачей воды в бак кондиционной и некондиционной суспензии, контроль и индикация положения регулирующих органов на трубопроводах подачи суспензии и воды на разбавление в баки кондиции, дистанционное и автоматическое управление делителем потока суспензии с контролем и индикацией положения регулирующих органов на делителе потока и задвижек на тяжелосредных воронках, автоматический контроль и индикация уровней в баках кондиционной и некондиционной суспензии, автоматическое приготовление, контроль плотности свежеприготовленной суспензии и дистанционная дозировка плотной суспензии при резких потерях магнетита.

Например, система автоматического управления тяжелосредным комплексом (на базе тяжелосредного сепаратора или циклона) может обеспечить полный контроль и стабилизацию заданной плотности кондиционной суспензии и, в последних разработках, стабилизацию и увеличение плотности суспензии при ее уменьшении, что может осуществляться в любом из двух направлений, в зависимости от конкретных условий.

При обогащении отсадкой оптимальная автоматизированная система управления процессом должна обеспечить выполнение следующих функций:

Автоматический непрерывный контроль и поддержание высоты постели уплотненного слоя в отделениях отсадочной машины и регулирование разгрузки тяжелых фракций в зависимости от заданной высоты постели уплотненного слоя, автоматический контроль скорости разгрузчиков, возможность выбора автоматического или дистанционного режима управления регулятором разгрузки, автоматическое определение коэффициента разрыхленности постели по сигналу датчика высоты постели, управление параметрами, определяющими водовоздушный режим работы отсадочной машины (количеством колебаний в минуту или продолжительностью фаз цикла: «Впуск», «Выпуск», «Пауза»), автоматический непрерывный контроль плотности подрешетной (оборотной) воды, подаваемой на отсадочную машину, непрерывный контроль давления воздуха, подаваемого на отсадочную машину.

В современных технологических схемах углеобогащения, наиболее эффективным способом обогащения угля класс 0,2-3(2) мм являются винтовые сепараторы. Получение стабильных и высоких показателей разделения зависит от постоянства содержания твердого в пульпе, и количества пульпы, поступающей на аппарат.

В соответствии с этим требованиями система должна обеспечивать выполнение следующих функций: Автоматический контроль содержания твердого в питании и контроль уровня пульпы в распределительном стакане, автоматическое и ручное поддержание заданной плотности питания путем разбавления его водой.

Основой для получения высоких технологических показателей в процессах обогащения на спиральных сепараторах и флотации, как и других обогатительных процессах является эффективность классификации, в частности, классифицирующих гидроциклонов. Для обеспечения высокой эффективности классификации Система должна обеспечивать выполнение следующих функций: автоматический контроль содержания твердого и расхода шламовой воды, поступающей на классифицирующий гидроциклон, поддержание заданной плотности питания гидроциклона разбавлением его водой, автоматический контроль плотности сгущенного продукта, и автоматическое определение количества твердого в сгущенном продукте путем контроля работы подающих насосов с учетом их номинальной производительности.

Процесс флотации обеспечивает получение дополнительного концентрата из угольного шлама и является эффективным способом очистки шламовой воды фабрики. Эффективность процесса флотации определяет состояние технологической и водно-шламовой схемы фабрики в целом и может быть повышена применением современных систем автоматизации

Для обеспечения высокой эффективности система автоматизации процесса флотации должна обеспечивать выполнение следующих функций:

Автоматический контроль содержания твердого, объемного расхода пульпы, вычисление весового количества твердого продукта в пульпе, подаваемой на флотацию, автоматический контроль зольности, содержания твердого и объемного расхода отходов флотации. Автоматическое вычисление весового количества флотоконцентрата и отходов флотации, управление дозированием реагентов в автоматическом и ручном режимах с эмульгированием и дробной разводкой по машинам и камерам, дозирование реагента-собиранителя по количеству твердого, реагента- вспенивателя по количеству твердого или объемному расходу исходной пульпы. Автоматический контроль количества воздуха, подаваемого в первую и вторую камеры флотомашин.

Эффективное выполнение природоохранных мероприятий, регенерация шламовой воды возможно замыканием водно-шламовой схемы в пределах фабрики с применением флокулянтов. Эффективная работа сгустителей и фильтров целесообразна с применением системы автоматизации

Для эффективной работы процессов сгущения и фильтрования система автоматизации должна обеспечивать выполнение следующих функций:

Автоматический контроль расхода и содержания твердого с вычислением весового количества твердого продукта в шламовой воде, поступающей в радиальный сгуститель, автоматический контроль содержания твердого в радиальном сгустителе на одном или нескольких уровнях, контроль содержания, количества твердого, расхода и зольности сгущенного продукта, поступающего на каждый фильтр-пресс для обезвоживания, что может быть сделано с помощью контроля работы подающих насосов с учетом их номинальной производительности.

Автоматическое дозирование расхода раствора флокулянтов на сгущение и фильтрование по количеству твердого продукта поступающего в процесс в автоматическом и ручном режимах.

При разработке всех систем автоматизации решаются задачи визуализации на разных уровнях (от аппаратчика до руководителя предприятия), всех контролируемых параметров, сигнализация и диагностирование неисправностей основных технических средств системы, достижение предельных значений контролируемых параметров, автоматический контроль токовой нагрузки, перегрева, остановки электродвигателей приводов механизмов

При подготовке к автоматизации конкретного процесса специалистами анализируется вся технологическая цепочка обогащения и условия эксплуатации оборудования на фабрике. Таким образом, оборудование приводится в соответствии с техническими характеристиками и регламентом завода изготовителя.

При создании систем автоматизации предъявляются высокие требования к качеству регулирования и эксплуатационной надежности систем автоматизации. Элементы системы — преобразователи сигналов, контроллеры, частотные преобразователи, исполнительные механизмы, позволяют реализовывать алгоритмы управления с различным количеством входных и выходных каналов. Кроме этого, можно осуществить многоуровневое регулирование, что необходимо для повышения эффективности управления технологическим процессом.

Поскольку такие системы управления могут функционировать только при обеспечении их достоверной и полноценной входной информацией, то одной из главных задач при их создании становится применение надежных датчиков и средств автоматического контроля.

При создании системы управления, обследуются техническое состояние технологического процесса и задействованного в конкретной цепи оборудования. После анализа результатов работы вместе со специалистами фабрики составляется техническое задание на систему управления и комплектацию. В системе управления применяются датчики, аппаратура и микропроцессоры, которые имеют высокую чувствительность и надёжность работы, блочную компоновку и промышленное исполнение. Поставка системы производится в оптимальной комплектации.

После монтажа, устранения выявленных дефектов, доработки узлов машины, производится технологическая наладка процесса. Одновременно по специальной программе производится обучение должностных лиц и обслуживающего персонала.

Разработки систем автоматизации технологическим процессом обогащения находят применение на углеобогажительных фабриках Кузбасса. Системы успешно работают на обогатительных фабриках «Беловская», разреза «Ровер», «Шестаки» и «Барзасское товарищество», на ОФ разреза «Черниговский».

Система автоматизации процесса флотации внедрена на обогатительных фабриках компании «Прокопьевскуголь». Работа системы основана на автоматической стабилизации заданного реагентного режима в зависимости от объема пульпы и количества шлама с возможностью дистанционного ручного управления. Для достижения максимальной эффективности процесса, система дополняется непрерывной индикацией зольности отходов флотации. При внедрении системы увеличился выход концентрата, зольность отходов, и уменьшились потери угля с отходами. Экономический эффект от этого сказался на увеличении выхода качественного концентрата и повышением зольности отходов. Окупаемость затрат на внедрение системы автоматизации процесса флотации составила шесть месяцев.

Благодаря автоматизации управления процессом, уменьшение расхода реагентов до оптимальных значений обеспечивает уменьшение отрицательного воздействия на окружающую природную среду.

С учетом накопленного опыта, ООО «Монитор» совместно с ООО «НПП «Арикон» в состоянии решить вопросы комплексной автоматизации процесса обогащения на фабриках Кузбасса и принимает на сервисное обслуживание системы автоматического управления на весь период их эксплуатации.

УДК 622.7

МЕТОД РАСЧЕТА УВЕЛИЧЕНИЯ КРУПНОСТИ ФЛОТИРУЕМЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ЗЕРЕН ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РАСТВОРИМЫХ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ

С.А.Кондратьев, канд. техн. наук

УРАН Институт горного дела СО РАН (ИГД СО РАН), г. Новосибирск

Для объяснения причин увеличения крупности минеральных частиц извлекаемых пенной флотацией в присутствии поверхностно – активных веществ предложен капиллярный механизм упрочнения контакта «частица пузырек» [1]. Анализ капиллярного механизма упрочнения связи «частица пузырек» дан в [2]. Автор показал, что значение силы отрыва, обусловленной капиллярным давлением газа в пузырьке, сильно преувеличено, ее сравнение с весом частицы не дает представления о истинном значении отрывающих усилий. В [3] приводится пример, показывающий насколько незначительна сила веса частицы по сравнению с силой капиллярного прилипания. Для частиц с размером 50 мкм и гидрофобностью поверхности, характеризуемой краевым углом 60°, сила прилипания превышает силу веса в 3400 раз. Идей о природе инерционных сил отрыва, возникающих в турбулентном потоке и соизмеримых с силой капиллярного прилипания, у авторов капиллярного механизма нет, и они их не рассматривают. На ведущую роль этих сил было указано в [4]. Инерционные силы на несколько порядков выше статических, являющихся для авторов [1] мерой сил отрыва.

Неверно утверждение авторов капиллярного механизма о незначительности явления гистерезиса смачивания в пенной флотации. В [4] показано, что «на границе пузырька наблюдаются переменные краевые углы, зависящие от величины капиллярных и гравитационных сил отрыва, а не от соотношения сил смачивания».

В настоящей работе приводится альтернативное объяснение увеличения крупности извлекаемых пенной флотации частиц. Показано, что оно вызвано не упрочнением флотационного контакта, а снижением сил инерции частиц. Масла и поверхностно-активные вещества гасят амплитуду капиллярных волн на пузырьке, что приводит к снижению инерционных сил в результате гашения амплитуды поверхностных колебаний пузырьков. В работе

дается метод расчета модуля упругости поверхностного слоя пузырька ПАВ и расчет изменения крупности извлекаемых пенной флотацией минеральных зерен.

Рассмотрим влияние свойств растворимого молекулярно сорбируемого поверхностно – активного реагента на устойчивость флотационного комплекса в турбулентном потоке пульпы. В качестве такого реагента выберем

додецилсульфат натрия, имеющего 12 атомов углерода в углеводородной цепи (). С учетом несимметричности (имеется одна поверхность, содержащая химическое соединение) упругость поверхностного слоя пузырька будем характеризовать величиной, аналогичной модулю упругости свободных толстых пленок

$$E = A \frac{d\sigma}{dA} = - \frac{d\sigma}{d \ln h}, \quad 1$$

где A – площадь пленки, м², σ – поверхностное натяжение раствора, Н/м, h – толщина пленки, м.

Упругость пленки проявляется лишь в случае изменения ее поверхностного натяжения. Вследствие растяжения и увеличения площади поверхности пленки соответственно понижаются объемная и поверхностная концентрации собирателя, а поверхностное натяжение увеличивается. Появляется дополнительная сила, препятствующая растяжению пленки. Изменение толщины пленки связано с изменением ее площади. Поэтому основным признаком гиббсовской упругости пленки является ее зависимость от толщины.

Численный расчет модуля упругости толстой жидкой двусторонней пленки приводится в [5]. Для определения численного значения модуля упругости предварительно находится зависимость поверхностного натяжения раствора от объемной концентрации $\sigma = f(C)$. В таблице 1 дана зависимость поверхностного натяжения раствора додецилсульфата натрия от его объемной концентрации.

Таблица 1

Поверхностное натяжение, Н/м	Концентрация, моль/м ³	Поверхностное натяжение, Н/м	Концентрация, моль/м ³
0.07275	0.00	0.04802	1.6
0.06731	0.2	0.04670	1.8
0.06498	0.3	0.04515	2
0.06301	0.4	0.04241	2.5
0.06102	0.5	0.04060	3
0.05941	0.6	0.03921	3.5
0.05782	0.7	0.03810	4
0.05643	0.8	0.03728	4.5
0.05525	0.9	0.03678	5
0.05399	1	0.03655	6
0.05261	1.1	0.03636	7
0.05178	1.2	0.03631	8
0.05071	1.3	0.03629	10
0.04989	1.4	0.03629	15

Приведенная табличная зависимость аппроксимируется формулой:

$$\sigma = k_1 \exp(k_2 C) + k_3, \quad 2$$

где $k_1 = 0,036$, $k_2 = -0,7$, $k_3 = 0,036$.

Математическая зависимость $\sigma = f(C)$ позволяет воспользоваться формулой Гиббса для нахождения адсорбции додецилсульфата натрия на границе раздела «газ–жидкость»

3

где R – газовая постоянная, Дж/(моль·К°); T – температура, К°, f – коэффициент активности раствора. Если концентрация вещества в растворе меньше критической концентрации мицеллообразования (0,008 М) коэффициент активности принимается равным единице. На рис. 1 дается типичный график адсорбции, вычисленный по (2, 3) и данным таблицы 1.

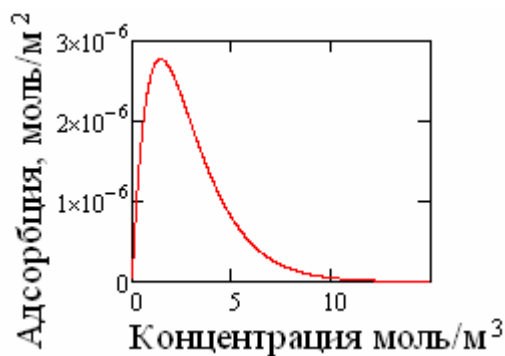


Рис.1. Адсорбция додецилсульфата натрия на границе раздела «газ–жидкость» в зависимости от объемной концентрации.

Зависимость на рис. 1 показывает, что формула Гиббса адекватно отражает величину адсорбции и может быть использована только при малых концентрациях поверхностно–активного соединения (ориентировочно до 0,8 моль/м³). Экстремальная зависимость адсорбции от концентрации подтверждена экспериментально [6]. Концентрации ПАВ в камере флотационной машины обычно сравнительно малы, что позволяет использовать (2 и 3).

При растяжении пленки и увеличении ее площади количество адсорбированного вещества будет возрастать, а объемная концентрация снижаться на ту же величину. Снижение объемной концентрации в зависимости от толщины пленки дается выражением [5] (рис.2)

4

c'

где c' – текущая объемная концентрация ПАВ в пленке, Γ и h – текущие значения адсорбции и толщины пленки при ее растяжении.

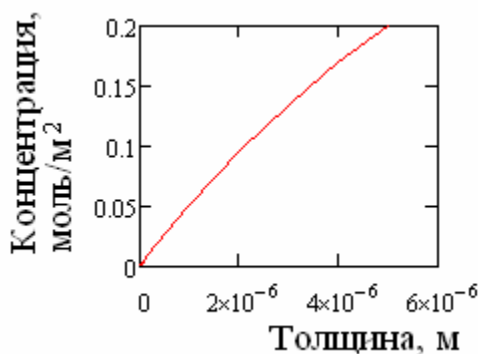


Рис. 2. Концентрация ПАВ в растягиваемой пленке в зависимости от ее толщины.

По известной объемной концентрации и установленной ранее связи $\sigma = f(C)$ находится соответствующее поверхностное натяжение раствора σ . В результате имеем новую зависимость $\sigma = f(h)$ (рис. 3).

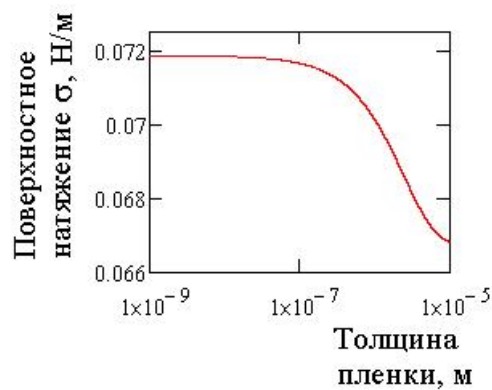


Рис. 3. Поверхностное натяжение раствора в растягиваемой пленке.

Используя формулу (1) по известной зависимости $\sigma = f(h)$ рис. 3 был определен модуль упругости пленки при ее растяжении. Согласно приведенному расчету максимальная упругость поверхностного слоя пузырька составила $\approx 0,002$ Н/м. Начальная объемная концентрация реагента принята $0,2$ моль/м³, адсорбция, моль/м³ $h_0 = 7 \cdot 10^{-6}$, м.

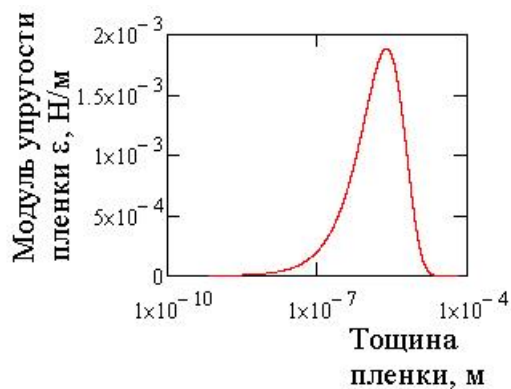


Рис. 4. Модуль упругости пленки

Приведенный расчет определяет модуль упругости пленки в случае медленного ее растяжения. Предполагается, что между раствором в объеме пленки и поверхностью успевает установиться равновесие. Молекулы ПАВ, поступившие из объема пленки, сорбируются поверхностью, и σ пленки восстанавливается, но частично. Неполное восстановление пониженного значения поверхностного натяжения обусловлено меньшей равновесной концентрацией ПАВ на увеличившейся площади границы раздела «газ – жидкость». Если пузырек совершает быстрые колебания, то массообмен между его поверхностью и прилегающей жидкостью осуществляется только в слое толщиной

$$h_{eff} \cong \sqrt{\frac{2D}{\omega}} = 7 \cdot 10^{-7}, \text{ м.}$$

5

Полученная толщина эффективного слоя указывает, что количество ПАВ, содержащегося в нем, не может компенсировать изменения поверхностного натяжения на деформируемых границах «газ – жидкость». Количество ПАВ в приповерхностном слое примерно на порядок уступает количеству сорбированного ПАВ. Из приведенной оценки также следует, что поверхностный слой пузырька будет проявлять динамическую упругость, так как количество вещества, содержащегося в этом слое, уступает массе адсорбированного реагента.

Оценим допустимое уменьшение степени гидрофобности извлекаемого минерала, необходимой для сохранения флотационного контакта в условиях турбулентного движения пульпы с додецилсульфатом натрия. Для этого сопоставим значения максимальных величин отклонения границы раздела «газ–жидкость» от горизонта в результате колебаний на ней минеральной частицы. Воспользуемся уравнением движения гидрофобной минеральной частицы, закрепленной на границе раздела «газ – жидкость» с ПАВ [7].

Коэффициент гашения амплитуды поверхностных колебаний пузырька с $R = 0,00045$ м додецилсульфатом натрия составил $\beta = -50,8$, с-1. В расчете принято, что динамический модуль упругости

приповерхностного слоя равен $\beta = 0,0012$ Н/м. При определении численной величины коэффициента β следует учесть, что для толщины пленки δ величина модуля упругости составляет 0,0012 Н/м (рис. 4). Таким образом, коэффициент гашения волны додецилсульфатом натрия на пузырьке диаметром 0,9 мм принят 0,0012 Н/м.

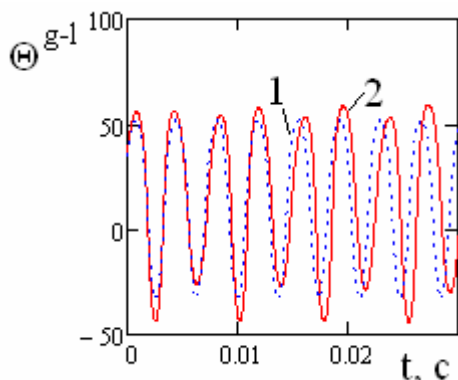


Рис. 5. Угол отклонения границы раздела «газ–жидкость» от горизонта в зависимости от времени. 1 – с применением ПАВ, $\beta = -50,08$ с⁻¹; 2 – без применения ПАВ.

Отклонение границы раздела «газ–жидкость» без использования ПАВ составило 58,9°, а при использовании додецилсульфата натрия с объемной концентрацией 0,2 моль/м³ 49,8° (рис. 5). Размеры частицы, закрепленной на границе раздела «газ–жидкость»: $r_0 = 100$ и $h = 150$ мкм.

Для оценки изменения крупности частиц, извлекаемых в присутствии поверхностно–активных реагентов, определим размеры минеральной частицы, угловая амплитуда колебаний которой достигла 58,9°. Для этого решим уравнение движения гидрофобной минеральной частицы, закрепленной на границе раздела «газ – жидкость» с найденным для додецилсульфата натрия коэффициентом гашения β и новыми значениями размеров частицы. Эти новые размеры найдем методом подбора. Численный анализ показывает, что с применением ПАВ размеры извлекаемых зерен могут быть увеличены до: $r_0 = 120$ и $h = 160$ мкм.

Мелик–Гайказян В. И., Емельянова Н. П., Глазунова З. И. О капиллярном механизме упрочнения контакта частица–пузырек при пенной флотации / Обогащение руд, 1976. – № 1. – С. 38–43.

Класен В. И. К вопросу о «кризисе» современной теории флотации / Цветная металлургия. Известия высших учебных заведений. – 1980. – № 5. – С. 3–9.

Шафеев Р. Ш., Тавдишвили М. В. О селективной флотации тонких шламов / Цветная металлургия. Известия высших учебных заведений. – 1980. – № 5. – С. 13–16.

Матеенко Н. В. Краевые углы, определяющие возникновение и последующее равновесие флотационного комплекса / Современное состояние и перспективы развития теории флотации. – 1979. – М.: Наука. – С. 46–54.

Kitchener J. F. Confirmation of the Gibbs Theory of Elasticity of Soap Films / Nature. – 1962. – V. 194. – P. 676 – 677; Kitchener J. F. Elasticity of Soap Films: an Amendment / Nature. – 1962. – V. 195. – P. 1094 – 1095.

Терновская А. Н., Белополюский А. П. Абсорбция газов в присутствии поверхностно–активных веществ / Журнал физической химии, 1950. – Т. 26. – Вып. 8. – С. 981–987.

Кондратьев С. А. Допустимое снижение гидрофобности поверхности минерала в условиях его флотации карбоновыми кислотами / Физико–технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2006. – № 5. – С. 90 – 99.

УДК 504.064.4: 622.7

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ РЕАГЕНТОВ ПРОИЗВОДСТВА ФГУП «ПО «ПРОГРЕСС» НА УГЛЕОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИКАХ КУЗБАССА

Линев К.Н. – генеральный директор ФГУП «ПО «Прогресс» г. Кемерово

Горбунков И.А – директор технологической компании «Дельта» г. Кемерово

Логинов К.Ю. – директор ООО НПО «Завод химреагентов» г. Кемерово

Клейн М.С. – проф. кафедры обогащения полезных ископаемых ГУ КузГТУ г. Кемерово

Приведены результаты работы коллектива предприятий по разработке, производству и применению на шести обогатительных фабриках Кузбасса нового комплексного реагента собирателя для флотации угольных шламов. Вторым перспективным направлением работы коллектива является производство специального реагента антифриза для обработки угля и ж/д вагонов.

Here are the results of work of a group of enterprises engaged in the development, production and application of the new complex reagent collector for flotation of coal sludge at six ore dressing factories of Kuzbas are given. The second perspective direction of the staff's work is the production of special antifreeze agent for the processing of coal and for railway wagons.

Творческим коллективом сотрудников кафедры обогащения полезных ископаемых ГУ КузГТУ, ФГУП «ПО «Прогресс», технологической компании «Дельта» и компании «Эльта» разработан новый реагент-собирающий для флотации угольных шламов и организовано его промышленное производство для замены на обогатительных фабриках традиционных реагентов-собирающих: термогазойля и керосина. При создании флотореагента решалась задача получения более эффективного и конкурентоспособного по цене собирателя, в т.ч. за счет включения в его состав регенерированных отработанных минеральных масел, активирующих добавок и снижения плеча транспортных перевозок [1].

В 2007 году была выпущена первая промышленная партия такого реагента. Первое внедрение комплексного собирателя проведено на ОФ «Анжерская» весной 2007 г, а в настоящее время новый флотореагент внедрен и успешно используется на шести обогатительных фабриках Кузбасса. Объем реализованного в 2010г. нового флотореагента составил 5 тыс. тонн. В настоящее время, в связи с производимой на ФГУП ПО «Прогресс» реорганизацией, а так же с расширением номенклатуры и объема производимой продукции, производство и поставки реагентов осуществляются совместно с НПО «Завод химреагентов» и от имени НПО «Завод химреагентов» г.Кемерово.

Комплексный реагент – собиратель для флотации угольных шламов представляет собой смесь, основными компонентами которой являются:

- регенерированные нефтепродукты (минеральные масла) с температурой кипения 300-600 оС в количестве до 40 %;
- керосино-газойлевые фракции переработки нефти с температурой кипения 180-300 оС в количестве до 50 %;
- активирующие добавки для увеличения флотационной активности реагента в количестве до 20 %;
- присадки для понижения вязкости и температуры замерзания реагента в количестве до 10 %;
- присадки для предотвращения деструкции парафиновых соединений и выпадения их в осадок.

Процесс приготовления флотореагента включает подготовку отдельных компонентов (отстаивание, очистка через фильтры, фракционирование по температуре кипения и др.), смешивание отдельных компонентов в точном соотношении, установленном для каждой конкретной фабрики, интенсивное перемешивание полученной смеси циркуляционным насосом-диспергатором. Контроль качества приготовленного реагента производится путем сравнения результатов флотации пробы угольных шламов конкретной фабрики вновь приготовленным и стандартным реагентами. В случае несоответствия качества реагента стандартному производится корректировка его состава. От каждой партии отгружаемого реагента отбирается арбитражная проба.

При приготовлении реагентов учитывается изменение угольно-сырьевой базы фабрик, при этом специалисты выезжают на фабрики, работают в собственных лабораториях и корректируют компонентный состав реагентов для каждой фабрики с учетом вещественного и гранулометрического состава шлама, технологии флотационного процесса и эффективности обезвоживания флотоконцентрата на фабрике, т.е. осуществляется инженерное сопровождение применения флотореагента.

На обогатительные фабрики флотореагент поставляется автоцистернами ($V=16,0 - 30,0\text{м}^3$) по упрощенной схеме - заявки на реагент принимаются по телефону. Согласовываются количество, дата и время прибытия автоцистерны, что весьма затруднительно при ж/д поставках.

Основными положительными результатами применения нового комплексного реагента-собирающего являются:

Первое. Экономия материальных затрат на процесс углеобогащения достигается за счет, во-первых, более низкой стоимости флотореагента по сравнению с ранее использовавшимися. Так, в 2010 г. стоимость флотореагента марки «А» составляла 17,5 тыс. руб/т, а стоимость керосина и термогазойля – около 20 тыс. руб/т. Во-вторых, на всех обогатительных фабриках, применяющих новый флотореагент, удельный его расход сократился на 10-30%. Кроме того, на ОФ «ЕвразКоксСибирь», ЦОФ «Кузнецкая» и ЦОФ «Сибирь» флотация шламов осуществляется без применения вспенивателя, что дополнительно снижает общие затраты на реагенты.

Второе. Возможность оперативной поставки флотореагента на фабрики в течение 1-3 дней после получения заявки позволила сократить до минимума складские запасы реагента и уменьшить задействованные оборотные средства предприятий. Отработанная за четыре года система поставок реагента не допустила ни одного сбоя в обеспечении фабрик.

Третье. Постоянная работа исследовательских лабораторий, направленная на улучшение качества флотореагента, обеспечила достижение высоких технологических показателей флотации шламов на производстве. За счет более высокой флотоактивности нового реагента зольность отходов флотации снизилась на 5-10%, что свидетельствует об увеличении выхода концентрата и, следовательно, положительных экономических результатах предприятий. Применение комплексного собирателя повышает скорость флотации шламов и дает возможность повысить объемы переработки угольной мелочи. Улучшение собирательных характеристик нового флотореагента подтверждается устойчивой динамикой снижения его расхода в течение нескольких лет. Например, на ЦОФ «Сибирь» расход флотореагента за первые 3 года сократился почти на 30 %, а в 2011 г еще на 20 % до 0,28 кг/т переработки рядового угля.

Количество поставок и расходы реагентов по обогащательным фабрикам показано в таблице.

Сводная таблица поставки и расхода флотореагентов по углеобогащательным фабрикам в 2010г.

№	Наименование потребителей	Год внедрения	Поставки		Расход реагента, кг/т рядового угля		
			тонн	млн. руб.	старого	нового	±, %
1.	ОФ «Анжерская»	2007	486	8,5	0,29	0,22	- 24,1
2.	ЦОФ «Сибирь»	2007	1 740	30,0	0,52	0,37	- 28,8
3.	ГОФ «Томусинская»	2009	412	7,2	0,26	0,23	- 11,5
4.	ОФ «Междуреченская»	2009	380	14,0	0,15	0,12	- 20,0
5.	ОФ «ЕвразКоксСибирь»	2009	1 956	33,7	0,49	0,41	- 16,3
6.	ЦОФ «Кузнецкая» (декабрь)	2010	70	1,2	0,25	0,19	- 24,0

Улучшение технологических и потребительских характеристик флотореагента достигнуто за счет удаления из отдельных компонентов легко кипящих фракций и введения в его состав специальных присадок. В результате этого практически устранен характерный запах реагента и повышена текучесть реагента при низких температурах (до – 45 оС).

За последние два года разработаны и внедрены две новые марки комплексного собирателя – «А-1» и «А-2», обладающие повышенными собирательными свойствами. Повышение флотационной активности собирателя этих марок достигается введением в их состав нового компонента – поглотительного масла при снижении содержания регенерированных минеральных масел. Применение собирателей марок «А-1» и «А-2» позволило улучшить показатели флотации труднофлотируемых окисленных угольных шламов на ЦОФ «Сибирь».

Летом 2011г. получен положительный результат при проведении промышленных испытаний флотореагента на ОФ «Бачатская-Коксовая», идет договорная работа и в ближайшее время запланировано внедрение нового собирателя взамен термогазоля.

Таким образом, применение комплексного реагента собирателя при флотации угольных шламов подтвердило его высокую технологическую и экономическую эффективность и позволило осуществлять более половины всех поставок реагентов на углеобогащательные фабрики Кузбасса.

Кроме комплексного собирателя в лабораториях КузГТУ и НПО «Завод Химреагентов» разработан реагент вспениватель для флотации угольных шламов марки «Д» для замены реагента КЭТГОЛ. В состав нового реагента входят кубовые остатки производства 2-этилгексанола, циклогексанол и дицилогексанол. В настоящее время вспениватель марки «Д» используется на ГОФ «Томусинская» и периодически на ЦОФ «Сибирь». Условия поставки реагента вспенивателя точно такие же, как комплексного реагента собирателя.

Вторым перспективным направлением работы коллектива является производство специального противозамерзающего реагента для обработки угля и железнодорожных (ж/д) вагонов.

В 2010г. на НПО «Завод Химреагентов» освоено производство абсолютно нового, не выпускавшегося ранее, химического вещества – реагента-антифриза препятствующего смерзанию угольной массы в объеме ж/д вагона и примерзанию ее к стенкам вагона. Всего было выпущено 400 т реагента-антифриза, который прошел

успешные испытания на производственных объектах компании «Южный Кузбасс» и в Дальневосточном порту г. Пасет. Основа физического действия противозамерзающего реагента – вытеснение избыточной влаги из угольных частиц и создание на их поверхности тонкой пленки парафина. Температура применения реагента до – 50 оС. Реагент-антифриз поставляется на предприятия в комплексе со специальными насосными станциями для обработки массы угля и ж/д вагонов. Станции предусматривают возможность, как ручной обработки, так и механизированной. Есть все основания считать, что развивающийся процесс угледобычи и тенденция на установление холодных зим в Западной Сибири сделают неизбежным широкое применение этого нового реагента-антифриза.

В заключении можно отметить взаимовыгодную стабильную совместную работу нашего коллектива с углеобогащательными фабриками от этапа научной разработки до внедрения на производстве и технического сопровождения нашей продукции, преодоления непредвиденных производственных трудностей, определения экономической целесообразности, финансовых расчетов и встречных поставок.

Литература

Клейн М.С. Утилизация отработанных моторных масел в качестве реагента-собирающего / М. С. Клейн, Т. Е. Вахонина, И. А. Горбунков // Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири. Сибресурс-2004: Материалы XII Междунар. науч.-практ. конф. ГУ КузГТУ. – Кемерово, 2008.

ПОЛУКОКСОВАНИЕ УГЛЕЙ В КУЗБАССЕ: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ

***В.С. Медяник, к.т.н., директор ООО «Завод полукоксования»,
г. Ленинск-Кузнецкий, факс: (8-256) 3-04-29, e-mail: mlipolukoks@mail.ru***

Процесс полукоксования углей (среднетемпературный пиролиз) является наиболее адаптивным в ряду технологий глубокой переработки углей. У него технически выгодный температурный интервал, он экономически менее затратен (по сравнению с высокотемпературным коксованием), он более привлекателен с точки зрения получения широкого спектра кондиционных химических продуктов с высокой добавленной стоимостью. На слайде 1 продемонстрированы основные температурные интервалы переработки углей от механического измельчения (0°С) до сжигания при температуре выше 1500°С.

Следует отметить, что процессы полукоксования и гидрогенизации позволяют получить моторные топлива, фенолы, адсорбенты широкого профиля, пиридановые основания, прекурсоры лекарственных препаратов и многие другие высокоценные химические продукты. В подтверждение этого хочу привести фрагменты исторического аспекта глубокой переработки углей в Кузбассе, приведенные на слайде 2.

Получение академиком Н. Зелинским в 1916 г. жидких горючих фракций перегонкой сапромикситов можно считать отправной, «стартовой» датой глубокой переработки углей.

После открытия в 20-х годах XX века месторождения Барзасских сапропелитов ученые Москвы, Харькова, Томска в режиме полукоксования получили моторные топлива для тракторов и автомобилей. С одной тонны угля выгоняли почти 50 кг бензина, 80 кг керосина, большое количество дегтя. Не нужно быть современным экономистом, чтобы понять явную экономическую эффективность глубокой переработки в то время. В 30-х годах в Кузбассе уже работал сапропелитовый завод.

Завод стал опытным гидрогенизационным в 1938 г., когда в Германии был куплен патент стоимостью 50 млн. марок на способ получения искусственного жидкого топлива гидрированием угля. В конце 30х годов было достигнуто 90% ожижение угля в расчете на органическую массу, из полукоксовой смолы получали бензин-73 (117 т), лигроин (24 т), фенолы (5 т). В это время в Германии работало несколько заводов, которые производили сотни тысяч тонн моторного топлива из угля. Во время войны завод был перепрофилирован на производство толуола. Именно в это время (1943 г.) был сооружен завод полукоксования в г.Ленинск-Кузнецкий проектной мощностью 5 тыс. т полукокса. Фактически завод не справился с запланированными показателями, вместо 5 тыс. т производил 1,5 тыс. т горючего, которое оказалось непригодным к употреблению из-за его способности к осмолению. В докладе председателя Госплана СССР Н.А.Вознесенского (1946 г.) отмечалось: "Завод не может выполнить возложенного на него задания по выпуску моторного топлива, важнейший отход - полукокс становится основным продуктом завода, но он не имеет своего круга потребителей, а просто сжигать полукокс нерационально из-за его высокой стоимости".

В последующие годы завод продолжал выпускать полукокс, мазут, битум, шпалопропиточное масло. Подвергался нескольким реорганизациям и к 1993 году представлял из себя полуразрушенное, в течение нескольких

лет не функционирующее производство: оборудование разукомплектовано, здания приведены в негодность, отсутствовали водо- и теплоснабжение, электрокоммуникации.

Мы стали восстанавливать завод не с целью возобновить производство ИЖТ, а наладить выпуск карбонизированных продуктов, найти реальный рыночный сегмент полукоксу и его модификациям, освоить технологии переработки смол полукоксования, внедрить передовые наукоемкие технологии.

ООО «Завод полукоксования» - это единственное предприятие в России выпускающий полукокс. Благодаря высоким качественным характеристикам продукция предприятия успешно используется в цветной металлургии, производстве ферросплавов, активированных углей и ряда других отраслей промышленности.

В последнее время завод динамично развивается, активно преодолевая последствия спада, порожденного мировым финансовым кризисом. Так, выручка предприятия по итогам 2010 г. выросла в 2 раза по сравнению с 2009 г. По итогам первого полугодия текущего года по отношению к аналогичному периоду прошлого года: производство полукокса марки П-2 увеличилось на 42%, карбюризатора – на 47 %, масла каменноугольного – на 66%.

В 2010 г. три инвестиционных проекта завода полукоксования вошли в комплексный инвестиционный план модернизации и социально-экономического развития моногорода Ленинска-Кузнецкого. В рамках данных проектов на реконструкцию основного производства и на техническое перевооружение котельной предприятием уже было инвестировано более 10 млн. руб.

Следует отметить, что данные инвестиции способствовали созданию в 2011 г. 8-ми новых рабочих мест на предприятии.

На слайде 3 приведена принципиальная схема энерготехнологического комплекса, которая являет собой сто процентную модернизацию существующего производства. Однако без помощи академической науки нам, производственникам, будет трудно говорить о реальном инновационном развитии углехимии в Кузбассе. Недавняя встреча академика А. Конторовича председателя Президиума КемНЦ СО РАН и директора Института углехимии и химического материаловедения СО РАН профессора З. Исмагилова с депутатом ГД РФ, председателем наблюдательного совета промышленно-металлургического холдинга Б. Зубицким наглядное тому подтверждение. Следует отметить, что начиная с 1999 г. до 2005 г. завод представлял свою площадку ученым СО РАН для внедрения их разработок в производство. Был создан Научно-производственный центр глубокой переработки углей СО РАН с участием ведущих академических институтов Сибирского отделения: Института угля и углехимии, Объединенного института катализа, Новосибирского института органической химии, Института теплофизики, Института химии и химической технологии. Первыми проектами в портфеле Центра стали следующие научные разработки: производство активированных углей, изготовление и внедрение нового вида малодымного топлива на основе угля и полукокса, производство брикетированного и гранулированного топлива для коммунально-бытовых целей, технология переработки смолы полукоксования, демонстрационные установки по сжиганию низкосортного топлива и производству жидких углеводородов, другие проекты.

При поддержке Администрации г.Ленинска-Кузнецкого и лично тогдашнего мэра города А. Кочуева был проведен полномасштабный эксперимент по применению малодымного топлива на типовых котельных. Для опытно-промышленной эксплуатации нового вида топлива была выделена котельная, на которой проведено оснащение необходимыми средствами контроля и управления, решены вопросы приготовления топливной смеси, проведены инструментальные замеры и наблюдения, обобщены научно-практические результаты экспериментов (научный руководитель проекта – проф. П. Петрик). Результаты эксперимента показали экологическую и экономическую эффективность нового топлива в сравнении со сжиганием рядового угля: в 4,5-5 раз уменьшаются выбросы пыли, в 1,7-2,5 раза – выбросы окислов серы и азота, при этом увеличивается КПД котлов, относительная стоимость вырабатываемой Гкал остается неизменной, а при некоторых режимах уменьшается. Научно-практические результаты проекта по малодымному топливу рассмотрены Президиумом КемНЦ СО РАН и Администрацией города. Признано целесообразным внедрение указанного топлива на котельных г.Ленинска-Кузнецкого для подтверждения экологической и экономической эффективности опытно-промышленных испытаний.

К сожалению, финансовый кризис, акционирование завода и другие объективные причины не позволили продолжить деятельность научно-производственного центра.

Я хочу выразить личную благодарность академикам Н. Добрецову, В. Пармону, Г. Толстикову; членам-корреспондентам РАН Г. Грицко, С. Алексеенко, профессорам Б. Кузнецову, А. Глушкову за активную помощь заводу в то нелёгкое время, поддержку и личное участие в судьбе нашего уникального предприятия по глубокой переработке угля. Создание Института углехимии и химического материаловедения СО РАН во главе с профессором З. Исмагиловым, углехимиком с мировым именем, а так же активная позиция академика А. Конторовича в части формирования инновационного углехимического направления в Кузбассе, становлении

Угленаукограда – все эти события являются гарантом реального функционирования малотоннажной углехимии в самом ближайшем будущем.

Мы были бы признательны ученым в разработке и внедрении на площадке завода полукокса следующих инновационных проектов (слайд 4):

- производство активированных углей;
- разработка малодымного топлива;
- производство брикетированного и гранулированного топлива;
- технология переработки смол полукокса;
- сжигание низкосортного топлива;
- водоугольные технологии;
- производство жидких углеводородов;
- получение широкого спектра хим. продуктов (фенолы, пиридиновые основания, бензол, нафталин и т.д.);
- создание прекурсоров лекарственных препаратов;
- каталитическое сжигание, индукционные канальные печи и другие проекты.

Для разработки наукоемких технологий по комплексной энерготехнологической и энергохимической переработки углей, где производятся высокоценные продукты для металлургии, химии, фармакологии и т.п. необходимо в ряде случаев строительство опытных и опытно-промышленных установок. На наш взгляд строительство таких установок можно осуществлять не только на промплощадке ООО «Завода полукокса», но и на ГП «Полифлок», ГП «Сибирский сорбент» (г.Ленинск-Кузнецкий).

УДК 662.73

ГУМИНОВЫЕ ПРЕПАРАТЫ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

*Москаленко Т.В., к.т.н., старший научный сотрудник
Институт горного дела Севера имени Н.В.Черского СО РАН, г.Якутск*

Рассмотрены перспективы применения гуминовых препаратов для улучшения экологической ситуации на горнодобывающих предприятиях. Показано, что полученный в ИГДС СО РАН из бурых углей Кировского месторождения Республики Саха (Якутия) гумат калия обладает высокой биологической активностью, что говорит о возможности эффективного применения данного препарата для решения ряда экологических проблем, связанных с техногенным загрязнением природной среды.

Prospects of application of humic preparations for improvement of an ecological situation at the mining enterprises are considered. It is shown that received in Mining Institute of the North, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences from brown coals (deposit "Kirovskoe", Republic Sakha (Yakutia)) the potassium humate possesses high biological activity that speaks about possibility of effective application of the given preparation for the decision of some the environmental problems connected with technogenic pollution of environment.

Применение природных экологически чистых и биологически активных веществ (гуматов) для эффективного повышения плодородия почв с целью увеличения урожайности сельскохозяйственных культур широко известно. В данном докладе хочется остановиться на возможности применения гуминовых препаратов для решения ряда экологических проблем, связанных с техногенным загрязнением природной среды.

Горнодобывающая отрасль является одним из мощных источников техногенного загрязнения природной среды. Вопросы, касающиеся охраны окружающей среды, а также защиты рабочих зон, занимают одно из ключевых мест в настоящее время.

Накопление в биосфере техногенных загрязнителей, преимущественно тяжелых металлов, и повышение радиоактивного фона угрожает состоянию экосистем и здоровью населения.

Последствия загрязнения окружающей среды, особенно в регионах с интенсивно развитой горной промышленностью, представляют собой огромную проблему, и не только в региональном, но и в общегосударственном масштабе. В связи с этим чрезвычайно важными являются не только диагностика и прогноз экологических процессов в регионах с техногенным загрязнением, но и управление этими процессами с целью нормализации нарушенного биосферного равновесия. Частично решить эту проблему можно применяя на загрязненных территориях биологически активные препараты из класса гуминовых веществ.

Гуминовые вещества (ГВ) – это природные высокомолекулярные конденсированные ароматические соединения, которые входят в состав почв, торфа, бурых, окисленных каменных углей и сапропелей.

Положительное влияние гуминовых соединений на рост и развитие растений, повышение их устойчивости к неблагоприятным факторам окружающей среды доказано многочисленными исследованиями.

Гуминовые препараты, получаемые из бурых углей и торфов аналогичны природным гуминовым веществам, обладают таким же широким спектром мелиоративного и биологического действия, относятся к классу биологически активных веществ. Гуминовые препараты повышают способность растений противостоять болезням, засухе, переувлажнению, переносят повышенные дозы солей азота в почве. Доказано, что при систематическом использовании препаратов улучшаются буферные и ионообменные свойства почвы, активизируется деятельность почвенных микроорганизмов, минеральные элементы переводятся в доступную для растений форму, что благоприятно сказывается на почвенной структуре.

Другое важное свойство гуминовых веществ – их способность связывать радионуклиды, ионы тяжелых металлов, разрушать пестициды по истечении срока их действия, иные техногенные отходы, надолго выводя их из оборота и способствуя разложению, а, следовательно, и процессу детоксикации растений и очистке территорий.

Использование гуминовых препаратов обладает экологической эффективностью как для улучшения экологической обстановки на прилегающих территориях работающего предприятия, так и на стадии биологической рекультивации нарушенных земель. При рекультивации гуминовые препараты могут применяться как самостоятельно, так и в комплексе с органоминеральными удобрениями или торфяными смесями при восстановлении почвенного слоя.

На территории крупных предприятий не редко случаются загрязнения нефтепродуктами. В системе мероприятий по рекультивации нефтезагрязненных почв, когда применяется широкий спектр известных на сегодняшний день методов, необходимо также применять методы, направленные на улучшение гумусного состояния: несмотря на снижение содержания нефтепродуктов до санитарно-гигиенических нормативов, гумусное состояние продолжает испытывать негативное влияние остаточного нефтяного загрязнения. Гуминовые препараты являются наилучшим решением проблемы восстановления нарушенного равновесия в природе. После их внедрения загрязненная зона становится живой средой обитания.

Еще одно направление применения гуминовых препаратов для эколого-биологического восстановления территорий – это внекорневая подкормка (опрыскивание) растений, усиливающая продукционные процессы растений. В этом случае усиление продукционных процессов растений может объясняться множественным влиянием ГВ при попадании на растения и почву. В силу того, что ГВ обладают поверхностной активностью, они увеличивают проницаемость мембран и, предположительно, гидрофилизуют стенки магистральных каналов в растениях, а также снижают поверхностное натяжение растворов, что в итоге ускоряет передвижение питательных веществ. При этом, чем лучше транспорт и круговорот питательных веществ в растениях, тем выше скорость фотосинтеза, тем больше поступает в растения соединений минерального питания. Кроме того применение опрыскивания загрязненных территорий растворами гуминовых препаратов позволит улучшить состояние воздуха рабочих зон.

Таким образом, применение гуминовых препаратов для восстановления окружающей среды является разноплановым и позволит снизить уровень загрязнений, в том числе и тяжелыми металлами, и привести эти объекты в более благоприятное экологическое состояние.

В Институте горного дела Севера им. Н.В.Черского СО РАН разработан способ получения гуминовых веществ из бурых углей [1]. Продуктом являются безбалластные физиологически активные гуматы калия. Для производства гуминовых препаратов создана опытная полупромышленная установка. Физиологическая активность данного препарата была изучена в лабораторных и полевых условиях на сельскохозяйственных культурах, выращиваемых на территории Республики Саха (Якутия) и Забайкальского края.

В качестве наглядного примера физиологической активности гумата калия различной концентрации ниже приведены результаты одного из биологических тестов. Лабораторный тест по проращиванию семян (в данном случае рапса) основан на определении прироста размеров и массы растений по сравнению с контролем на ранней стадии их онтогенеза. Все замеры сравниваются с контрольными образцами – параметрами ростков, полученных без добавления гуминовых препаратов. Результаты тестирования приведены в таблице.

№ варианта	Условия теста (концентрация гумата калия)	Прирост длины корня, (%)	Прирост длины стебля, (%)	Прирост массы, (%)
1	Дистиллированная вода	Контроль	–	–
2	C = 0,01 г/л	25,19	18,70	13,02
3	C = 0,05 г/л	25,41	49,36	31,01
4	C = 0,1 г/л	11,29	59,23	37,80
5	C = 0,15 г/л	10,36	50,81	33,67

В стандартном биологическом тесте, позволяющем оценить активность препарата по сравнению с контролем по размерам и массе прироста растений на ранней стадии онтогенеза, величина показателей для гуминовых препаратов, выделенных из бурых углей различных регионов России составляет в среднем 10-30 % [2]. Показатели рассматриваемого гуминового препарата превышают эти показатели (таблица). Исходя из результатов тестирования наглядно видно, что полученный в ИГДС СО РАН препарат гумат калия из бурых углей Кировского

месторождения Республики Саха (Якутия) обладает высокой биологической активностью и возможен к применению в условиях работы горнодобывающих предприятий для улучшения экологической ситуации на прилегающих территориях, а также на биологическом этапе рекультивации.

Список литературы:

1. Патент РФ № 2174529, МКИ С 10 G 1/04, С 05 F 11/2. Способ получения гуминовых веществ / Новопашин М.Д., Бычев М.И. Михеев В.А., Петрова Г.И., Москаленко Т.В. // Ин-т горного дела Севера СО РАН; Заявл. 22.10.99; Опубл. 10.10.2001. – Изобретения. Полезные модели. – 2001. – № 28. – 6 с.
2. Родэ В.В., Рыжков О.Г. Гуминовые препараты из бурых углей месторождений России // Химия твердого топлива. – 1994. – №6. – С.43-49.

УДК 621.311

**УТИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ УГЛЕОБОГАЩЕНИЯ В ВИДЕ ТОПЛИВНЫХ
ВОДОУГОЛЬНЫХ СУСПЕНЗИЙ**

***Мурко В.И., д.т.н., проф., директор по науке, Федяев В. И., генеральный директор,
Вахрушева Г. Д., научный сотрудник, (ЗАО НПП «Сибэкотехника», г.Новокузнецк),
Айнетдинов Х. Л., (директор энергетической службы ОАО «Междуречье», г.Междуреченск),
Антипенко Л. А., (СибНИИУглеобогачение, г.Прокопьевск)***

Важной задачей, которая стоит перед учеными и энергетиками в настоящее время, является максимально экономное расходование энергоносителей и наибольшая «экологизация» процессов их использования. Одной из проблем энерготехнологического использования угля является проблема утилизации отходов шламов после углеобогащения. В процессе эксплуатации, на углеобогащительных фабриках в больших количествах образуются побочные продукты обогащения – тонкодисперсные отходы. Использование энергетического потенциала этих отходов позволит получить дополнительное количество энергии и обеспечить снижение экологической нагрузки. Эта задача, может быть решена путем создания водоугольного топлива (ВУТ) из шламов углеобогащения. Основными проблемами на пути к широкому применению таких топлив является то, что кек пресс-фильтров и отходы флотации переувлажнены, имеют низкую теплоту сгорания и относятся к трудно сжигаемым топливам. Для эффективного сжигания таких топлив требуется разработка специальных технологий и технических средств. В этом случае успешно применяется технология низкотемпературного вихревого сжигания суспензионного угольного топлива в адиабатических камерах сгорания, которые либо встраиваются в топочное пространство существующих или вновь разрабатываемых котлов, либо устанавливаются рядом с действующим котлоагрегатом [1 - 3].

Данные исследования являются актуальными еще и потому, что в настоящее время практически отсутствуют сведения о реологических параметрах и теплофизических характеристиках водоугольных суспензий, получаемых из тонкодисперсных отходов углеобогащения, что крайне необходимо для правильного выбора технологического оборудования и проведения расчетов при проектировании установок приготовления и сжигания ВУТ.

Целью работы было исследование возможности получения и процесса сжигания топливных ВУТ из отходов обогащения углей разной степени метаморфизма, в частности фильт-кеков, для дальнейшей утилизации в котлах малой и средней мощности.

Для определения возможности приготовления суспензионного угольного топлива были отобраны и проанализированы пробы фильтр-кеков, полученных в процессе переработки углей различных стадий метаморфизма (марки угля) и значений зольности Кузнецкого угольного бассейна.

Таблица 1

Характеристика суспензионного угольного топлива на основе фильтр-кеков углеобогащительных фабрик Кузбасса

Зольность исследуемых проб фильтр-кеков менялась от 18,7% до 52,3%; влажность варьировалась в

Зольность, A^d , %	Добавка	Количество добавки от твердой фазы, %	Массовая доля твердой фазы, C_T , %	Гранулометрический состав, классы, мм					Низшая теплота сгорания Q_i^r , МДж/кг	Структурная вязкость μ_0 , Па·с
				+0,355	0,250-0,355	0,160-0,250	0,071-0,160	-0,071		
ОФ «Северная»										
23,6	Тип С	0,1	50,1	4,2	2,7	2,2	7,2	83,7	11,7	-
24,6	Тип С	0,4	52,9	4,0	2,4	2,5	8,3	82,8	12,3	0,30
18,7	Тип С	0,3	52,8	-	-	2,3	3,5	94,2	13,4	0,11
ЦОФ «Абашевская»										
26,4	Вариант В2	1,0	68,4	1,5	1,5	14,2	20,0	62,8	14,8	0,31
ОФ «Щедрухинская»										
26,2	Вариант В2	1,0	51,7	0,3	1,0	2,0	12,9	83,8	11,5	-
32,9	Вариант В2	1,0	59,3	1,7	5,4	3,6	23,4	65,9	12,3	0,11
31,5	Тип R	1,0	55,1	0,5	2,4	3,0	20,6	73,5	11,5	0,09
ОФ «Междуреченская»										
44,5	Вариант М1	0,31	60,1	0,6	2,5	1,7	19,6	75,6	10,3	0,29
53,3	Вариант М1	0,31	62,2	9,1	9,4	3,9	16,9	60,7	9,2	0,11
ЦОФ «Кузбасская»										
27,1	Вариант В1	1,0	56,5	-	2,1	1,5	11,9	84,2	13,0	0,26
ОФ «Красногорская»										
27,7	Вариант В1	1,0	55,2	0,8	2,0	1,3	11,3	84,6	12,6	0,22
ОФ «Спутник»										
29,7	Вариант В2	1,0	63,5	0,4	1,9	5,6	21,0	71,1	13,3	0,48
24,0	Тип У _{Красн.}	1,0	60,7	1,0	2,5	6,0	22,0	68,5	13,6	0,39
30,0	Вариант В2	1,0	58,5	0,6	1,6	4,2	21,0	72,6	11,9	0,24

интервале значений от 31,5% до 47,4%. Определяющим параметром с точки зрения теплоэнергетики для топлива является его низшая теплота сгорания, которая для анализируемых проб фильтр-кеков изменялась в интервале от 11,5 МДж/кг (фильтр-кек марки «Т» ОФ «Междуреченская») до 14,7 МДж/кг (фильтр-кек ОФ «Красногорская»). Самую низшую теплоту сгорания имел фильтр-кек марки «КС» ОФ «Междуреченская» (10,0 МДж/кг).

ВУТ на основе фильтр-кеков получали на вибростенде СВУ-2. В процессе получения ВУТ использовались комплексные добавки, состав которых разработан в ЗАО НПП «Сибэкотехника» и представляет собой композиции высокомолекулярных соединений и щелочных реагентов. Характеристика суспензионного угольного топлива на основе фильтр-кеков приведена в таблице 1.

Установлена возможность получения суспензионного угольного топлива на основе тонкодисперсных отходов углеобогащения и фильтр-кеков со следующими характеристиками:

- массовая доля твердой фазы от 53,0% до 63,0%;
- зольность от 18,0% до 50,0%;
- вязкость структурная от 0,3 до 0,5 Па·с;
- низшая теплота сгорания ВУТ от 11,0 до 15,0 МДж/кг;
- статическая стабильность от 10 до 30 суток.

Полученные результаты послужили основой для создания пилотного технологического комплекса, который включал в себя:

- установку приготовления суспензионного угольного топлива (ВУТ) на основе фильтр-кека обогатительной фабрики;
- участок приема, хранения и подачи ВУТ на сжигание;
- котел ДКВР 10-13, переоборудованный на сжигание ВУТ.

Таблица 2.

Результаты работы котла ДКВР-10/13 при различных режимах

№ п/п	Наименование параметра	Ед.изм.	Режим работы		
			работа на угле	совместное сжигание ВУТ и угля	сжигание ВУТ
	Расход угля	кг/ч	400	249	-
	Расход ВУТ	кг/ч	-	1540	1500
	Низшая теплота сгорания Q_d	ккал/кг	5000	1500	2400
	Паропроизводительность, в т.ч.		4,5	5,3	6,0
	на угле	т/ч	4,5	1,9	-
	на ВУТ	т/ч	-	3,4	6,0
	Температура в топке	$^{\circ}\text{C}$	900-1000	950-1100	1050-1100
	Давление сжатого воздуха	атм.	-	3,5-4,0	4,0-5,0
	Давление ВУТ	атм.	-	5-5,5	5,5-6,5
	КПД (расчетный)		0,78	0,81	0,88

Производительность установки приготовления составляет 4 т/ч. Работа котла осуществлялась в трех режимах:

- 1-й режим — работа котла на рядовом угле;
- 2-й режим — работа котла при совместной подаче угля и ВУТ;
- 3-й режим — работа котла только на ВУТ, без подачи угля.

Полученные результаты представлены в таблице 2.

Анализ данных таблицы 2 показывает, что возможна устойчивая работа котла на ВУТ без подсветки углем при значениях низшей теплоты сгорания ВУТ 2400 ккал/кг и более. При этом КПД работы котла при сжигании ВУТ составляет 88%. Режимные испытания технологического комплекса по утилизации тонкодисперсных отходов углеобогащения путем приготовления и сжигания ВУТ показали его работоспособность и соответствие проектным характеристикам.

В результате проведенных экспериментальных и опытно-промышленных исследований по возможности получения и сжигания водоугольного топлива на основе отходов углеобогащения (угольных шламов и кеков фильтр-прессов) определены значения основных структурно-реологических характеристик полученного ВУТ; установлены теплофизические характеристики этого топлива; проведены опытно-промышленные испытания технологии получения и сжигания ВУТ из шламов, которые показали возможность использования такого топлива в системе теплоснабжения промышленных помещений.

Полученные результаты могут быть использованы для расчета технологических схем комплексов по приготовлению и сжиганию ВУТ из отходов углеобогащения.

Литература

Мурко В.И. Разработка мини-ТЭЦ на отходах углеобогащения / В.И. Мурко, А.А. Ивушкин, К.Г. Вегнер и др. // Уголь Кузбасса. 2010. № 12. С.67-68.

Мурко В.И. Результаты промышленного опробования технологического комплекса по приготовлению и сжиганию суспензионного угольного топлива / В.И. Мурко, В.И. Федяев, А.П. Стариков и др. // Сибирский уголь. 2008. № 1. С. 32-34.

Мурко В.И. Разработка и создание технологического комплекса по сжиганию тонкодисперсных отходов углеобогащения в котельной ОАО «Междуречье» / В.И. Мурко, В.И. Федяев, В.И. Карпенко и др. // Уголь Кузбасса. 2010. № 4. С. 102-103.

Аннотация

Показана возможность утилизации тонкодисперсных отходов углеобогащения (фильтр-кеков) в виде водоугольных топливных суспензий с необходимыми структурно-реологическими и теплофизическими характеристиками. Установлены параметры устойчивого и длительного сжигания такого топлива в модернизированном котле ДКВР 10-13.

Annotation

Possibility is shown fine-dispersed waste enrichment of coal (filter-cake) in the form of water-and-coal fuel with necessary structurally-rheological and thermal characteristics. Parameters of steady and long burning of such fuel in the modernized coper are established DKVR 10-13

УДК 622.3.002.68

ПОЛУЧЕНИЕ ТОПЛИВНЫХ ГРАНУЛ ЗА СЧЕТ ПЕРЕРАБОТКИ МАЛОЛИКВИДНЫХ ТВЕРДЫХ ГОРЮЧИХ ОТХОДОВ

Никулин А.Н., Епифанцев К.В., Курта И.В., Санкт-Петербургский государственный горный университет, кафедра безопасности производств

Статья подготовлена при поддержке гранта Правительства Санкт-Петербурга в сфере научно и научно-технической деятельности

Экономия традиционных источников энергии за счет переработки малоликвидных твердых горючих отходов в удобное при использовании окускованное топливо (гранулы) позволяет не только снизить затраты на получение тепловой энергии, но и обеспечить значительные результаты в снижении негативного воздействия на природную среду. Предлагается реализация технологии получения топливных элементов с высокими энергетическими показателями.

The economy of traditional energy sources at the expense of processing low-calorie a firm combustible waste in convenient at use condensing fuel (granules) allows not only to lower expenses for thermal energy reception, but also to provide considerable results in decrease in negative influence on environment. Realization of technology of reception of fuel elements with high power indicators is offered.

Открытые горные работы занимают значительные территории, в пределах которых, а также на сопредельных пространствах, могут располагаться ресурсы невозобновляемых (уголь, горючий сланец, торф) или возобновляемых (лесные кустарниковые, травянистые) твердых горючих веществ. Только в горном производстве России масса всех видов неутилизованных отходов составляет около 45 млрд т [1], а под их складирование занято более 250 тыс. га земель. Эти местные топливно-энергетические ресурсы, как показывает положительный опыт ряда регионов и даже стран, могут быть эффективно использованы в топливно-энергетическом балансе самого предприятия и данного района для нужд тепло-энергоснабжения и получения тепловой и электрической энергии в котельных или в качестве бытового топлива. Дополнительным эффектом в этом случае является экологический, в форме предотвращенного ущерба окружающей среде, связанного с отходами производств.

Под отходами производства пригодными для приготовления топливных элементов понимается – твердые горючие углеродсодержащие малоликвидные вещества, образующиеся в результате добычи, обогащения и переработки полезных ископаемых, а также при обработке биоресурсов в лесопромышленном комплексе и сельском хозяйстве. Основные отраслями, в результате деятельности которых образуется рациональное для облагораживания количество отходов, являются: угольная, лесная, торфяная, сланцевая и сельскохозяйственная (таблица 1).

Таблица № 1 Твердые горючие отходы

№, п/п	Отрасль	Отходы	Качественные характеристики			
			Влажность, %	Зольность, %	Содержание серы, %	Теплота горения, МДж/кг
1	Угольная	шлам	5-25	10-20	0,5-1	20-25
		отсев	8-15	20-40	0,5-2	22-30
2	Лесная	опилки	5-40	0,4-0,6	0-0,3	16-18
		щепа	10-60	0,4-0,6	0-0,3	17-19
3	Торфяная	торф	30-55	2-9	0,1-0,5	19-25
4	Сланцевая	сланец	10-15	45-50	1-2	14-18

5	Сельско- хозяйственная	солома	10-20	4-10	0,05-2	18-20
		шелуха	10-15	10-12	0,1-0,2	15-19
		зерновых				

В настоящее время перспективными методами переработки вторичных углеродсодержащих ресурсов (отходов) являются:

- брикетирование каменноугольной мелочи нетрадиционными способами с применением активных тонкодисперсных связующих материалов или без них;
- брикетирование мелочи низкосортных бурых углей без применения связующих материалов термическим способом (термобрикетирование);
- окускование древесных отходов тонких классов (брикеты, гранулы, пеллеты) для последующего слоевого сжигания в коммунально-бытовых топочных устройствах.

Брикетирование практически всех видов твердых горючих материалов, отходов обогащения углей, в настоящее время, может производиться в стандартных гидравлических, штемпельных, ротационных и экструзионных прессах с применением разнообразных связующих материалов и без них.

Усовершенствование технологии брикетирования привело к разработке нового экструдерного пресса, относящегося к машинам для окускования топлива и технологии производства формованного твердого топлива, которое может быть использовано для коммунально-бытовых нужд и энергетической промышленности. Пресс для формования твердого топлива включает корпус со шнеком, загрузочный бункер для подачи твердого топлива, матрицу с формующими отверстиями и каналами. Оно снабжено системой кондиционирования и перерабатывающими ножами, при этом шнек снабжен нагревательным элементом и соединен с ним с помощью цилиндрических контактов. Система кондиционирования выполнена в виде сеток, установленных в корпусе, и шлангов, установленных над сетками. Шнек выполнен длиной более 200 см. Технический результат - улучшения качества формируемых на выходе топливных гранул (рис. 1).

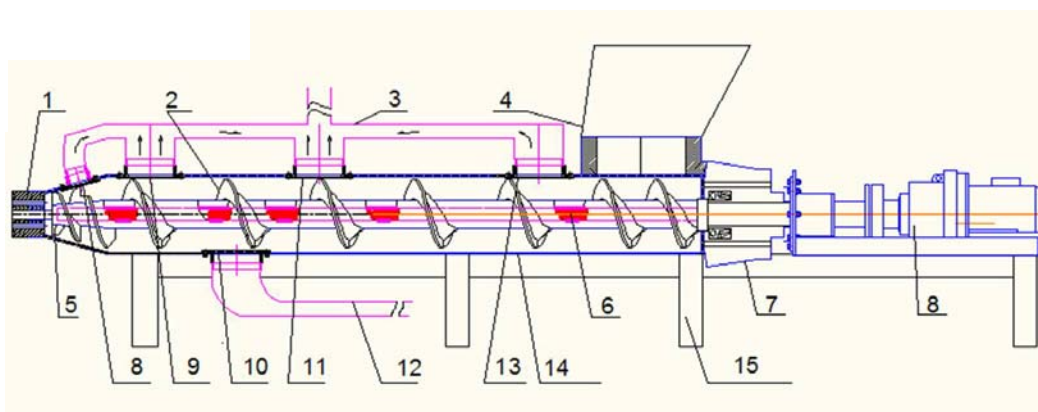


Рисунок 1 – Устройство для формования твердого топлива.

Материал (предварительно подготовленная шихта), поступает в загрузочный бункер 4, затем шнеками 2 перерабатывается и перемещается к формующим отверстиям матрицы 1. За период перемещения формируемого материала по длине корпуса шнеком 2 из него удаляется влага и газовая составляющая и запах путём работы системы кондиционирования, состоящей из сеток 9,10,11,12,14, установленных в корпусе 15 и заборных шлангов 3 и 13, которые соединены с системой вытяжки цеха. Также на перерабатываемый материал воздействует импульс тепловой энергии, возникающей при нагревании шнека нагревательным элементом 6. Перед началом работы двигателя машины включается нагревательный элемент 6 в шнеке 2, который перед запуском предварительно нагревают в течение 10-15 минут.

Устройство для формования твердого топлива отличается увеличенной по сравнению с прототипом влажностью сырья (70-82,5%) в связи с тем, что на выходе из устройства у сформованных брикетов достигается влажность, необходимая по ГОСТ за счёт использования нагревательного элемента.

Таким образом, устройство позволяет улучшить качество формируемых на выходе топливных гранул по прочности и влажности, достаточной для того, чтобы полученные гранулы без операции сушки доставлялись потребителю. Также на порядок улучшаются показатели теплотворности из-за увеличения плотности гранул.

Наиболее подготовленным к производству и апробированным в промышленных условиях является технология брикетирования способом всестороннего векторного воздействия [2]. При таком подходе основным элементом технологии является экструдерный пресс. Технология экструзионного брикетирования была реализована на промышленной площадке угольной шахты в городе Шураб республики Таджикистан.

Основные качественные и количественные параметры готовых угольных брикетов: зольность: 20-30%; выход летучих: 25-30%; сера общая: 0,4-0,9%; сера в золе: 0,1-0,4%; высшая теплота сгорания: 20-25 МДж/кг; низшая теплота сгорания: 18-20 МДж/кг.

Топливные брикеты на основе отходов древесины: зольность: 10-20%; выход летучих: 40-50%; сера общая: 0,2-0,3%; сера в золе: 0,01-0,1%; высшая теплота сгорания: 14-16 МДж/кг; низшая теплота сгорания: 12-14 МДж/кг.

С такими качественными показателями углебрикетное топливо может использоваться в малой энергетике и для сжигания в котлах с производительностью до 30 тонн пара в час или до 20 Гкал в час.

Библиографический список:

1. Дворкин, Л.И. Промышленные отходы как источник ресурсосбережения в производстве строительных материалов. Экотехнология и ресурсосбережение / Л.И. Дворкин, О.Л. Дворкин, Д.А. Корнейчук. – 1997 – № 6.
2. Научное открытие, № 219 от 23 декабря 2002 г. Явление самоструктурирования при брикетировании углеродсодержащих твердых материалов с активным тонкодисперсным связующим. Авторы: Шувалов Ю.В., Бенин А.А., Нифонтов Ю.А.

УДК 622.33:620.9

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ - НЕОБХОДИМОЕ УСЛОВИЕ ГАРМОНИЧНОГО РАЗВИТИЯ КУЗБАССА

***Новикова Е.В., генеральный директор, Харионовский А.А., заместитель генерального
директора ОАО "Межотраслевой научно-исследовательский и проектно-технологический
институт экологии топливно-энергетического комплекса", г. Пермь***

Приведены основные показатели техногенного воздействия на окружающую среду и эффективности природоохранной деятельности предприятий Кузнецкого угольного бассейна, определена их доля в общепромышленных показателях. Показана необходимость существенного повышения уровня природоохранной деятельности для обеспечения экологической безопасности производства и сохранения благоприятной окружающей среды для населения, намечены пути поэтапного решения этой проблемы.

Addaction of basic indexes of technogen influence upon environment and effectiveness of natural conservation of nature activities of enterprises of Kuzbass coal-fields, defined their part in the branch indices. Necessity is showed of importance increase of the level conservation of natural activities for providing of ecological safety of production and conservation of favourable surrounding for population, planed ways of stage decision of this problem.

Кузбасс является самым крупным, перспективным и динамично развивающимся угольным бассейном. В 2010 г. объем добычи угля в бассейне достиг 57,4% от общего объема по отрасли. Экологическая особенность бассейна заключается в том, что на ограниченной территории площадью 27 тыс. км² сосредоточены 60 шахт и 55 разрезов производственной мощностью 219,5 млн. т, 34 обогатительные фабрики по переработке 129 млн.т угля, производственная деятельность которых неизбежно оказывает интенсивное техногенное воздействие на окружающую среду. Более того, экологическая нагрузка на природные экосистемы продолжает увеличиваться. В связи с этим дальнейшее гармоничное развитие бассейна возможно только при условии обеспечения экологической безопасности производства и сохранения благоприятной окружающей среды для населения.

Согласно статистическим данным (таблица 1) в 2010 г. долевое участие угольных предприятий Кузбасса в показателях воздействия на окружающую среду по отрасли составило: в сбросах загрязненных сточных вод в поверхностные водные объекты 56,0%, в выбросах вредных веществ в атмосферу 82,4%, по площади нарушенных за год земель 67,6%, по объему размещения отходов производства во внешних породных отвалах 90,4%.

Таблица 1 – Доля Кузбасса в уровне техногенного воздействия на окружающую среду угольной отрасли в 2010 г.

Показатель	Угольная отрасль	Кузбасс	Доля Кузбасса, %
Сброс сточных вод в поверхностные водоемы, млн. м ³	493,6	263,2	53,3
в том числе: нормативно очищенных	13,0	8,2	63,1
загрязненных	455,0	255,0	56,0

из них: загрязненных без очистки	201,9	102,8	50,9
недостаточно очищенных	253,1	152,2	60,1
Доля загрязненных сточных вод в общем объеме, %	92,2	96,9	-
Удельный сброс загрязненных сточных вод, м ³ /т	1,41	1,37	-
Количество вредных веществ, выброшенных в атмосферу, тыс. т	956,2	788,2	82,4
в том числе: твердых	53,1	36,1	68,0
газообразных	903,1	756,6	83,8
Количество уловленных и обезвреженных вредных веществ, тыс. т	430,1	397,4	92,4
в том числе: твердых	430,0	397,3	92,4
газообразных	0,1	0,1	100,0
Доля уловленных и обезвреженных вредных веществ от образованных, %	45,0	50,4	-
Удельный выброс вредных веществ в атмосферу, кг/т	3,0	4,2	-
Площадь нарушенных земель за год, га	2135,5	1443,1	67,6
Площадь рекультивированных земель за год, га	706,2	386,6	54,7
Доля рекультивированных за год земель от нарушенных, %	33,1	26,8	-
Удельная площадь нарушенных за год земель, га/млн. т	6,6	7,8	-
Образовано отходов за год, млн. т	2113,9	1851,9	87,6
Показатель	Угольная отрасль	Кузбасс	Доля Кузбасса, %
Использовано отходов за год, млн. т	1094,5	933,9	85,3
Размещено во внешних отвалах, млн. т	1151,9	1041,1	90,4
Доля использованных отходов в общем объеме, %	51,8	50,4	-
Удельный объем образования отходов, т/т	6,5	10,0	-
Текущие затраты на охрану природы, млн. руб.	1641,6	1274,8	77,7
Плата за загрязнение окружающей среды, млн. руб.	491,1	377,1	76,8
в том числе: за допустимое загрязнение	370,9	292,4	78,8
за сверхнормативное загрязнение	120,2	84,7	70,5

Показатели, характеризующие эффективность природоохранной деятельности, находятся на низком уровне. Доля загрязненных сточных вод в их общем объеме составляет 96,9 %. До нормативных требований

очищено 3,1 % общего объема сточных вод, что свидетельствует о весьма низкой эффективности работы имеющихся очистных сооружений. Без предварительной очистки в водные объекты сброшено 39,1 % сточных вод.

Доля уловленных и обезвреженных загрязняющих веществ в выбросах в атмосферу составила 50,4 % от образованных. Очистка выбросов от газообразных вредных веществ, основная масса которых приходится на шахтный метан, практически не производится. Доля рекультивированных за год земель находится на низком уровне и составляла 26,8%, доля использованных отходов производства – 50,4 % от образованных. Объем инвестиций, направляемых на охрану природы, чрезвычайно низок. В проектах строительства новых шахт и разрезов зачастую закладываются устаревшие природоохранные технологии.

Плата за загрязнение окружающей среды по предприятиям Кузбасса непрерывно растет и достигла в 2010 г. 377,1 млн. руб., что составляет 76,8% от общей суммы платы по угольной отрасли. При этом, очевидно, что уровень платы, как по Кузбассу, так и по отрасли в целом не отражает экологический ущерб, наносимый окружающей среде, что не стимулирует природоохранную деятельность предприятий-природопользователей.

Учитывая сложившуюся ситуацию, наряду с ежегодной индексацией базовых нормативов платы за загрязнение окружающей среды, Минприроды России взяло твердый курс на существенное поэтапное увеличение платы за сверхнормативное загрязнение окружающей среды за счет введения повышающих коэффициентов к базовым показателям платы. В недалекой перспективе повышающие коэффициенты к базовым показателям платы предусматривается довести за сверхнормативные выбросы в атмосферу и сбросы в водные объекты загрязняющих веществ до 100, за размещение отходов сверх установленных лимитов до 25. Ориентировочные расчеты показывают, что с введением этих коэффициентов общая сумма платы за загрязнение окружающей среды возрастет примерно в 10 раз. При сохранении существующего уровня природоохранной деятельности с учетом роста объемов производства это приведет не только к ухудшению экологической ситуации на территории Кузбасса, но и к существенным экономическим потерям действующих предприятий. Ситуация может усугубиться еще более с реализацией принятого на уровне Правительства Российской Федерации решения о переходе на новую систему нормирования воздействия на окружающую среду по технологическим показателям на основе наилучших доступных технологий (НДТ), которая действует в странах Евросоюза более 10 лет.

Изложенное выше свидетельствует о необходимости разработки и осуществления долгосрочной экологической программы по Кузбассу, поднятия природоохранной деятельности на предприятиях Кузбасса на новый более высокий качественный уровень. Эта задача представляется весьма сложной, но может быть решена поэтапно в рамках экологической программы.

Этап 1 - проведение инвентаризации:

- имеющихся на предприятиях природоохранных объектов (очистных сооружений сточных вод, газоочистных установок, породных отвалов, шламонакопителей и др.) с оценкой их технологического совершенства, технического состояния и уровня эксплуатации;

- нарушенных, загрязненных и деградированных земель с оценкой их качественных характеристик, степени нарушения и загрязнения;

- образующихся (текущих) и накопленных за предшествующий период производственной деятельности предприятий твердых отходов производства с учетом вида, объема и класса опасности для окружающей среды.

По результатам инвентаризации и анализа полученных материалов разработать долгосрочные программы природоохранных мероприятий по Кузбассу, угольным компаниям, акционерным обществам и предприятиям.

Этап 2 – разработка проектной и технической документации:

- на строительство сооружений для очистки сточных вод, сбрасываемых в водные объекты без очистки;
- на реконструкцию очистных сооружений с устаревшей технологией, находящихся в неудовлетворительном техническом состоянии или не обеспечивающих нормативную очистку сточных вод;

- на оснащение стационарных источников промышленных выбросов в атмосферу, не имеющих средств очистки, эффективными газоочистными установками;

- на мероприятия по сокращению землеемкости горных работ, внедрению современных способов ведения рекультивационных работ;

- на мероприятия по максимальному снижению объемов образования отходов производства, их утилизации и экологически безопасному размещению не утилизируемых отходов.

Этап 3 – практическая реализация разработанных проектов природоохранных объектов и мероприятий на предприятиях Кузбасса.

Строительство и реконструкция очистных сооружений шахтных и карьерных вод, газоочистных установок, рекультивация нарушенных земель и другие природоохранные мероприятия должны осуществляться на современной технологической и технической основе с учетом последних отечественных и зарубежных научно-технических разработок.

ИТОГИ ДЕСЯТИЛЕТИЯ

Г.П. Сазыкин, директор по обогащению углей, действительный член академии горных наук, канд. техн. наук, ЗАО «Гипроуголь», г. Новосибирск

В материале изложена информация о проектировании и строительстве нового поколения углеобогачительных фабрик; запроектированных институтом «Гипроуголь».

The material provides information about designing and building a new generation of coal preparation plants; designed by Institute "Giprougol".

Мне раньше казалось, что 10 лет для отдельной отрасли это очень короткий период для достижения каких-то реальных существенных позитивных изменений. И вот прошло только 10 лет после сдачи в эксплуатацию нашего первенца, обогачительной фабрики «Антоновская», а пейзаж обогащения выглядит совсем по другому, на фоне даже лучших фабрик семидесятых годов.

За 10 лет построено по нашим проектам 11 обогачительных фабрик:

- «Антоновская» — 3,0 млн т в год;
- «Бачатская-энергетическая» — 2,5 млн т в год;
- «Бачатская-Коксовая» — 3,0 млн т в год;
- «Краснобродская-Коксовая» — 3,0 млн т в год;
- «Спутник» (шахта «Заречная») — 2,4 млн т в год;
- «Северная» — 3,0 млн т в год;
- «Распадская» — 10,5 млн т в год;
- «Листвяжная» — 6,0 млн т в год;
- «Красногорская» — 1,5 млн т в год;
- «Междуреченская» — 3,0 млн т в год;
- «Степная» — 2,5 млн т в год.

Эти фабрики нового поколения с современной технологией, управляемой АСУТП, с минимальным влиянием на окружающую природную среду, без гидроотвалов и термических сушек, с укрытыми складами товарной продукции, с низкими затратами на переработку углей и в то же время с красивыми фасадами зданий и сооружений, с комфортными условиями для трудящихся.

Это в основном солидные успешные предприятия, стоимость их строительства в среднем составляет 1 млрд. руб. на 1 млн. годовой мощности по переработке рядовых углей.

Существуют разные подходы к оценке стоимости строительства и качества проектов, но, по моему мнению, объективная оценка только одна – успешная эксплуатация предприятия, которое в первый же год достигает проектной мощности без каких-либо реконструкций. Известны факты, когда «дешевые» фабрики даже запустить в эксплуатацию не получается без реконструкции, но затраты на реконструкцию уже никто не относит к затратам на проектирование и строительство. Кстати, серьезно и грамотно запроектированная фабрика всего за неделю выпускает товарной продукции столько, сколько стоят все затраты на проектирование, а окупаются затраты на строительство за 1,5 года.

Все фабрики, построенные в строгом соответствии с проектами, в первый же год освоили проектную мощность. После принятия решения о строительстве фабрики собственник с самого начала старается экономить на проектах и правильно делает, экономить нужно на всем, но нужно всегда понимать результаты «экономии». Зачастую экономия на проектах приносит многократные убытки при эксплуатации. Один мой хороший знакомый миллиардер как-то произнес потрясающую фразу: «... Петрович, тебе-то за что платить, ты взял карандаш, да нарисовал ...». Действительно за что?!

По нашему опыту, затраты на проектирование еще ни разу не превышали 4% от стоимости строительства, при этом количество чертежей на 1 млн годовой мощности фабрики по рядовым углям составляет 1000 листов формата А4 (по статистике «Гипроугля»). Не может быть хороших, но дешевых проектов, дешевой бывает только халтура.

Михаил Иванович Щадов, будучи министром угольной промышленности, был, наверное, единственным уникальным «угольным чиновником» такого уровня, который приезжал в Новосибирск, чтобы убедиться в надежности будущих предприятий у самых истоков, через проекты.

Кстати, капитальные затраты лучше не растягивать по годам, по этапам, решение о строительстве принято, лучше энергично вложить средства сразу, фабрики строятся за 15-18 месяцев, за счет существующего снижения трудоемкости строительства.

Необходимо отметить, что требования к разработке проектной документации существенно ужесточились после выхода Постановления Правительства РФ № 87 от 16.02.2008, объем работ по проектной документации сопоставим с объемом работ по рабочей документации.

Главгосэкспертиза пропускает наши проекты через «сито», а это 7 тыс. страниц (из которых некоторые написаны сложным языком) – ПУЭ, РД, СП, ПБ, СНиП с дополнениями и разъяснениями, СТУ и другие действующие документы. Спрашивается, не многовато ли?

Если бы доверили нам, проектировщикам, разработать современные понятные регламенты для углеобогаательных фабрик, то был бы четкий документ в несколько раз по объему меньше, удобный для работы всем участникам инвестиционного процесса, в том числе и экспертизе. Сегодня для разработки проектной документации уже требуется не менее 8 мес.

Фабрики нового поколения ушли далеко вперед от старой нормативной базы особенно в части обеспечения безопасных условий эксплуатации.

Среди 11 новых фабрик хотелось бы выделить ОФ «Листвяжную» (компания СДС), как предприятие, на которое должны обратить внимание энергетики. Фабрика мощностью 6,0 млн. т в год по обогащению рядовых углей марки «Д», добываемых шахтой «Листвяжная», оборудована всего одним обогащательным аппаратом – отсадочной машиной «Батак» шириной 7 м, изготовленной по индивидуальному заказу немецкой фирмой Гумбольдт-Ведаг. Фабрика очень рациональна как по технологии, так и по компоновке технологического комплекса, укрытый напольный склад товарной продукции емкостью 30 тыс. т позволяет отгружать продукцию потребителям под любые требования по теплотворной способности.

Уже давно пора прекратить сжигать на ТЭЦ рядовые каменные угли с высокой зольностью, это приводит к низким КПД энергоагрегатов. Почему-то для зарубежных энергетиков выгодно обогащать уголь до зольности менее 10%, а мы у себя продолжаем сжигать высокзольные угли, в результате имеем десятикилометровые шлейфы от труб и содержим безразмерные шлакозолоотвалы.

При зольности рядовых углей 23 % ОФ «Листвяжная» выпускает концентрат: 13- 50 мм с зольностью 4,6%; 1-13 мм с зольностью 5,0 %, а отсевом 0-6 мм регулирует зольность товарной продукции, отгружаемой потребителям в пределах 9,5-9,9%.

Кстати, коллектив ОФ «Листвяжная» возглавляет опытный горный инженер А. Б. Валеев, прошедший хорошую школу на одной из сложнейших, но успешно работающей ЦОФ «Беловская» и работающий на ОФ «Листвяжная» с начала ее строительства.

ОФ «Листвяжная» освоила проектную мощность 1000 т/ч и в настоящее время «Гипроуголь» выполняет проект ее технического перевооружения с увеличением мощности до 7,5 млн т в год.

Конечно, не так все просто с такими углями как бурые угли, с углями разреза «Богатырь» в Казахстане, но нужно искать баланс энергопотребления с учетом проблем экологии.

Основное обогащательное оборудование на фабриках применяется как отечественное, так и импортное. В части импортного оборудования нашими партнерами являются «СЕТКО», «Андритц», «Гумбольдт-Ведаг», «ФЛ СМДТ», причем участие иностранных фирм в затратах на проектирование не превышает 10 % и заключается в согласовании объемов поставки в соответствии с нашими проектами и технологией и, в отдельных случаях, в разработке технологических блоков в РД под импортную поставку.

В настоящее время появляются сведения об экспертах в области углеобогащения, которые сами себя таковыми назначают. Вызывает сомнение объективность экспертов, связанных с продажей «своего» оборудования. Кстати, еще никто из собственников не проводил анализа результатов работы предприятия в зависимости от принятых решений тендерных комитетов по выбору оборудования, особенно импортного. В некоторых случаях предприятия теряют выход продукции на десятки миллионов долларов в год только потому, что поменяли проектное оборудование на худшее, по понятным причинам — по советам экспертов.



В целом, прогресс в области углеобогащения в Кузбассе очевиден, но не хватает регулярных откровенных технических советов, информация как положительная, так и отрицательная частными компаниями закрывается, а

это не приносит пользу отрасли особенно в части безопасности труда, да и по защите окружающей природной среды также.

Последний технический совет в 2009 г. по напольным укрытым складам был очень полезен, присутствовали 20 представителей от фабрик, институтов, обсудили много интересного и полезного, начиная отсаморезов и заканчивая особенностью появления метана в складах, после чего были внесены коррективы в проекты напольных складов.

В настоящее время в институте выполняются проекты строительства трех новых углеобогачительных фабрик: «Черниговская-Коксовая» (СДС), «Матюшинская» (Стройсервис) и «Жерновская» (НЛМК) и есть уверенность, что темпы строительства фабрик не будут снижаться.

УДК 622.33:544.77.052.22

ПРИМЕНЕНИЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ФЛОКУЛЯНТОВ ДЛЯ ОСАЖДЕНИЯ УГОЛЬНЫХ СУСПЕНЗИЙ

**Ульрих Е.В., доцент, ФГБОУ ВПО «КузГТУ», г.Кемерово, Россия, Шевченко Т.В. профессор,
ФГБОУ ВПО «КемТИПП», г.Кемерово, Россия, Файрушин Ш.А., аспирант,
ФГБОУ ВПО «КемТИПП», г.Кемерово**

Аннотация

Обсуждена возможность новой классификации полимеров, изучены сравнительные свойства анионных и флокулянтов, а также используемых модификаторов.

Annotation

The possibility of the polymers new classification is considered. The comparative characteristics of the anion floculants and the used modifiers are studied.

В обогащении и, в частности, в углеобогащении из применяемых полимеров наибольшую известность получили флокулянты [1]. Полимеры – особые органические соединения, структуры которых отличаются огромным многообразием. Они имеют многоуровневую структурную организацию за счет присутствия в самой цепи клубков, пачек, глобул, кристаллов. Кроме того, они могут взаимодействовать друг с другом, создавая сложные надмолекулярные структуры, т.е. макромолекулярные образования и полимерные системы по современной классификации веществ в силу своего строения и размеров всегда являются наноструктурными соединениями. Синтез полимеров с заранее заданной наноструктурой, и возможность управления ею при дальнейшем химическом преобразовании, является наибольшей проблемой нанотехнологии. В настоящее время основным поставщиком флокулянтов на фабрики Кузбасса является фирма «Сиба», а ее торговые марки флокулянтов Магнафлок широко известны. Сейчас трудно представить себе нормальную работу современной углеобогачительной фабрики без флокулянтов.

Флокулянты стали применять в Кузбассе с 1972г. Впервые флокулянты были внедрены на ОФ «Березовская».

Постепенно стали возрастать экологические требования к технологиям углеобогащения, и это привело к появлению замкнутых вводно-шламовых систем. Кроме того, построенные давно гидроотвалы на ряде фабрик заполнились, а их новое строительство экологически и экономически нецелесообразно.

Поэтому стала актуальной проблема улучшения технических характеристик используемых на фабриках флокулянтов, что, соответственно, приведет к улучшению процессов флокуляции шламовых вод и увеличит время использования осветленной воды в водооборотном цикле на обогащательных фабриках Кузбасса [2]. Известно, что качественной характеристикой синтетических полимеров является их молекулярная масса.

Предлагаемые флокулянты английской фирмой «Сиба» имеют молекулярную массу 1-3 млн., в зависимости от степени ионности. Флокулянты марки Магнафлок в своем составе содержат полиакриламид 95-98% и 2-5% сополимеров [3]. Такой состав флокулянтов дает возможность увеличения их молекулярной массы в 2-4 раза путем химической модификации органическими веществами алифатического ряда (дихлорэтан (ДХЭ), дихлорпропан (ДХП), пропиленгликоль (ПГ)).

Авторами были исследованы анионные флокулянты марки Магнафлок (низкоанионный М 24, среднеанионный М 156 и высокоанионный М 919) и шламовые воды, которые были взяты непосредственно из технологического процесса обогащения угля с обогащательной фабрики «Антоновская» Кузбасского угольного бассейна. Суспензия содержала 20г/л твердой фазы.

Процесс осаждения взвешенных частиц проводили согласно известной методике, определяли скорость осаждения твердых частиц в присутствии модифицированных и немодифицированных полиэлектролитов.

Полученные данные представлены в таблице 1.

Таблица 1. Флокулирующие и загущающие свойства исходных флокулянтов на шламовых водах.

Флокулянт	Скорость осаждения, мм/с	Высота осадка, мм
М 24	13	90
М 156	20	70
М 919	18	52

Из табличных данных следует, что наибольшую скорость осаждения имеет среднеанионный флокулянт М 156. Этот факт объясняется тем взаимным влиянием таких параметров, как молекулярная масса, степень его анионности, степень свернутости макромолекулярной глобулы, адсорбционными взаимодействиями между флокулянтами и частицами пульпы.

Наименьшая скорость осаждения и мера уплотнения осадка присуща низкоанионному полиэлектролиту М 24.

На основании известных кинетических зависимостей были рассчитаны флокулирующий эффект (D) и флокулирующая активность (λ) для модифицированных флокулянтов, представленные в таблице 2.

Таблица 2. Кинетические параметры седиментации шламовых вод для модифицированных флокулянтов всех видов.

Флокулянт	Модификатор	Скорость осаждения, мм/с	Высота осадка, мм	D	λ
М 919	ДХП	70	16	0,64	2,57
	ДХЭ	60	20	0,58	2,33
	ПГ	52	22	0,52	2,08
М 156	ДХП	50	28	0,60	2,40
	ДХЭ	38	32	0,47	1,90
	ПГ	30	36	0,33	1,33
М 24	ДХП	25	40	0,40	1,60
	ДХЭ	20	43	0,25	1,00
	ПГ	18	45	0,12	0,48

Анализ табличных данных свидетельствует о том, что самая большая скорость осаждения гидрофобной угольной суспензии наблюдается при использовании модифицированного ДХП М 156.

Высокое значение вязкости, повышенная адсорбционная активность модифицированных полиэлектролитов приводит к образованию крупных, быстро оседающих хлопьев.

Влияние дозы флокулянта на процесс флокуляции изучали на угле марки ГЖ. Полученные результаты для исходного и модифицированного ДХП М 156 представлены на рисунке 4.

т, сек

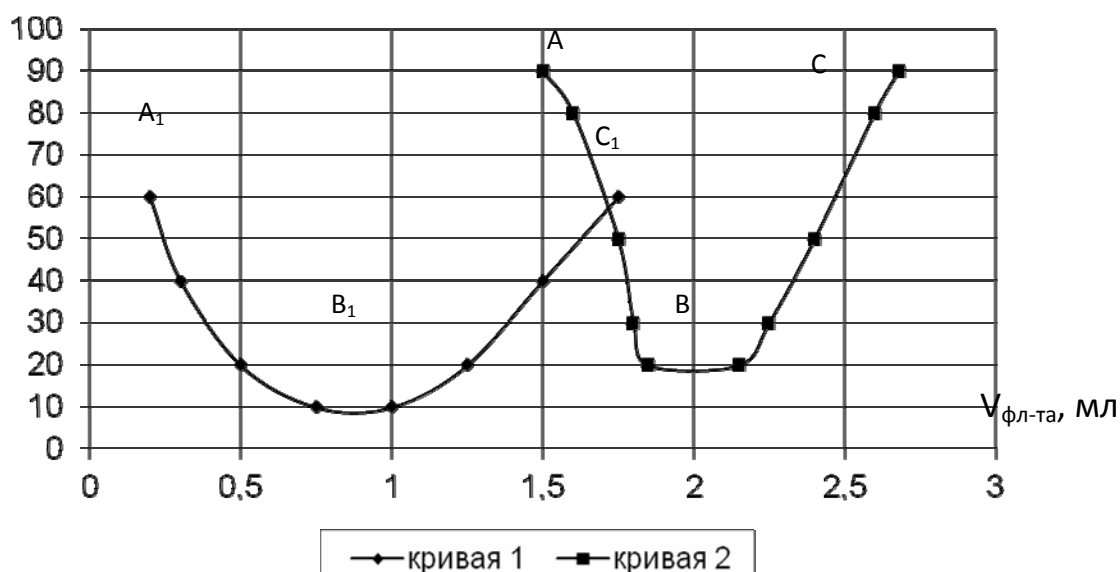


Рис.4. Влияние дозы исходного (кривая 1) и модифицированного ДХП (кривая 2) флокулянта М 156 на скорость флокуляции угольной суспензии.

Эффективность флокуляции характеризуется тремя параметрами: глубиной минимума на кривых устойчивости (она свидетельствует о степени осветления дисперсий за данный период); минимальной концентрацией флокулянта, вызывающей максимальную флокуляцию; протяженностью области дестабилизации.

Анализ рис. 4 свидетельствует о том, что для модифицированного ДХП М156 зона флокуляции (А1В1) в 2-2,5 раза шире, чем зона флокуляции исходного флокулянта. Чем больше интервал, в котором происходит интенсивная флокуляция, тем легче управлять этим процессом. И тем меньше опасность снижения агрегации частиц при незначительном отклонении от оптимальной дозы реагента. Доза флокулянта определяется методом пробного коагулирования для конкретного случая флокуляции. Точки В и В1 соответствуют минимально необходимой для осветления угольной суспензии концентрации флокулянта. Более пологая зависимость кривой устойчивости для флокулянта, модифицированного ДХП, указывает на то, что для осаждения угольных частиц может использоваться достаточно большой диапазон концентраций, тогда как в случае исходного флокулянта не исключена возможность попадания в зону стабилизации (ВС), где происходит перерасход флокулянта без видимого эффекта с образованием мелких, плохо агрегирующих и оседающих флоккул. Из рисунка 4. видно, что скорость флокуляции при использовании исходного флокулянта в 2-2,5 раза ниже, чем при использовании модифицированного ДХП М156, о чем свидетельствует сравнение глубины минимумов кривых. Снижается также расход модифицированного флокулянта, что имеет важное значение в процессах очистки угольных суспензий.

На основании экспериментов отмечено общее интенсифицирующее действие модифицированного ДХП флокулянта М156 по сравнению с немодифицированным, снижен расход модифицированного флокулянта в 2-2,5 раза по сравнению с немодифицированным при одинаковой скорости осветления угольных суспензий.

Библиография

1. Шевченко, Т.В. Изучение физико – химических свойств модифицированных полиэлектролитов на основе полиакриламида / Т.В.Шевченко, М.А.Яковченко, Е.В.Ульрих // Химическая промышленность сегодня. – 2004. - № 10. – С. 27-31
2. Шевченко Т.В. Прикладная коллоидная химия. Флокулянты и флокуляция: монография / Т.В.Шевченко. КемТИПП. – Кемерово, 2004, 146с.
3. Куренков, В.Ф. Деструкция полиакриламида и его производных / В.Ф.Куренков, Х.Г.Хартан, Ф.И.Лобанов // Журнал прикладной химии. – 2002.-№7.-С. 1057-1068
4. Воюцкий, С.С. Курс коллоидной химии / С.С.Воюцкий. – 2-е изд. – М.:Химия. – 1976. – 533с
5. Липатов, Ю.С. Коллоидная химия полимеров / Ю.С. Липатов. – Киев: Наук.думка. – 1984. – 344с.
6. Луховицкий, В.И. Об определении характеристической вязкости высокомолекулярных и сверхвысокомолекулярных полимеров / В.И.Луховицкий, А.И.Карпо // Высокомолекулярные соединения. – 2001. – Серия Б. – Т.34. - №7. – С. 1257-1261
7. Васильев, Б.В. Флокулянты, их растворение и дозирование / Б.В.Васильев, С.В.Морозов // Отведение и очистка сточных вод. – 2002, №5. С.552-558.
8. Литманович, А.Д. К теории флокуляции. Использование разбавленных растворов полимеров / А.Д.Литманович // Высокомолекулярные соединения. – 1993. – Серия Б. – Т.35. - №7. – С.875-877

ПОЛУЧЕНИЕ ТОПЛИВНЫХ ГРАНУЛ ИЗ ОТХОДОВ ПРЕДПРИЯТИЙ ДОБЫЧИ И ПЕРЕРАБОТКИ УГЛЯ

*Ушаков А.Г. аспирант, ассистент, Брюханова Е.С. аспирант, Ушаков Г.В. к.т.н.,
доцент, КузГТУ им. Т.Ф. Горбачева, ООО «МИП НТЦ «Экосистема», г. Кемерово*

Актуальность:

На сегодняшний день охрана окружающей среды и проблема утилизации техногенных отходов является одной из важнейших. В ближайшей перспективе прогнозируется повышение роли угля в топливно-энергетическом балансе России, что обусловлено его крупными запасами и документально отражено в основных положениях «Энергетической стратегии развития России до 2030 года». Интенсивное развитие угледобывающих и углеперерабатывающих предприятий неминуемо связано с высокой степенью нагрузки на окружающую среду и является причиной увеличения объемов твердых углеродсодержащих отходов, значительную долю которых составляют угольные и коксовые шламы, мелочь, отсеvy и пыль что приводит к негативным изменениям в окружающей природной среде.

Характерными экологически неблагоприятными факторами являются образование в огромных количествах твердых отходов при добыче, обогащении и переработке углей, отчуждение больших полезных территорий для хранения твердых отходов и под санитарно-защитные зоны угледобывающих предприятий, эмиссия в атмосферу высокодисперсных частиц и большого количества парниковых газов. Важно отметить, что нарушение природной среды часто носит необратимый характер и потому исключительно важны новые технологические решения, способные обеспечить минимизацию антропогенного воздействия на окружающие экосистемы.

Выше перечисленные проблемы актуальны для нашей страны в целом и для экологии Кемеровской области в частности, на долю которой приходится свыше 60 % добычи каменных углей в России. На сегодняшний день количество отвалов, шламов и территорий, занятых под их складирование приближается к критическим размерам и только путем комплексного использования потенциала таких отходов возможно решение экологических вопросов региона.

Предлагаемым решением экологических проблем утилизации отходов является вовлечение в топливный баланс малоликвидных горючих материалов. Организовав производство брикетов и гранул из мелких классов угля, кокса и угольных шламов, с использованием в качестве связующих веществ продуктов переработки отходов биологических очистных сооружений, скотоводства и птицеводства, можно существенно улучшить культуру топливообеспечения жителей частного сектора, владельцев коттеджей, предприятий, имеющих в пользовании твердотопливные котлы.

Разработанная технология комплексной утилизации вышеперечисленных отходов с получением твердого топлива является актуальной в виду возможности уменьшения потребления традиционных энергоресурсов, снижения антропогенного воздействия на природную среду, что приведет к социальным и экономическим эффектам благодаря реализации получаемой продукции предприятиям и населению.

Цель работы

Ресурсосбережение основных видов топлива и уменьшение техногенной нагрузки на окружающую природную среду путем комплексного использования малоликвидных горючих материалов.

Получаемый продукт – твердый энергоноситель – двухкомпонентный топливный брикет (гранула). Одним из компонентов такого брикетов является мелкодисперсные отходы и некондиционные продукты угледобывающих, углеперерабатывающих предприятий (угольный шлам, коксовая пыль, угольная и коксовая мелочь), другим компонентом – продукт переработки органических отходов сельского хозяйства и биологических очистных сооружений.

Экспериментальные исследования:

Разработанная структура проведения исследований, показана на рис. 1. Основными этапами являются:

1. Изучение свойств исходных объектов. Устанавливают основные характеристики утилизируемых углеродсодержащих вторичных материальных ресурсов и органических веществ, подвергаемых переработке для получения связующего вещества.

2. Изучение влияния различных соотношений уголь : связующее, кокс : связующее и уголь : кокс : связующее на изменение прочности, влажности, зольности и теплоты сгорания топливных гранул. Для повышения эффективности исследований используют методы математического планирования эксперимента.

3. Сжигание полученных топливных гранул в лабораторных условиях и на опытной установке, представляющей собой твердотопливный водогрейный котел, соединенный с отопительным элементом.

4. Разработка технологии получения топливных гранул, составление принципиальной технологической схемы и ее технико-экономический расчет.

Объектами исследования являлись:

Типичные твердые горючие углеродсодержащие отходы и некондиционные продукты, образующиеся на предприятиях Кемеровской области: угольный шлам; угольный отсев; коксовая мелочь; коксовая пыль.

Получение топливных гранул осуществляли следующим образом:

1. Приготовление исходной смеси (шихты) с заданными соотношениями наполнитель : связующее : модифицирующие добавки.
2. Формование смеси окатыванием в барабанном грануляторе.
3. Сушка гранул, как в естественных условиях, так и при температуре $105 \pm 5^\circ\text{C}$ в сушильном шкафу.

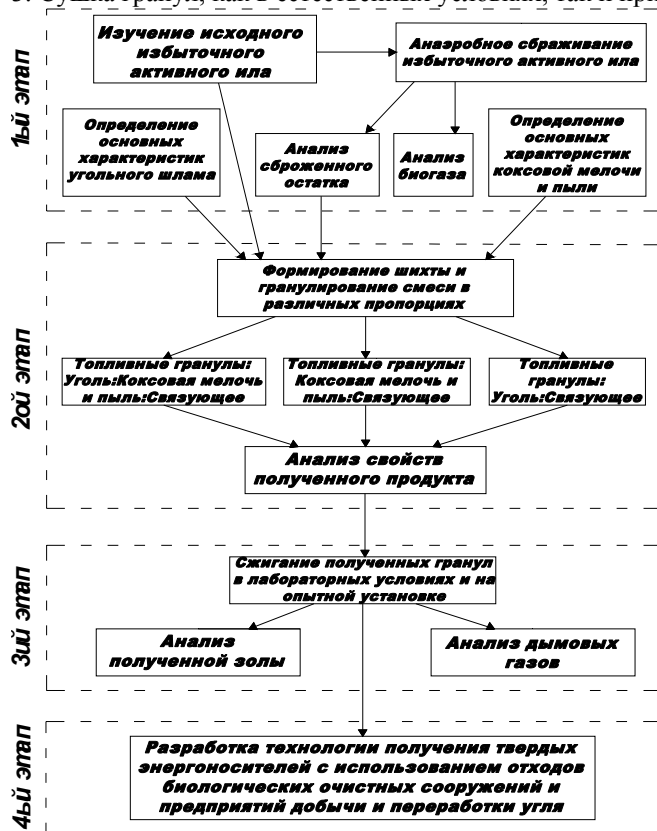


Рис. 1 Структура экспериментальных исследований.

Барабанный гранулятор, представлял собой пластиковую емкость $d=40$ см, с закручивающейся крышкой. Повороты барабана осуществлялись за счет вращения вала двигателем. Время и скорость вращения барабана определяли экспериментально и принимали постоянными для всех дальнейших опытов: время вращения – 15 мин, скорость вращения – 90-100 об./мин.

Изучено три основных типа смесей для получения топливных гранул.

1. Угольные отходы и некондиционные продукты : связующее.
2. Коксовая мелочь и/или пыль : связующее.
3. Угольные отходы : коксовая мелочь и/или пыль : связующее.

При окатывании определяющую роль играет влажность смеси. При применении связующих веществ высокой влажности добавление в смесь твердых углеродсодержащих наполнителей приведет к уменьшению ее влажности и одновременно с этим к снижению массовой доли связующего в составе смеси. Таким образом, не всегда возможно окатывание смеси с высоким содержанием связующего вещества – помехой является высокая влажность и липкость формируемой смеси.

Предложено введение в состав смеси незначительного количества добавок (0,5 до 3 % масс.), обладающих с хорошими гидрофильными свойствами, это сделает возможным управление влажностью формируемой смеси без значительного изменения ее массы и соотношений компонентов.

Одной из важнейших характеристик, определяющей возможность дальнейшего использования гранул, является прочность на сжатие и истирание. Выбор этих параметров обоснован необходимостью транспортирования гранул из сушильного аппарата к месту погрузки; перевозки в таре, при этом гранулы не должны истираться при трении друг о друга и не разрушаться от давления верхнего слоя загрузки; также при выгрузке гранул из тары, загрузки в котел и создании слоя необходимой высоты – на всех этих этапах прочность топлива является определяющей характеристикой.

Проведен анализ большого количества смесей различного состава и рецептур. На основании исследований получено 2 патента РФ на изобретение.

Полученные топливные гранулы, с использованием угольного шлака, коксовой мелочи и пыли, имеют форму близкую к сферической и диаметр от 20 мм до 60 мм и выше (рис. 2). Полученные топливные гранулы характеризовались следующими свойствами: теплота сгорания в зависимости от состава смеси может варьироваться в широких пределах $Q_{sd}=21-27$ МДж/кг и определяться потребностями заказчика., прочность на

истирание 75-80% (остаток на сите 5 мм), $Ad=25-35\%$, прочность одиночных гранул на сжатие составляла от 10 кг до 50 кг.



Рис. 2. Получаемые топливные гранулы различного состава и свойств

Описание процесса внедрения инноваций (этапы реализации проекта):

Планируется два этапа реализации проекта.

На первом этапе планируется создание многофункциональной опытной установки. Цель создания установки – отработка технологий получения твердых энергоносителей из различных отходов и некондиционного сырья промышленных предприятий. Ими являются угольный шлам, угольная мелочь после отсева сжигаемой в котельных рабочей фракции, коксовая пыль и мелочь и пр. Срок первого этапа 2011-2012 гг.

На втором этапе планируется создание опытно-промышленной установки по утилизации вышеобозначенных органических отходов. Она будет состоять из двух технологических узлов – установки по получению связующего вещества и установки получения твердого энергоносителя на основе продуктов переработки органических отходов и твердых углеродсодержащих отходов. Срок второго этапа проекта 2012-2013 гг.

Экономический, экологический эффекты, полученные в результате внедрения инноваций

Будут утилизированы твердые горючие углеродсодержащие отходы (угольные и коксовые шламы, мелочь, отсева, пыль и пр.), образование которых в масштабах Кемеровской области огромно.

В процессе утилизации будут получено твердое топливо, использование которого в народном хозяйстве позволит уменьшить потребление природных энергоносителей – природного газа и угля. Стоимость получаемых по предложенной технологии энергоносителей ниже стоимости природных энергоносителей. С учетом этих данных и результатов расчетов срок окупаемости капитальных вложений в опытно-промышленную установку составит 1,5-2 года.

АННОТАЦИЯ

На сегодняшний день в связи с повышением роли угля в топливно-энергетическом балансе России, повышается нагрузка на окружающую среду по причине увеличения объемов твердых углеродсодержащих отходов.

В работе предлагается использовать малоликвидные горючие материалы: угольный шлам; угольный отсев; коксовая мелочь; коксовая пыль и пр. в качестве наполнителя для получения двухкомпонентных топливных брикетов (гранул).

ABSTRACT

Today a role of coal in fuel and energy balance of Russia is increases, so volumes of firm carbon-containing waste.

There is offered to use small liquid combustible materials: coal slime; coal elimination; coke trifle; coke dust and so forth as filler for reception of two-componental fuel briquettes (granules).

УДК 504.06:541.18:622.3

ПРИМЕНЕНИЕ НОВЫХ РЕАГЕНТОВ «РЕОМАКС» ДЛЯ СКЛАДИРОВАНИЯ ШЛАМОВ УГЛЕБОГАЩЕНИЯ

В.С.Фролов, старший преподаватель кафедры ОПИ. КузГТУ, Кемерово
А.В.Сидоров, инженер, кафедры ОПИ. КузГТУ, Кемерово

В настоящее время, большинство углеобогащательных предприятий, отказалось от сброса шламов или отходов флотации в наружные отстойники.

Тем не менее, ряд фабрик использует наружные отстойники для осветления вод отходов флотации или шламовых вод.

Так как, современные требования запрещают строительство новых гидроотвалов, предприятия вынуждены искать технологические способы увеличения их срока службы, в том числе, интенсификация процессов осветления и возврата осветленной воды на обогатительную фабрику.

Химическим концерном BASF, Германия, были разработаны новые реагенты, модификаторы реологии Реомакс ЕТД. Эти продукты, предназначены специально для складирования продуктов мокрого обогащения в наружные отстойники.

Обработанная реагентом Реомакс, пульпа, быстро отдает большое количество воды, а осадок интенсивно обезвоживается. В результате действия реагента Реомакс на твердые частицы, уже через 7-10 дней, на поверхности гидроотвала, возможна работа тяжелой техники с целью погрузки обезвоженных шламов на самосвалы и вывоз с территории хвостохранилища.

Нами были проведены лабораторные и опытно-промышленные испытания на ряде фабрик Кузнецкого угольного бассейна.

В качестве примера, возьмем одно из предприятий. Основным методом обогащения на фабрике является тяжелосредная сепарация. Шламы плотностью 80-100 г/л направляются в гидроотвал. Шламы практически не осветляются, что приводит к быстрому заполнению гидроотвала.

Работа реагента Реомакс оценивалась по углу растекания осадка и скорости отдачи, получаемого фильтрата.

Данные приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1.

Продукт	Расход реагента, г/т	Концентрация полимера, %	Количество перемешиваний	Угол растекания осадка, %	Количество получаемого фильтрата, мл
РЕОМАКС® 9010	100	0,1	7	3	88
	125	0,1	7	5	90
	150	0,1	7	6	94
РЕОМАКС® 9060	100	0,1	7	2	80
	125	0,1	7	4	85
	150	0,1	7	5	90
РЕОМАКС® 9050	100	0,1	6	4	88
	125	0,1	6	6	94
	150	0,1	6	7	96

Результаты, приведенные в таблице, показывают, что лучший результат показал реагент Реомакс 9050.

Для возможности определения отдачи воды в процентах от общего количества, приведен график на рис.1.1.

График 1.2., показывает зависимость содержания твердых частиц в получаемом фильтрате, от расхода и типа полимера.

Приведенные результаты показывают, что лучшие результаты показал Реомакс 9050. У него самый широкий оптимальный диапазон работы при достаточно эффективных результатах.

Именно этот продукт и был рекомендован для промышленных испытаний.

Проведенные промышленные испытания на фабрике, показали хорошие результаты, в настоящее время, предприятие готово приобрести партию для работы.

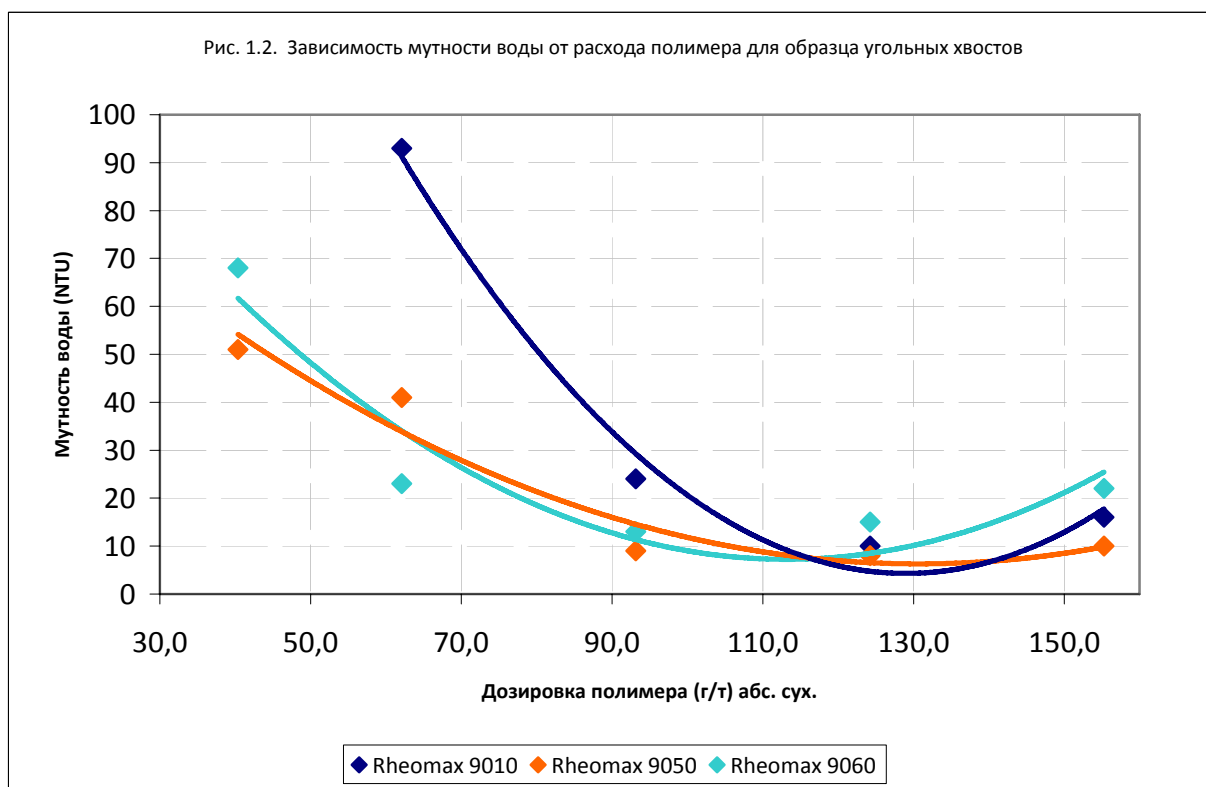
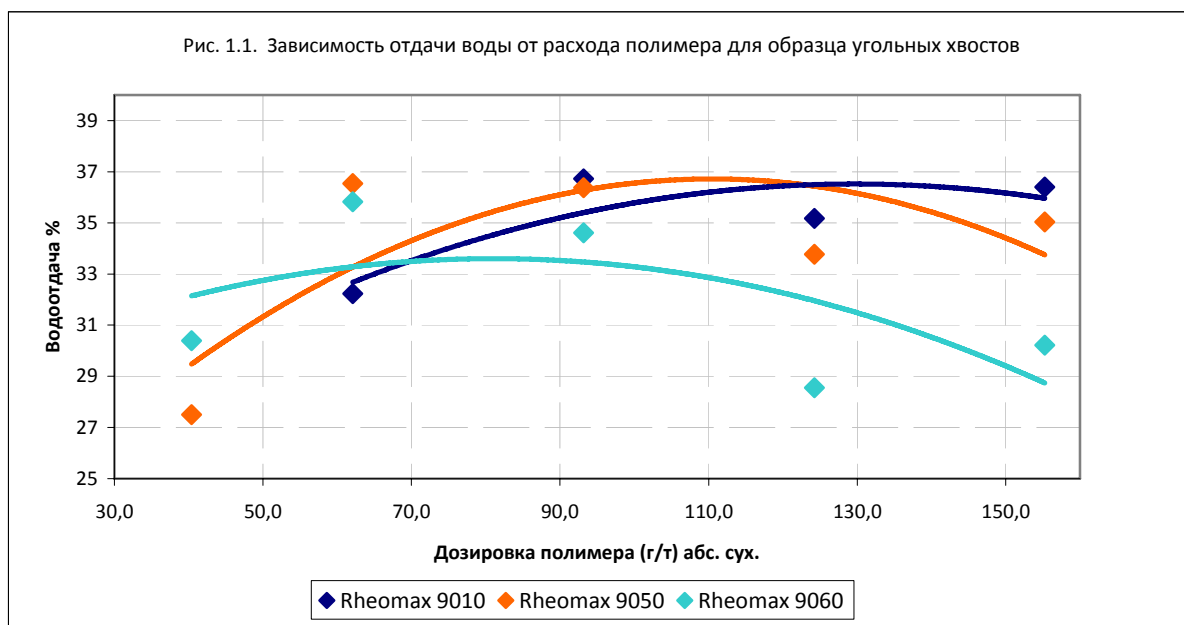
Применение реагентов Реомакс, позволяет:

- увеличить срок службы гидроотвалов;
- получить большее количество чистой воды, возвращаемой на фабрику;
- ускорить процесс обезвоживания твердой фазы.

Laboratory researches of new reagents of modifiers are conducted by Rheomax.

Results have shown an overall performance of new reagents on coal preparation plants.

Carrying out of industrial trials is recommended.



УДК 662.6/8

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ВУС ИЗ КАМЕННОГО УГЛЯ ДЕНИСОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

*Часовенко Е.В., аспирант, Москаленко Т.В., к.т.н., с.н.с.,
Институт горного дела Севера имени Н.В.Черского СО РАН, г.Якутск*

В статье рассмотрен способ управления стабильностью бимодальной водоугольной суспензии. В результате получено, что поведение суспензий с различным содержанием твердой фазы различается, при этом

вязкость не имеет строгой зависимости от времени гомогенизации, то есть, создав определенные условия в технологии приготовления ВУС, можно повысить их вязкость и стабильность.

In article the way of management is considered by stability of bimodal water coal suspension. It is as a result deduced that the behavior of suspensions with the various maintenance of a firm phase differs, and viscosity has no strict dependence on homogenization time. It turns out, having created certain conditions in technology of preparation WCS, it is possible to raise their viscosity and stability.

Угольная электроэнергетика по объемам перерабатываемых углей и концентрации научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ является ведущим направлением. Одна из актуальных проблем современной энергетики – создание экологически чистых видов топлива на основе угля. К таким видам топлива можно отнести водоугольные суспензии (ВУС).

Для водоугольных суспензий важнейшими характеристиками, определяющими их свойства как жидкого топлива, являются реологические параметры и показатели стабильности, включающие измерения механических сил (напряжения сдвига), которые должны быть формализованы для промышленного применения.

В поисках оптимальных параметров текучести дисперсионной среды, необходимо рассмотреть дисперсионную систему, как двухфазную среду, состоящую из твердой и жидкой фазы.

Границы дисперсности суспензий определяются границей коллоидной области и размерами частиц, быстро оседающих в обычных условиях. Дисперсность системы обычно определяется методами седиментационного анализа в частности путем фотоседиментационных измерений или по величине адсорбции добавок, вводимых в дисперсионную среду [1].

Наиболее перспективной технологией приготовления ВУС является гомогенизация дисперсионной твердой фазы, состоящей из нескольких классов угля. Это метод, при котором совместно измельчают несколько классов угля, что приводит к бимодальному гранулометрическому составу суспензии. Содержание твердых частиц в бимодальной суспензии существенно выше, чем в мономодальной, за счет заполнения промежутков между крупными частицами более мелкими.

В мономодальной суспензии максимальное содержание твердых частиц теоретически составляет около 65 %, при этом относительная вязкость приближается к бесконечности. Теоретическое содержание твердых частиц в бимодальных суспензиях составляет более 80 %, что обеспечивает вполне приемлемую вязкость для перекачивания этой суспензии [2].

Способ управления стабильностью ВУС на стадии ее приготовления, с помощью метода основанного на смешивании угля определенных классов крупности, не позволяет поддерживать ее стабильность в дальнейших технологических процессах использования ВУС: хранении, транспортировании и сжигании. В связи с этим разработка новых эффективных методов приготовления ВУС является весьма актуальной задачей.

В качестве сырья для приготовления суспензий был исследован каменный уголь марки КЖ Денисовского месторождения Южно Якутского угольного бассейна. Уголь, предварительно дробленный до крупности менее 3 мм, мололи в шаровой планетарной мельнице Puleverizette 5, фирмы Fritsch в две стадии. На первой стадии осуществлялся сухой размол в течение 3 мин для всех приготовленных суспензий. На второй стадии (стадии гомогенизации) осуществлялся мокрый размол угля в течение 3, 5 или 7 минут при скорости 280 об./мин. В качестве жидкой фазы применялась дистиллированная вода. Были приготовлены ВУС с содержанием твердой фазы 50, 55 и 60 %.

Определение гранулометрического состава полученных ВУС проводили на седиментографе Analysette 20 (фирмы Fritsch) с помощью программы Autosieve, в результате чего были получены графики, отражающие количественное содержание твердых частиц определенных классов крупности в ВУС. Результаты седиментационного анализа для суспензий, подвергшихся гомогенизации в течение 7 минут представлены на рисунке.

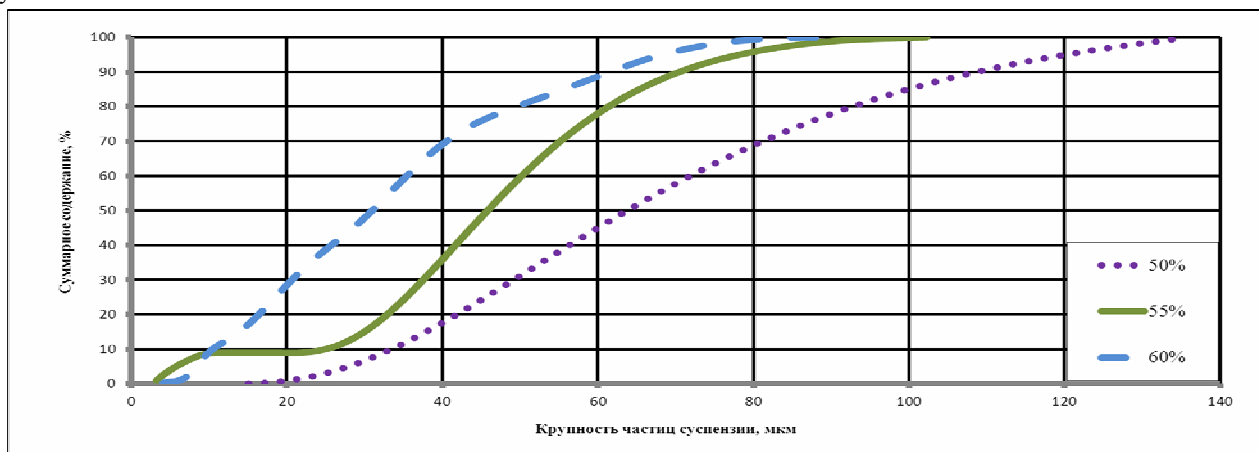


Рисунок. Гранулометрический состав ВУС.

Экспериментальными исследованиями установлено, что ВУС при одинаково равных условиях, но при разном времени гомогенизации дисперсных систем и ее процентном содержании, существенно отличается распределением классов крупности частиц и вязкостью (таблица).

Таблица. Характеристика ВУС, приготовленных из каменного угля Денисовского месторождения

№ э к с п.	Содержание твердой фазы, %	Время гомогенизации, мин	Максимальный размер частиц угля, мкм	Содержание класса, %			Динамическая вязкость суспензии, Па·с
				0-20 мкм	20-40 мкм	0-40 мкм	
1	50	3	50	34	60	94	0,64
2		5	150	9	13	22	0,54
3		7	150	2	13	15	0,85
4	55	3	35	48	52	100	0,54
5		5	100	34	28	62	0,93
6		7	100	9	25	34	0,56
7	60	3	90	34	34	68	0,75
8		5	90	16	24	40	0,75
9		7	90	30	37	67	0,93

Вязкость всех полученных суспензий составляет менее 1 Па·с, что говорит об их приемлемом для транспортировки качестве. Наименьшей вязкостью обладают суспензии, полученные в экспериментах 2, 4 и 6. При увеличении времени гомогенизации с 3 до 5 минут уменьшается содержание мелких классов крупности. При этом вязкость 50%-ной суспензии падает, 55%-ной – увеличивается, а 60%-ной – остается без изменений.

Увеличение времени гомогенизации до 7 минут так же не ведет к уменьшению вязкости (эксперименты 2 и 3, 8 и 9). Увеличение содержания мелких классов в большинстве экспериментов ведет к повышению вязкости (эксперименты 5, 7, 9). В то же время, вязкость суспензий в экспериментах 1 и 3, в которых практически вся твердая фаза представлена классом крупности менее 40 мкм, достаточно низкая.

Таким образом, поведение суспензий с различным содержанием твердой фазы различается, а вязкость не имеет строгой зависимости от времени гомогенизации. Из приведенных экспериментов видно, что для приготовления ВУС из Денисовского угля оптимальным является 55%-ная суспензия с гомогенизацией на шаровой мельнице в течение 3 минут.

По результатам проведенных исследований видно, что согласно теориям, основанным на бимодальном приготовлении водоугольных суспензий, можно повысить их вязкость и стабильность, в результате изменения процентного содержания дисперсионной фазы. Данное обстоятельство следует учитывать при решении задач направленных на разработку эффективных способов управления стабильностью ВУС. Поиск закономерностей влияния гранулометрического состава, времени помола и гомогенизации, а также процентного содержания твердой фазы в ВУС на изменение ее динамической вязкости для разных углей РС(Я) требует проведения дальнейших исследований.

Список литературы:

1. Способ определения скорости седиментации суспензий. Пат. 260991, ГДР, МКИ G01 №15/04 // Реферативный журнал - 1989. - № 12 - С. 8.
2. Бруер Г.Г., Колесникова С.М., Лазарева Л.В. Исследование процесса получения высококонцентрированной водоугольной топливной суспензии из смеси Кузнецкого каменного и Канско-Ачинского бурого углей // Химия твердого топлива. - 1995. - № 5. - С. 18-22.

УДК 622.7.001.57

ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗДЕЛЕНИЯ УГЛЕЙ В ОТСАДОЧНЫХ МАШИНАХ «BATAС» И «ALLMINERAL»

С.О.Шутов, старший преподаватель кафедры ОПИ (ГУ КузГТУ)

И.А.Королев, студент гр. ОП-082 (ГУ КузГТУ)

В.И.Удовицкий, зав. кафедрой ОПИ, профессор, докт. техн. наук, (ГУ КузГТУ)

Определены вероятностные показатели эффективности работы отсадочных машин «Batac» и «Ollmineral». Произведена сравнительная оценка фактических показателей с проектными.

Defined probabilistic performance jiggers «Batac» and «Ollmineral». Carried out a comparative assessment of the actual project.

Отсадка является одним из основных и эффективных технологических процессов переработки каменных углей на обогатительных фабриках. Основана на разнице скоростей движения минеральных зерен в пульсирующей среде разделения.

Процесс отсадки осуществляется в отсадочных машинах. В настоящее время известно множество конструкций отсадочных машин, различающихся между собой по целевому назначению, принципу работы, количеству выдаваемых продуктов.

Оценка работы отсадочных машин производится по нескольким параметрам, одним из которых является эффективность и точность разделения.

Эффективность и точность разделения показывает, насколько близки практические результаты обогащения полезных ископаемых к теоретически возможным, т.е. насколько точно фракции различной плотности распределились по конечным продуктам переработки.

Для оценки технологической эффективности процесса отсадки применяются аналитические, графические или графоаналитические методы, основанные на характеристике качества продуктов обогащения или их фракционном составе.

Оценка точности разделения производится по фракционному составу исходного питания и продуктов, полученных в результате гравитационной переработки углей. Расслоение продуктов используется для экспресс-контроля, при регулировке отсадочных машин и оперативном управлении процессом разделения, а также для определения технологической эффективности новых или модернизированных аппаратов. Оперативный контроль заключается в определении количества посторонних фракций в каждом продукте разделения.

В мировой практике обогащения полезных ископаемых широко применяется метод Тромпа, основанный на вероятностном распределении фракций различной плотности между продуктами гравитационного разделения. Параметрами оценки при этом методе являются среднее вероятное отклонение E_p и погрешность разделения I .

Оценка работы отсадочных машин проводилась по данным опробования исходного питания и продуктов обогащения.

Согласно ГОСТа было проведено расслоение продуктов в тяжелых жидкостях (хлористый цинк) плотностью 1300- 1800 кг/м³. Фракционный состав представлен в таблице 1, 2.

По данным расслоения было определено извлечение продуктов в концентрат и отходы и построена кривая разделения Тромпа.

По кривой разделения Тромпа была определена плотность разделения угля крупностью 2-75 мм в отсадочной машине Allmineral, которая составила 1770 кг/м³, среднее вероятностное отклонение $E_p = 150$ кг/м³ и коэффициент погрешности разделения $I = 0,19$.

Таблица 1

Плотность фракций, г/см ³	Питание	Отходы	
	Выход, %	Выход, %	Извлечение, %
1	2	8	11
< 1,3	61,81	5,13	2,82
1,3-1,4	3,05	1,12	12,46
1,4-1,6	1,46	1,10	25,54
1,6-1,7	0,81	0,84	35,36
1,7-1,8	0,87	1,20	46,86
> 1,8	32,00	90,61	96,20
Итого	100,0	100,0	

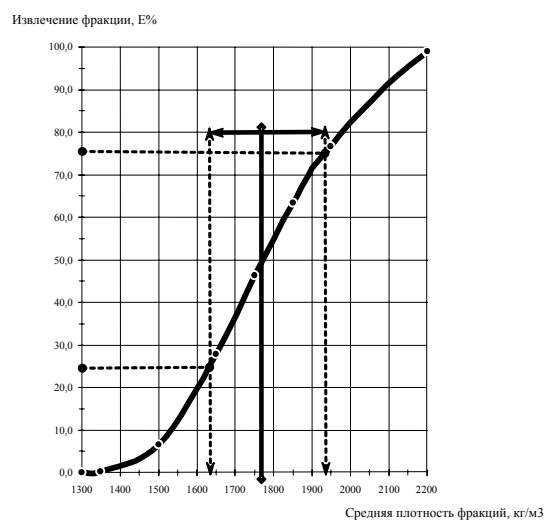


рис. 1.

Аналогичные исследования были проведены с отсадочной машиной Батак. Плотность разделения составила 1790 кг/м^3 , среднее вероятностное отклонение $E_p = 105 \text{ кг/м}^3$ и коэффициент погрешности разделения $I = 0,13$.

Таблица 2

Плотность фракций, г/см^3	Питание	Отходы	
	Выход, %	Выход, %	Извлечение, %
1	2	8	11
< 1,3	41,56	0,65	0,47
1,3-1,4	13,67	0,26	0,57
1,4-1,5	4,6	0,39	2,54
1,5-1,6	2,51	0,52	6,22
1,6-1,8	2,79	1,95	20,98
> 1,8	34,87	96,23	82,80
Итого	100,0	100,0	

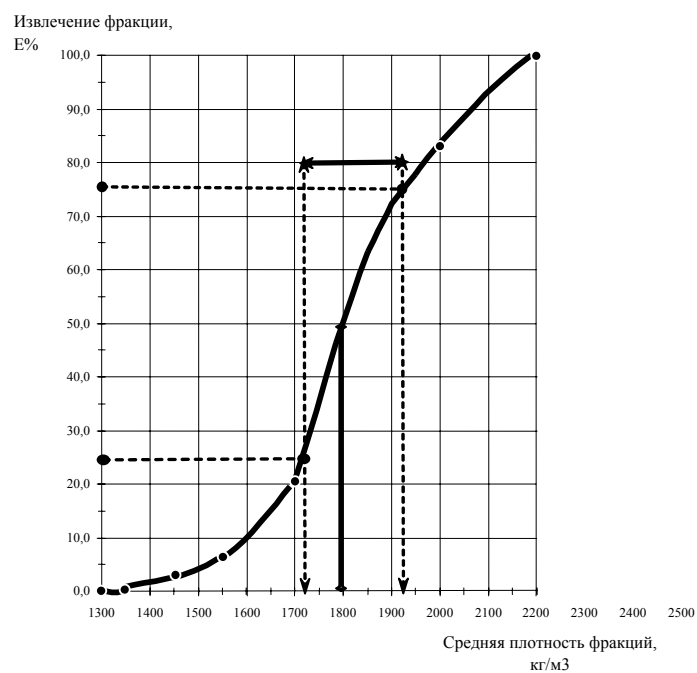


Рис. 2

Н.А.Самылиным промышленными испытаниями отсадочных машин различных конструкций определены значения E_p и I для отсадочных машин мелкого и крупного классов углей.

Среднее вероятное отклонение и погрешности разделения для отсадочных машин

Таблица 3

Класс, мм	Низкая плотность разделения		Высокая плотность разделения		Результаты разделения
	E_p	I	E_p	I	
0,5-13	<0,08	<0,16	<0,16	<0,20	Хорошие Удовлетворительные неудовлетворительные
	0,08-0,13	0,16-0,23	0,16-0,20	0,20-0,25	
	>0,13	>0,23	>0,20	>0,25	
13-100	<0,07	<0,10	<0,10	<0,12	Хорошие Удовлетворительные неудовлетворительные
	0,08-0,10	0,10-0,20	0,10-0,16	0,12-0,20	
	>0,10	>0,20	>0,16	>0,20	

Таким образом, сравнивая практические показатели работы с теоретическими значениями, можно сделать вывод что результаты разделения в отсадочной машине Батак являются хорошими, а в отсадочной машине Allmineral – удовлетворительными.

Список литературы

1. ВНТП 3-92 Временные нормы технологического проектирования углеобогачительных фабрик / Минуглепром.
2. Самылин Н.А. Отсадка / Н.А. Самылин, А.А. Золотко, В.В. Починок; М.:Недра, 1976 г.

УДК 662.612: 662.613: 66.088

НОВЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УГЛЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕХАНОХИМИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ

*Юсупов Т.С., ведущий научный сотрудник, институт геологии и минералогии
им. ак. Соболева СО РАН, г. Новосибирск,*

*Бурдуков А.П., главный научный сотрудник, институт теплофизики им. Кутателадзе СО РАН,
г. Новосибирск*

Антипенко Л.А., директор по науке ОАО СибНИИУглеобогащение, г. Кемерово

Одним из сравнительно новых методов интенсификации технологических процессов является механохимическая активация минеральных веществ

Сущность активации состоит в механических воздействиях на органические и минеральные вещества, превосходящие по величине энергию, необходимую для разрыва связей между частицами и молекулами при разрушении и диспергировании веществ. При этом нарушается упорядоченность нижележащих слоев, возникают структурно-химические изменения, создаются зоны с повышенной концентрацией энергии, возрастает общая свободная энергия Гиббса, в результате чего изменяются такие свойства как растворимость, сорбционная способность, плотность, температура диссоциации и возрастает сорбционная способность во многих технологических процессах. Рождение данного направления основано на разработанных в СО РАН центробежно-планетарных мельницах, но практическое применение планируется с использованием механизмов ударного действия дезинтеграторов.

За последние десятилетия исследованы механохимические преобразования большинства минеральных веществ. В настоящей работе приводятся некоторые результаты исследований по трем направлениям – обогащению углей, механохимической активации углей как энергетического топлива и глубокой деминерализации угольного вещества. Показано, что повышение реакционной способности угольного вещества до 10 раз и более для частиц микронных размеров не может быть объяснено только ростом поверхностной энергии, причина состоит в структурно-химических преобразованиях веществ с увеличением их энтальпии.

Особенность выполненных работ в области обогащения состоит в сравнении селективности измельчения в аппаратах разного принципа действия - центробежно-планетарной мельнице, кавитационной установке и дезинтеграторе. Наиболее благоприятный результат был получен после дезинтеграторной обработки, где основным разрушительным фактором выступает удар. Из исходного угля с зольностью 18.4 % был выделен концентрат с зольностью 3.63 % при выходе 41.03 %, что является лучшими показателями из данных сравниваемых экспериментов. Использование дезинтеграторного измельчения с последующим обогащением представляется перспективным перед сжиганием угольных отходов и шламовых продуктов в первую очередь

коксующихся углей, что позволяет дополнительно выделять ценные угольные концентраты, а оставшаяся часть техногенного сырья используется как топливо [1].

Развито новое направление – механохимическое облагораживание углей перед их подачей на ТЭС на основе повышения энергосодержания, следствием чего является снижение энергии активации [2].

Установлены аномальные свойства механоактивированных углей к окислителям, специфическое поведение органического вещества при термическом разложении, возможностях интенсификации экстракции гуминовых кислот и других процессов. Основной объем работ был направлен на повышение реакционной способности углей в химических процессах. Ряд физико-химических изменений на примере бурого угля приведен в табл.

Наши работы последних лет направлены на облагораживание углей как топлива ТЭС на основе повышения энергосодержания методами механохимической обработки, следствием чего является снижение энергии активации.

При механохимических воздействиях для микропомола также использованы различные мельницы-активаторы. Выполнено сравнительное измельчение в мельницах, отличающихся видом механических воздействий – центробежно-планетарных, вибрационных и дезинтеграторах. Если в первых двух активаторах измельчение достигается сочетанием сжатия и истирания, то в дезинтеграторе проявляется только ударное разрушение. В результате первых видов воздействия имеет место объемное преобразование структуры, а при ударном дезинтегрировании нарушается структура только приповерхностных слоев, что имеет существенное преимущество по затратам энергии при активации угля перед сжиганием.

При ударном измельчении имеет место разрыв периферийных ароматических связей и возникает так называемая бахрома, что и определяет интенсификацию розжига и воспламенения, а в случае сжатия и трения разорванные связи вновь рекомбинируют, снижая поверхностную энергию и энергию активации. При высокоэнергонапряженном измельчении быстро возрастает количество микронных частиц и поверхность реагирования. Превращение угля в механохимическое активное состояние при горении в диффузионном режиме, характерном для факельного сжигания в пылеугольных топках, реально позволяет более чем 3-х-кратное ускорение процесса сжигания, интенсивность теплообмена обратно пропорциональна диаметру частиц.

Особо следует указать существенное снижение величины энергии активации в результате механохимической активации. Процесс снижения Еакт в углях марки Б наблюдается по всему интервалу термического разложения, в точках наибольшей степени разложения расчетная величина Еакт уменьшается с 197 до 110 кДж/моль.

Установлено большое влияние обогащения (деминерализации) угля на уровень энергии активации. Если уменьшение зольности на 10 % снижает величину Еакт концентрата с 190 кДж/моль до 140 кДж/моль, то превращение концентрата в механоактивированное состояние еще более снижает Еакт, которое составляет уже 85 кДж/моль [3].

Подобное повышение реакционной способности позволяет до 5 % сократить расход мазута на единицу сжигаемого топлива или даже полностью исключить его потребление.

Особо следует выделить экологические преимущества при использовании механоактивированных углей на основе снижения содержания в отходящих газах CO₂, SO₂, NO_x, а также твердых компонентов.

Как следует из полученных данных большая дополнительная возможность в снижении энергии активации открывается при механохимической обработке малозольных деминерализованных углей. Получение малозольных угольных фракций определяется главным образом двумя процессами - селективностью измельчения с раскрытием органо-минеральных сростков и эффективностью разделительных технологий.

Однако наиболее глубокая деминерализация достигается в результате химического обогащения. В данном случае целесообразная механохимическая активация в центробежных мельницах, после которых растворением в соответствующих агрессивных средах представляется возможным получать угольные продукты с зольностью менее 1 % [4].

Химическая обработка весьма дорогой процесс, наиболее перспективным является совершенствование методов центробежного обогащения и флотации, которые позволяют также получать концентраты с зольностью 1-2 %. Механическая активация последних в дезинтеграторе позволяет получать продукты с высокими энергетическими характеристиками. Данные продукты приближаются по своим свойствам к газу и мазуту, что открывает перспективы для использования в качестве топлива газовых турбин, двигателей внутреннего сгорания и даже авиационных реактивных двигателей.

Физико-химические изменения бурого угля марки Б-2 Канско-Ачинского месторождения в процессах интенсивных механических воздействий

Физико-химический параметр, претерпевший изменение	Экспериментально полученные данные
Дисперсный состав	Возрастание содержания частиц микронных размеров, получен продукт с содержанием фракции < 2мкм – 18%. Удельная поверхность (S) в процессе механодиспергирования увеличилась от 0.9 м ² /г до 6.1 м ² /г.
Образование (ПМЦ) парамагнитных центров	Методом ЭПР зафиксировано образование свободных радикалов с g-фактором близким к g-фактору свободного электрона. Количество ПМЦ увеличивается симбатно росту дисперсности.
Структура и химический состав угольного вещества	По данным рентгеноструктурного анализа установлено уменьшение степени упорядоченности структуры и рост аморфизации. Методом ИК-спектроскопии показано изменение степени ароматичности угольного вещества и состава активных функциональных групп: возрастание содержания фенольных гидроксидов (полоса поглощения 1260 см ⁻¹), карбонильных групп (полоса поглощения 1700 см ⁻¹) и др.
Реакционная способность в процессах термического разложения угля	Методом ДТА установлены изменения характера термического разложения угля: в инертной атмосфере - смещение основного эффекта разложения в низкотемпературную область, увеличение скорости убыли массы; в атмосфере воздуха - изменение температуры начала окислительной деструкции и температурных интервалов разложения, снижение температуры завершения процесса выгорания.
Энергия активации	Показано, что интенсивное механическое диспергирование приводит к снижению величины энергии активации по всему температурному интервалу разложения, причем наибольшее уменьшение - в низкотемпературной части разложения (до 40% превращения) вещества.

Литература

1. Юсупов Т.С., Шумская Л.Г., Кириллова Е.А.. Влияние способа измельчения на процесс гравитационного обогащения угольного сырья. В кн. «VIII Конгресс обогатителей стран СНГ». Сборник материалов, 2011, т.1, с. 275-278.
2. Бурдуков А.П., Попов В.И., Юсупов Т.С. Использование механоактивированных углей микропола в энергетике. Ползуновский вестник, № 1, 2010, с. 93-98.
- 3.. Юсупов Т.С., Шумская Л.Г., Бурдуков А.П. Активационное измельчение и глубокая деминерализация углей с целью повышения их реакционной способности. Горение и плазмохимия. 2006, т.4, №4, с. 267-275.
4. Юсупов Т.С., Шумская Л.Г., Бурдуков А.П. Химическая деминерализация углей разных стадий метаморфизма. Ж. «ФТПРПИ», 2009, № 4, с. 111-119.

Данные исследования проведены за счет средств ИП № 101 Президума СОРАН, проектов РФФИ № 09-05-00448-а, 10-05-98014-р-сибирь-а, а также соглашения с Администрацией Кемеровской области на 2010-2012 гг. № 18 от 24 июля 2011 г.

Аннотация

В тезисах кратко освещаются три направления повышения качества углей на основе механохимической активации.

Впервые использовано дезинтеграторное измельчение с селективным раскрытием органо-минеральных сростков, что позволяет снижать зольность концентратов в результате обогащения.

Научно-методически обосновано повышение реакционной способности углей как топлива ТЭС в результате механоактивации. При этом повышается энергосодержание, снижается энергия активации и сокращается расход мазута как средство воспламенения угля.

Показаны экспериментальные возможности химического обогащения угля с получением «чистых» и «сверхчистых» концентратов, что открывает перспективы их использования в качестве топлива газовых турбин и двигателей внутреннего сгорания и в других областях.

Abstract

In theses three directions of improvement of quality of coals on the basis of mechanochemical activation are briefly shined. For the first time the disintegrative grinding with selective disclosing of organo-mineral growths was used that allows to reduce ash level concentrates as a result of enrichment.

Scientifically-methodically was proved that mechanochemical activation increases of reactionary ability of coals as fuel TES. Thus maintenance of energy raises, energy of activation decreases and the consumption of black oil as means of ignition of coal is reduced.

It was shown experimental opportunities of chemical enrichment of coal with reception of "pure" and "superpure" concentrates that opens prospects of their use as fuel of gas turbines and internal combustion engines and in other areas.

**СЕКЦИЯ IV:
ОБЪЕДИНЕННЫЕ СЕКЦИИ «ЭКОНОМИКА УГОЛЬНОЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ» И «УГЛЕЭНЕРГЕТИКА,
УГЛЕСБЫТ, ЭКОНОМИКА, ИНВЕСТИЦИИ»**

УДК 330.131

**О СИСТЕМЕ ФУНКЦИОНАЛЬНО СБАЛАНСИРОВАННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
УГОЛЬНЫХ ШАХТ И КОМПАНИЙ**

*Аксенов Е.П., к.э.н., доцент кафедры отраслевой экономики
КузГТУ, г. Кемерово*

Структурно-функциональная методология исследования проблем социально-экономического развития предполагает оптимальную сбалансированность процесса реализации функций целеполагания и целедостижения для обеспечения эффективного управления экономикой, финансами угольных компаний и шахт. Это вытекает из первичности рациональной идеи, воплощенной в целях, задачах управления экономикой, финансами хозяйствующих субъектов по отношению к методам их достижения, решения. Поэтому без четко, ясно сформулированных целей, задач финансово-хозяйственной деятельности в виде проблемно ориентированной системы сбалансированных показателей эффективности финансово-хозяйственной деятельности невозможно реализовать даже самые прогрессивные инновационные методы управления добычей угля подземным способом.

Современные методы финансового менеджмента угольных компаний и шахт значительно расширяют рамки традиционных представлений об экономической эффективности. Менеджеры и специалисты все в большей степени ориентируются на прогрессивные методы управления финансовыми потоками, акцентируя внимание на инструментах управления, позволяющих существенно улучшить качество принятия бизнес-решений. Поэтому использование системы функционально сбалансированных показателей финансово-экономической деятельности угольных шахт и компаний является одним из наиболее результативных методов. Его актуальность, прежде всего, обусловлена непрерывным уточнением, корректировкой, изменением целей и задач угольных шахт и компаний в процессе управления добычей угля подземным способом.

Если в период становления рыночных отношений наше внимание акцентировалось на краткосрочных целях и задачах, направленных на получение значительных размеров прибыли, сиюминутных успехах и достижениях, то в настоящее время в условиях острой конкуренции существенное значение имеет реализация мероприятий, связанных с укреплением рыночных позиций в среднесрочной, долгосрочной перспективе. В этой связи огромное значение имеет реализация всех возможностей угольных шахт и компаний, направленных на привлечение, закрепление потребителей и заказчиков, формирование бизнес-процессов на основе современных прогрессивных информационных технологий, использование высококвалифицированного персонала. Система функционально сбалансированных показателей финансово-экономической деятельности угольных шахт и компаний позволяет рационально использовать материальные и финансовые факторы производства на основе детального исследования существенных причинно-следственных отношений для реализации стратегических целей, задач.

В связи с приоритетом финансовых отношений в современных рыночных условиях огромное значение для развития экономической теории, финансового менеджмента имеют идеи современного меркантилизма, монетаризма, согласно которым экономика является саморегулируемой системой, требующей ограниченного вмешательства государства. Основу данной методологии составляют идеи, связанные с обоснованием вмешательства государства только в денежную сферу. Деньги, по мнению М. Фридмана [1], являются стихийным регулятором всех экономических процессов.

Указанные подходы коренным образом изменяют современные принципы управления, регулирования российской экономики, угольной отрасли Кузбасса, активности рыночных структур, хозяйствующих субъектов. В настоящее время осуществляется разработка, апробирование, использование, совершенствование новой методологии управления экономикой, финансами российского государства, регионов, муниципалитетов, хозяйствующих субъектов, основывающаяся на разумном сочетании этих двух различных направлений, использовании кластерной идеологии. Для этого в первую очередь необходимо изменить менталитет российских менеджеров, специалистов хозяйствующих субъектов. В этих условиях возрастает значение качественного информационного обеспечения, проведения непрерывного финансового мониторинга, контроллинга тенденций, направлений социально-экономического развития, оценки качества экономического роста не по отраслям, а на уровне отдельных рынков, хозяйствующих субъектов, плодотворное использования идеологии инжиниринга, реинжиниринга.

В этой связи современные зарубежные концепции менеджмента основываются на необходимости использования сбалансированной системы показателей (англ. Balanced Scorecard, или Balanced Index's System) [2] для оценки эффективности деятельности хозяйствующих субъектов, в том числе угольных шахт, компаний. Для этого целесообразно использовать интегральный показатель □ прибыль на одного работника промышленно-производственного персонала, экономическое содержание которого раскрывается через множество

сбалансированных функционально взаимосвязанных между собой дифференциальных технико-экономических показателей, частных показателей эффективности, как это показано ниже. То есть в условиях инновационной экономики, когда значительно возрастает роль, значение качества человеческого потенциала, корпоративной идеологии, производительность труда как интегральный показатель эффективности логичнее рассчитывать на основе вновь созданной стоимости, или прибыли.

Взаимосвязь с частными показателями определяется на основе дезагрегирования интегрального показателя, исходя из следующего выражения:

$$\Xi = V \cdot (\Pi - M_e - A \cdot \Phi_e - Z_e - O_e - P_e) = M_0 \cdot \sum \Pi_i, \text{руб.}$$

где Ξ – прибыль на одного работника промышленно-производственного персонала, руб.; V – выработка на одного работника промышленно-производственного персонала, т; Π – средняя отпускная цена 1 т угля, руб.; M_e – материалоемкость добычи 1 т угля, руб.; A – средняя норма амортизации основных производственных фондов, доли единицы; Φ_e – фондоемкость основных производственных фондов добычи 1 т угля, руб.; Z_e – зарплатоемкость добычи 1 т угля, руб.; O_e – отчисления на социальные нужды на добычу 1 т угля, руб.; P_e – прочие денежные расходы на добычу 1 т угля, руб.; M_0 – мультипликатор эффективности, доли ед.; Π_i – элементы прибыли, руб.

Дальнейшее исследование осуществляется на основе функциональной декомпозиции интегрального показателя, частных показателей на составляющие их элементарные показатели на основе использования метода удлинения факторной системы. Это позволяет:

- 1) наиболее полно изучить, количественно оценить влияние горно-геологических, горнотехнических, организационных факторов на изменение величины результирующих показателей;
- 2) осуществить переход от исходной к конечной системе факторов, определить полный состав количественно измеряемых причин, оказывающих прямое влияние на изменение эффективности.

Этим целям в большей мере отвечает детерминированный факторный анализ, представляющий методику исследования влияния факторов, связь которых с результирующим показателем носит функциональный характер и определяется на основе построения детерминированной модели, базирующейся на логическом анализе прямых функциональных связей технико-экономических, финансово-экономических показателей.

Как показывает практика, для построения детерминированных моделей целесообразно использовать смешанные модели, представляющие собой комбинацию аддитивных, мультипликативных и кратных моделей, которые описываются с помощью соответствующих аналитических выражений. Оценка влияния отдельных факторов на изменение результирующего показателя определяется на основе использования балансового метода, суть которого определяется следующим выражением:

$$\Delta y(x_i) = \Delta y - \sum_{i=1}^n \Delta y(x_{i-1})$$

Изложенный подход к формированию системы сбалансированных показателей угольных шахт и компаний является оригинальным и позволяет увязать с функциональных позиций финансовые и общие технико-экономические показатели, максимально формализовать процесс управления экономической эффективностью в рамках финансового менеджмента на основе экономико-математического моделирования, что является необходимым условием для создания специального программного обеспечения. Практические результаты исследований были использованы для разработки компьютерной программы СЭФФМБИ(уголь), которая зарегистрирована и внесена в Реестр программ для ЭВМ Федеральной службой по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам 13 апреля 2011 г. под № 2011611166. Программа позволяет анализировать эффективность менеджмента, помогает повышать деловую, финансовую активность добычи угля подземным способом.

Данная методология, научный подход к управлению финансово-экономическими отношениями хозяйствующих субъектов апробирован на ряде угольных шахт и компаний Кузбасса. Все это позволяет осуществлять детальный финансовый мониторинг, контроллинг, повышать экономический и социальный эффект, сокращать финансовые риски. В управлении финансами все перечисленные аспекты финансового менеджмента должны использоваться системно, комплексно, оптимально, то есть с позиций экономической эффективности и целесообразности. Только в этом случае может быть получен максимальный синергетический эффект на основе системного взаимодействия факторов производства в процессе реализации эффективной процедуры управления, финансового менеджмента.

Использование имеющегося в наличии значительного экономического, финансового, научно-технического потенциала позволит активизировать энергосбережение, сбалансировать производство, спрос на уголь, существенно ограничить выбросы парниковых газов, сохранить высокие темпы экономического роста. Для решения этих сложных проблем, прежде всего, нужна эффективная методология управления, финансового менеджмента, чистые угольные технологии, ориентированные на энергосбережение, адекватные механизмы заинтересованного их использования производителями и потребителями кузбасских углей.

Литература:

1. Фридмен М., Хаек Ф. О свободе. – М.: Три квадрата, 2003.
2. Нортон Р., Каплан Д. Сбалансированная система показателей. – М.: Олимп-Бизнес, 2003.

3. Энергетика и устойчивое развитие [Электронный ресурс]. URL: <http://www.undp.ru/> (дата обращения 07.05.2011).
4. Человеческий потенциал: опыт комплексного подхода /Под ред. И.Т. Фролова. □ М.: Эдиториал УРСС, 1999.
5. Россия перед лицом демографических вызовов. Доклад ООН о развитии человеческого потенциала в Российской Федерации. – М.: ЮНФПА, 2008.

АННОТАЦИЯ

Рассмотрены методологические аспекты использования функционально сбалансированной системы показателей угольных шахт и компаний, вопросы эффективного развития финансового менеджмента в современных условиях. Библиогр. 5 назв.

Ключевые слова: структурно-функциональная методология, финансовый менеджмент.

ABSTRACT

Consider the methodological aspects of the use of a functionally balanced scorecard of coal mines and companies, the effective development of financial management in modern conditions. Bibliog. 6 titles.

Key words: structural-functional methodology, financial management.

УДК 332

ОБ ОСВОЕНИИ ЕРУНАКОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Брагин В.Е., докт.техн. наук, профессор КузГТУ, г. Кемерово

В Кузбассе около 80% разведанных запасов сосредоточены в шести угленосных районах: Ерунаковском (17,9 млрд.тонн), Ленинском (14,2), Прокопьевско-Киселёвском (6,2), Кондомском (4,1), Мрасском (3,9). Наиболее благоприятным районом для разработки является Ерунаковский. Техничко-экономическое обоснование было утверждено в 1969 году. Согласно проектам себестоимость добычи угля оценивалась в 5 долларов на разрезах и 10 долларов на шахтах. Освоение месторождения начато в начале 70-х годов, предусмотрено Федеральной целевой программой «Топливо и энергия», одобрено постановлением Совета Министров Правительства Российской Федерации.

В 1970 г. было предусмотрено строительство угледобывающих предприятий на Ерунаковском месторождении взамен выбывающих мощностей на шахтах г.Прокопьевска, Киселёвска, Белово, а также предусматриваемой программой приростом добычи угля в Кузбассе. Реструктуризация и закрытие 41 шахты и одного разреза, а также значительное ухудшение действующего шахтного фонда привели к падению добычи со 160млн. т в 1988 г. до 92 млн.т в 1997 г. К началу 90-х годов построены первые очереди 3-х разрезов (Талдинский, Талдинский-Северный, Ерунаковский) и 2 шахты (Кыргайская, Талдинская-Западная), построены первоочередные временные железнодорожные подъезды, электроподстанции и ЛЭП-110, которые позволяли обеспечить добычу до 7 млн. т в год.

Благоприятные горно-геологические условия Ерунаковского месторождения позволяют сделать труд шахтёров менее трудоемким и безопасным. В Ерунаковском районе решаются многие вопросы экологии: рекультивация подработанных площадей на закрываемых шахтах; уменьшение вредных выбросов и загрязнённости от угольного производства; улучшение условий труда и безопасности шахтёров; создание рабочих мест для части шахтёров с закрываемых шахт.

В июне 1994 г. были подготовлены предложения к Президентской программе по улучшению социально-экономического положения и занятости трудящихся при освоении Ерунаковского угольного района Кемеровской области, осуществляемые в 2 этапа:

- первый этап (1994-1996г.г.) – строительство объектов и предприятий общерайонного значения и продолжение строительства шахт «Кыргайская-Южная», №7, «Котинская», «Казанковская», «Талдинская-Западная», «Талдинская-Южная», и разрезов «Талдинский», «Ерунаковский», «Новоказанковский»;
- второй этап (1997-2000г.г.) – ввод в эксплуатацию предприятий первого этапа и завершение работ по объектам общерайонного назначения, закладка в районе новых угледобывающих предприятий.

В проектах предусмотрено строительство угледобывающих предприятий нового технического уровня: создание принципиально новых угледобывающих комплексов с модульными шахто-участками и шахто-пластами; раскрой шахтных полей до оптимальных величин с целью повышения нагрузки на очистной забой и снижения трудоёмкости монтажных и демонтажных работ; производство и внедрение специальных механизированных комплексов нового поколения для пологих пластов мощностью 4-5.5м; разработка и применение модульных технологических комплексов по приёму, переработке и погрузке угля в вагоны на поверхности.

Предложенные проектные и технические решения позволили сократить продолжительность строительства шахт до 4-6 лет, сроки окупаемости до 3-5 лет, значительно улучшить основные технико-экономические

показатели (в сравнении с существующими шахтами Прокопьевско-Киселёвского района), снизить в 5-6 раз травматизм на 1 млн. т добычи угля и техногенную нагрузку на окружающую среду. Так, на шахте №7 нагрузка на очистной забой предусмотрена до 8 тыс. тонн в сутки, производительность труда рабочих по добыче - 791 т в месяц.

Выполненными исследованиями, также доказано наличие потребительского спроса на ерунаковские угли, их высокая конкурентоспособность по сравнению с печорскими, канско-ачинскими и экибастузскими, районов Сибири и Урала.

Учитывая возросшие требования по охране окружающей среды, более полного решения социальных вопросов, создания новых рабочих мест Кузбассгипрошахтом выполнена новая концепция развития Ерунаковского района Кузбасса. В ней определены приоритетность строительства объектов общерайонного назначения и социального обеспечения, оптимальные мощности угольных предприятий с учётом их экологической безопасности. Предусмотрено, в частности, осуществлять селективное снятие плодородного слоя почвы и потенциально плодородных грунтов для последующего их использования при рекультивации земель. Намечено создать продуктивные лесные насаждения площадью 2850 га на закустаренных и заболоченных участках, выполнить лесную рекультивацию нарушенных земель.

В период с 1997 до 2007 года были построены объекты внешнего железнодорожного транспорта Ерунаковского района, реконструкция станции Красулино и Терентьевская с подъездными путями. Построены новые мощные электроподстанции и ЛЭП-220. В этот период было инвестировано около 200 млрд. рублей, при этом основные источники финансирования - собственные и заёмные угольных компаний.

В период с 1999 г. по 2010 г. введено в эксплуатацию 22 шахты и 21 разрез общей проектной мощностью 65 млн. т. Структурная перестройка отрасли позволила повысить эффективность угледобывающего производства, значительно сократив финансовую нагрузку на Федеральный бюджет.

Проблемой освоения месторождения является то, что из-за наличия множества собственников появляются не стыковки, обусловленные границами между предприятиями: для шахт это связано с ограничениями увеличения длины участкового поля лав, оборудованных механизированными комплексами, на открытых работах – с размещением отвалов. Так, по первоначальной раскройке полей Талдинского месторождения предусматривалось, что разрез Талдинский будет иметь производственную мощность 30 млн. т и отрабатываться отдельными блоками с передачей отработанных площадей под отвалы. В настоящий период на этом поле разместилось несколько разрезов. Это приводит к необходимости размещения отвалов на угольном поле и перемещения этих навалов, что влияет на значительное увеличение себестоимости добычи угля.

Видимо, размещение новых предприятий на угольных площадях перед выставкой на конкурс Администрацией области и Министерством природных ресурсов должно регламентироваться и иметь экономическое обоснование.

УДК 622.33:338 (571.56)

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА УГЛЯ ЮЖНОЙ ЯКУТИИ КАК ФАКТОР РОСТА КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ

В.Л. Гаврилов, старший научный сотрудник, ИГДС им. Н.В. Черского СО РАН, Якутск

Предприятия угольного комплекса как сложная динамическая система «георесурс – геотехнология – потребитель» функционируют в условиях недостаточности и вероятностного характера исходной информации как на входе, так и на выходе. Основные следствия двустороннего влияния внешних по отношению к системе факторов – высокая зависимость эффективности ее функционирования от них и необходимость приложения дополнительных усилий для поддержания устойчивой конкурентоспособности за счет разработки и реализации комплекса мер, противодействующих или нивелирующих их влияние.

В настоящее время понимание конкурентных преимуществ базируется на идеях рыночного позиционирования или на ресурсной концепции [1]. Для первой из них источником преимуществ являются способности предприятий создавать для потребителей такую продукцию, ценность которой превышает не только затраты на ее производство, но и ценность приносимую им аналогичными товарами конкурентов. Но акцент на цену и качество продукции ориентирует предприятия на достижение краткосрочной конкурентоспособности. Во второй акцент смещается на организационно-экономические аспекты, а основным достоинством является реальная возможность определения основ долгосрочных конкурентных преимуществ.

Сами по себе уникальные ресурсы и отличительные способности предприятий не являются преимуществами, а становятся их источником тогда, когда применяются для целей бизнеса в определенной отрасли или на выбранном сегменте рынка [2]. Для того чтобы одно перешло в другое, необходимо управленческое соответствие между ресурсами и способностями предприятий, стратегией и тактикой их развития, выбранной и корректируемой в динамике бизнес моделью функционирования в конкретном сегменте рынка. В условиях глобализации все компании становятся похожими с точки зрения правил и методов ведения бизнеса, а стандарты качества, себестоимости продукции и производной от них цены являются обязательными, но все менее значимыми

требованиями для продолжения участия в конкурентной борьбе. В тоже время недооценка такой важной составляющей конкурентоспособности как качество приводит не только к снижению экономической эффективности работы угольных предприятий, но и к потере их рыночных позиций. Поэтому, проявившееся в последнее время со стороны ряда крупных российских компаний внимание к проблеме повышения качества угля хотелось бы считать положительной и устойчивой тенденцией в развитии угольного рынка.

Долгосрочная конкурентоспособность предприятий горнопромышленного комплекса основывается на способности создавать быстрее и с более низкими затратами преимущества, на основе которых появляются такие дополнительные рентные возможности как: 1) связанные с ограничениями хозяйственной деятельности (лицензии на право разработки новых месторождений, преимущества их географического положения и горно-геологических условий отработки, авторские права); 2) получаемые в результате естественного или искусственного, субъективного ограничения конкуренции в регионе, отрасли или в условиях монопольного рынка; 3) основанные на преодолении предпринимательского риска, возникающего при реализации инвестиционных проектов в условиях сложной и неопределенной внутренней и внешней среды (разведка новых площадей, разработка новых месторождений, пионерное освоение регионов, внедрение нетрадиционных технологий разведки, добычи, обогащения и переработки сырья, вхождение в новый сегмент рынка); 4) возникающие вследствие развития долгосрочных межфирменных отношений или внутрифирменных в крупных вертикально интегрированных компаниях.

Основной задачей создания на основе имеющихся или перспективных ресурсов эффективного потенциала развития предприятий с использованием существующих или дополнительно сформированных рентных возможностей является сбалансированное и согласованное взаимодействие всех элементов стратегии и тактики - анализа, оценки, учета, планирования, выбора, реализации и контроля.

Исходя из данных методологических предпосылок рассмотрим роль и место категории «качество угля» для условий разрабатываемых или планируемых к освоению угольных месторождений Южной Якутии.

Традиционно считается, что наибольшую инвестиционную привлекательность имеют компактно расположенные месторождения Алдано-Чульманского района, а также Эльгинское в Токинском угленосном районе, разрабатываемые или планируемые к освоению открытым, подземным и комбинированными способами. Изучение первичных геолого-маркшейдерских данных и синтезированных на их основе материалов геологических, проектных и научных организаций, показывает. По ряду потребительских свойств, таких как содержание серы и фосфора в угле, средние значения спекаемости и коксующести это высококачественное и дефицитное твердое топливо, имеющее устойчивый спрос на внутреннем и внешнем рынках. Неокисленные угли при условии невысокой зольности ($A^d \leq 10,0\%$) способны давать высокопрочный металлургический кокс как в моношихте, так и в многокомпонентных и бинарных шихтах, в т.ч. с частично окисленными и менее ценными углями. Угли имеют высокую теплотворную способность и практически не способны к самовозгоранию.

Но, в тоже время, для основных рабочих пластов характерен широкий диапазон колебаний используемых как в российской, так и зарубежной практике показателей коксующести и спекаемости между пластами, по площади их распространения и в разрезе. Например, на Эльгинском месторождении средние значения толщины пластического слоя Y по отдельным пластам, рассчитанные с использованием первичных данных по скважинному интервальному опробованию (около 30 тыс. проб), выполненного «Южякутгеологией» при проведении детальной разведки, изменяются в диапазоне 20 - 33 мм, среднеквадратические отклонения 5,8 – 9,7 мм. Варьирование Y в пределах одной скважины даже в неокисленной зоне может достигать 15 – 25 мм. Аналогичная ситуация наблюдается и в смежных скважинах. Учитывая неаддитивность толщины пластического слоя, сложный характер поведения угля с разной спекаемостью при коксовании, наличие широких зон окисления с невыдержанными в пространстве границами и жесткие требования потребителей вопрос управления данным показателем является одним из важных в действующих или создаваемых системах управления качеством коксующегося угля.

Зольность углей, предназначенных для коксования, находится на уровне, значительно превышающем допустимые для производства прочного кокса диапазоны, колеблется в широких пределах, имеет устойчивые межпластовые различия и требует селекции при добыче, усреднения на открытых и/или закрытых складах и обогащения. Из-за повышенной материнской зольности угольного вещества обогатимость угля в основном трудная или очень трудная. Закономерности изменения ее и зольности в пространстве до настоящего времени не определены с точностью, достаточной для нормального управления качеством угля, что хорошо показывает многолетний опыт отработки Нерюнгринского месторождения. Диапазоны колебаний отдельных показателей качества входного угольного потока на обогатительную фабрику превышают рациональные пределы, а данные опережающего опробования по забоям расходятся с фактическими получаемыми данными по результатам работы обогатительной фабрики. Пласты в пространстве по мощности не выдержаны.

Такие противоречия между относительно высоким по отдельным показателям уровнем качества углей в недрах в разрезе средних величин и значительной изменчивостью их в пространстве при переходе из статического режима (георесурс) к динамическим материальным потокам (начало ведения добычных работ) можно было бы в той или иной степени проигнорировать при условии низкого уровня конкуренции на основных торговых площадках.

Но, изучение конъюнктуры рынка показывает, что для углей Южной Якутии это неприемлемый вариант. Внутренний спрос в ДВФО без реального изменения промышленной политики в стране в условиях возрастающей конкуренции со стороны других видов топливно-энергетических ресурсов (нефть, газ, гидроэнергия) и реализации программ энергосбережения будет снижаться. Внутри российский спрос на коксующийся уголь со стороны

металлургических компаний Центра, Урала и Западной Сибири будет покрываться в основном за счет ресурсов Кузбасса и прилегающих к нему регионов. Доля южно-якутского коксующегося угля на основном для него рынке в странах Северо-Восточной Азии (Япония, Южная Корея, Китай) в условиях высокой и постоянной конкуренции если и увеличится, то незначительно. Два из трех основных потребителей коксующегося угля в данном регионе - Япония и Южная Корея – из-за замедления или стагнации темпов экономического роста уже закончили интенсивное развитие своих металлургических комплексов. Китай, сохраняющий высокую динамику развития, может в принципе импортировать весь дополнительный объем производимого в Южной Якутии угля. Но при условии комфортного для него соотношения цена / качество. Имеющийся опыт (нефть ВСТО, электроэнергия Бурейской ГЭС) показывает, что достичь компромисса с таким торговым партнером очень сложно. К тому же имеющиеся запасы угля в КНР и собственные производственные мощности по его добыче позволяют при необходимости закрыть полностью свои потребности. А за счет постоянно нарастающего влияния на рынок энергетических ресурсов решать не только проблемы экономического характера, но и политического. Решение вопроса занятия определенной ниши на интенсивно развивающемся рынке коксующегося угля Индии, в условиях остро выраженного недостатка собственных ресурсов, затрудняется высокой транспортной составляющей в цене из-за географической удаленности российских месторождений от Южной Азии.

Следствием такой ситуации является то, что для повышения оперативной и долгосрочной конкурентоспособности как угольной продукции, выпускаемой предприятиями Южной Якутии, так и самих этих предприятий необходима реализация концепции непрерывного управления качеством на всех стадиях жизненного цикла инвестиционных проектов от разведки через добычу, углеподготовку, обогащение, логистику до поставки готовой продукции потребителям [3]. Такой подход, не отвергая других рентабельных возможностей, позволяет быстрее и с более низкими затратами реализовать те реальные или потенциальные преимущества, которые имеются у южно-якутских углей или могут быть выявлены дополнительно.

Набор инструментов для такого управления на каждом из временных уровней (внутрисменный, сменный, месячный, квартальный, годовой, перспективный) может быть разным. Он зависит от: детальности разведки; разнообразия горно-геологических условий отработки того или иного пласта (его участка) на каждом конкретном месторождении; применяемой техники и технологий; организации работ по добыче и обогащению; конъюнктуры рынка; требований конкретных потребителей и др.

При этом каждый из технологических элементов (подсистем) динамической системы «георесурс – геотехнология – потребитель» можно рассматривать как самостоятельную, также достаточно сложную систему, функционирующую в рамках необходимости реализации разработанных общих стратегических и тактических целей. Например, в алгоритме внутризаводского формирования качества угля, ориентированного на поставку для обогатительной фабрики угля заданного качества, должны присутствовать следующие элементы: сбор, анализ и постоянное пополнение геологической и технологической информации; детализация структуры пластов и типизация технологических блоков по горно-экономическим критериям с выделением соответствующих кластеров; сравнение возможностей основных типов оборудования и обоснование состава мобильных комплексов; выделение технологических блоков для каждого типа оборудования; выбор технологических схем и расчет качественных и количественных показателей; вариантный технико-экономический анализ. Подобного рода алгоритмы должны быть разработаны и реализованы и для других технологических звеньев системы «георесурс – потребитель», начиная от эксплуатационной доразведки и опережающего опробования, заканчивая подсистемой «логистика».

Покупателя интересуют потребительские свойства угля в точке перехода права собственности. При экспортных поставках на рынок Северо-Восточной Азии это, как правило, порты Дальнего Востока. Продавец оценивает свою деятельность по управлению также по результатам передачи товара. Учитывая то, что окончательная оценка качества угля происходит во время погрузки его в суда, а отдельные показатели изменяются и после отгрузки с угольных предприятий, логично использовать имеющиеся и оцененные технологические, организационные и информационные возможности по менеджменту качества в транспортно-логистических звеньях [4] за счет перераспределения усилий внутри системы. Вертикальная интеграция компаний позволяет при определенных условиях упростить решение данной задачи с повышением эффективности работы всей системы «георесурс – потребитель».

При совершенствовании или создании систем менеджмента качества следует исходить из того, что самый совершенный бизнес, стоит его только построить, сразу же требует дальнейшего совершенствования. И более того, процесс дальнейшего совершенствования нельзя ни на одно мгновение останавливать, чтобы быть устойчиво конкурентным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каткало, В.С. Эволюция теории стратегического управления / В.С. Каткало.- СПб, 2008.- 548 с.
2. Коллиз, Д.Дж. Конкуренция на основе ресурсов: стратегия в 1990 е гг. / Д.Дж. Коллиз, С.А. Монтгомери // Вестник С-Петербургского ГУ. Сер. Менеджмент.- 2003.- №4.- С. 186-206.
3. Гаврилов, В.Л. Изменение качества угля в технологической цепи "завод – потребитель" // "Современные технологии освоения минеральных ресурсов": сб. материалов научно-технической конференции. – Красноярск, 2010.- С. 127-136.
4. Гаврилов, В.Л. Управление качеством угля в динамической системе "георесурс – технологическое воздействие – потребитель" // Горный информ.-аналит. бюллетень. – 2009. – №12.- Вып. 6.- С. 56-61.

АННОТАЦИЯ

Рассмотрена целесообразность и необходимость повышения качества угля для роста его конкурентоспособности и повышения эффективности работы системы «георесурс – потребитель».

ABSTRACT

Considered the advisability and necessity of improving the quality of coal to increase its competitiveness and improve the efficiency of the system "deposits - the consumer."

УДК 622.273:622.33(571.56)

УПРАВЛЕНИЕ КРОВЛЕЙ ПРИ РАЗРАБОТКЕ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КРИОЛИТОЗОНЫ

П.Н. Васильев, старший научный сотрудник, ИГДС им. Н.В. Черского СО РАН, Якутск

В.Л. Гаврилов, старший научный сотрудник, ИГДС им. Н.В. Черского СО РАН, Якутск

К числу наиболее влияющих на эффективность подземной и комбинированной разработки угольных месторождений природных факторов относится наличие трудно обрушаемых кровель. Их доля в структуре извлекаемых или планируемых к извлечению в стране пластов остается достаточно высокой. Это предполагает, учитывая разнообразие горно-геологических условий, необходимость использования различных способов управления горным давлением, в том числе новых.

При разработке угольных месторождений Севера к числу дополнительных усложняющих природных факторов добавляется наличие толщи многолетнемерзлых пород (ТМП). Геокриологические условия определяются сочетанием различных физико-географических факторов. По мощностям мерзлоты, её температурному режиму и характеру распространения можно условно выделить Северную и Южную криологические зоны. Для первой характерны большая и стабильная во времени мощность промерзших пород до 120 - 350 м, температуры -3,2...-7,8° С, практически непрерывное (90-100%) существование криогенных толщ по мощности и площади. Для второй - мощности 40 - 150 м, температуры -2...-3° С, прерывистость 15-80%. Мерзлые породы в этой зоне приурочены к заболоченным участкам, торфяникам и склонам северной экспозиции [1].

В последние годы в связи со значительным и стабильным ростом спроса на рынке Северо-Восточной Азии на высококачественный коксующийся и энергетический уголь со стороны различных инвесторов повысился интерес к дальнейшему расширению объемов добычи угля в Южно-Якутском угольном бассейне. Начато строительство одного из крупнейших в стране Эльгинского горно-обогательного комплекса в районе озера Большое Токо. Введена в строй первая очередь шахты «Денисовская» на одноименном месторождении, ведутся подготовительные работы по созданию Инаглинского комплекса на Чульмаканском месторождении.

При этом практически все месторождения Южно-Якутского бассейна расположены на территории, для которой характерно наличие островной мерзлоты (40-50%). Токинский район, по абсолютным отметкам залегающий на 200 - 250 м выше других, почти полностью покрыт мерзлотой, как и сильно заболоченные депрессии Гонамского района. Мощность ТМП изменяется от первых до 120 м.

В наиболее освоенном Алдано-Чульманском угленосном районе мощность мерзлых пород изменяется от 10 - 20 м до 100 м, а распространенность от 20 % территории до 80 %. Неоднородны мерзлотные условия и на различных элементах рельефа. Максимальные мощности мерзлых пород и наиболее низкие отрицательные температуры (-4°С) свойственны днищам глубоких долин и логов. Мощность мерзлых толщ постепенно уменьшается вверх по склонам долин до полного их выклинивания. На плоских широких водораздельных пространствах многолетнемерзлые породы, как правило, отсутствуют.

На Чульмаканском месторождении зона островного распространения многолетнемерзлых пород охватывает по площади до 57% с максимальной мощностью мерзлоты более 170 м и максимальной отрицательной температурой -2...-4° С. Углевмещающие породы характеризуются высокими прочностными свойствами. Многолетнемерзлые породы Денисовского месторождения с неустойчивой средней температурой -0,24° С занимают около 51% площади месторождения, слагают склоны водоразделов, днища и борта долин водотоков и другие пониженные формы рельефа. Наибольшим развитием они пользуются в западной части месторождения. Здесь же их мощность достигает максимального значения в 97 м.

Многолетнемерзлые породы на площади Эльгинского месторождения пользуются повсеместным развитием при их мощности от 30-40 до 200 м и более. Основным фактором, определяющим площадь распространения и конфигурацию мерзлых толщ, является вертикальная геокриологическая зональность. Зона сплошного развития мерзлоты развита начиная с высоты 950-1000 м и прерывается лишь таликами в отдельных зонах повышенной трещиноватости. Нижняя граница многолетнемерзлой толщи обычно почти горизонтальна. Значительная и резко переменная мощность мерзлых пород в пределах месторождения увеличивается с возрастанием абсолютных отметок. Температура мерзлых толщ колеблется в пределах 0...-2° С с преобладанием температуры 0...-1° С.

Многолетнемерзлые породы, представленные в основном песчаниками и аргиллитами, по степени управляемости кровли относятся к трудноуправляемым [2, 3]. Наличие в кровли пластов сцементированных льдом

пород и отсутствие на отдельных участках непосредственной кровли вызывает определенные трудности в управлении горным давлением. Наблюдаются повышенное давление на крепь горных выработок, растрескивание и вывалы горных пород, зажатие секции механизированных крепей, деформация их элементов и крепей выработок.

В настоящее время самым распространенным способом управления горным давлением является полное обрушение пород кровли. Практически все комплексы с механизированной крепью работают по данному варианту. Начальное движение комплекса охватывает период от проведения разрезной печи до первого обрушения непосредственной кровли. По мере отхода забоя от целика, площадь обнажения кровли возрастает, затем наступает обрушение плиты, которое нередко начинается без предупредительных признаков и внезапно.

Особенно опасна первичная посадка многолетнемерзлых пород кровли, поскольку смерзшиеся породы представляют единый массив, допускающий большие обнажения кровли до их обрушения. Поэтому здесь необходимо применение различных технологий, предупреждающих и снижающих вероятность проявления внезапных осадок пород кровли. Отечественный и зарубежный опыт ведения очистных работ в ТМП показывает, что для успешного управления кровлей необходимы специальные мероприятия, обеспечивающие безопасность работ, особенно в период первичной посадки основной кровли. Выделяется три основных направления в этой области [3]:

1. Применение специальных мероприятий по разупрочнению мерзлых пород путем воздействия на массив пород основной кровли с целью ее ослабления, позволяющее снизить зависание кровли в призабойном и выработанном пространстве.

2. Разработка и внедрение в производство механизированных крепей повышенного сопротивления, соответствующих конкретным горно-геологическим условиям разработки угольных пластов области многолетней мерзлоты.

3. Варьирование с учетом конкретных горно-геологических условий параметрами системы разработки (длина лавы, скорость её подвигания, форма очистного забоя).

Рассмотрим некоторые из разработанных в ИГДС им. Н.В. Черского СО РАН способов подробнее.

Способ отработки пластов с трудно обрушаемой кровлей, предусматривающий использование геологического нарушения для первичной посадки кровли [4]. Раскройку шахтного поля и нарезку выемочных столбов ведут так, чтобы имеющиеся геологические нарушения приурочить к середине столба. Монтажную камеру для отработки столба прямым ходом располагают непосредственно у геологического нарушения с оставлением небольшого целика. После монтажа комплекса, перед началом его работы, оставленный целик разрушают взрывными работами, оголяя геологическое нарушение. В случае если это нарушение располагалось под углом к выемочному столбу, то при движении комплекса его сначала разворачивают в плоскости столба. После некоторого отхода комплекса непосредственная (если она имелась), а затем и основная кровли обрушаются. По этой технологии первичный шаг обрушения не достигает критических для комплекса значений, поскольку горные породы кровли имеют одну обнаженную плоскость – геологическое нарушение. При дальнейшем движении комплекса шаг обрушения устанавливается, и он не превышает размеров первичного. Для отработки столба обратным ходом от геологического нарушения проводят монтажную камеру так же у нарушения, монтируют механизированный комплекс и после отработки столба прямым ходом, пускают его в работу, предварительно разрушив буровзрывными работами имеющийся целик у геологического нарушения.

Для управления первичной посадкой трудно обрушаемой кровли в условиях криолитозоны разработан способ теплового воздействия на мерзлые породы кровли [5], в результате чего создаются свободные полости по линиям расчетного обрушения породной плиты, что значительно уменьшает размеры обнаженного пространства. В намеченный и подготовленный к выемке выемочный столб в район предполагаемой первичной посадки кровли бурят с поверхности скважины до пласта угля по линиям, одна из которых располагается у границы выемочного столба, а другая – около того положения очистного забоя, где ожидается расчетная первичная посадка кровли. После того, когда начнется отработка выемочного столба и первая линия скважин обнажится, в скважины опускают трубы с отверстиями в стенках с заглушенным нижним концом и располагают их в скважине таким образом, чтобы перфорированная часть труб находилась в районе расчетного свода обрушения горных пород при первичной посадке кровли. Затем в трубы подают под давлением теплоноситель – горячий воздух или пар. Оттаявший слой многолетнемерзлых пород проваливается по скважине и попадает в отработанное пространство лавы. Образование полостей в скважинах другой линии производят после их обнажения при работе лавы. После некоторого подвигания забоя лавы, вдоль нее устанавливают специальную крепь или бьют органку, а когда образование полостей в скважинах будет закончено, извлекают индивидуальную крепь из отработанного пространства и производят первичную посадку кровли. В крайнем случае, если посадки не произошло, в полости скважин помещают ВВ и взрывают.

Для управляемой первичной посадки крепких трещиноватых пород, сцементированных льдом, предлагается использовать трудно замерзающие жидкости, разупрочняющие породы кровли по естественным трещинам. В намеченный и подготовленный к выемке выемочный столб бурят с поверхности ряд скважин, располагая его параллельно очистному забою до расчетной линии свода обрушения. Затем их заполняют эвтектическими (трудно замерзающими) растворами на высоту 1,5-2м и выдерживают до тех пор, пока лед в трещинах не оттаяет и не появятся зародышевые щели. После этого скважины заполняют полностью растворами и производят гидроразрыв массива горных пород. Это обеспечивает образование щелей большой протяженности вдоль линии свода обрушения и заполнение их растворами, исключая их замерзание. При очистной выемке угля и прохода

механизированного комплекса под скважинами происходит обрушение пород кровли блоками, уже не связанными друг с другом прослоями льда.

Следующий способ, основанный на прорезании щелей в кровле пласта в конвейерном и вентиляционном штреках и подаче в щели горячего воздуха [6]. При оконтуривании выемочного столба конвейерным и вентиляционным штреками на расстоянии от границы выемочного столба, равном ожидаемому первичному шагу обрушения кровли, прорезают в кровле пласта щели в сторону выемочного столба на глубину не менее 1,5 м с углом наклона плоскости щелей к горизонтальной плоскости не менее 45°. Щели формируют с помощью буровой машины, либо используя специальные насадки на проходческий комбайн. После окончания работ по проведению конвейерного и вентиляционного штреков и прорезания щелей в последние подают горячий воздух от локальных конвейерных и растепляют окружающие мерзлые породы.

Описанные способы управления трудно обрушаемыми кровлями в зонах многолетней мерзлоты позволяют значительно уменьшить шаг первичного обрушения кровли, снизить нагрузки на крепи. Данные технологии способствуют снижению рисков возникновения динамических ударов, повышают безопасность ведения добычных работ и могут служить основой для их дальнейшего совершенствования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Угольная база России. Том V, кн.2. Угольные бассейны и месторождения Дальнего Востока. – М.- 1999. – 639с.
2. Васильев, П.Н. Геотехнологии подземной разработки угольных месторождений Якутии / П.Н. Васильев, В.П. Зубков, Т.М. Иудина // Якутск, 2010.- 246 с.
3. Ефремов, А.П. Управление геомеханическими процессами при подземной разработке угольных месторождений Севера / А.П. Ефремов, И.Н. Лось, В.П. Слепцов, М.А. Розенбаум // Якутск, 1998.-212 с.
4. Патент РФ № 2235878. Способ управления первичной посадкой труднообрушаемой кровли / П.Н. Васильев, В.А. Шерстов, Т.М. Иудина // Изобретения. Полезные модели. – 2004, бюл. № 25.
5. Патент РФ № 2237809. Способ управления труднообрушаемой кровлей в условиях многолетней мерзлоты / П.Н. Васильев, В.А. Шерстов // Изобретения. Полезные модели. – 2004. – бюл. № 28.
6. Патент РФ № 2320871. Способ подготовки к первичной посадке труднообрушаемой кровли криолитозоны / М.Д. Новопашин, П.Н. Васильев, Г.Д. Пересыпкин // Изобретения. Полезные модели, 2008, бюл. № 9.

АННОТАЦИЯ

Предложены способы управления трудно обрушаемыми кровлями при подземной разработке угольных месторождений криолитозоны, в том числе для условий Южной Якутии.

ABSTRACT

The methods of control is difficult to cave roofs in underground coal deposits of permafrost, including conditions in South Yakutia.

УДК 33.332.02

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ СДЕЛОК СЛИЯНИЯ И ПОГЛОЩЕНИЯ НА ОСНОВЕ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ МОРФООРГАНИЗАЦИОННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОРПОРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ НА ПРИМЕРЕ ЗАВОДА ГОРНОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

Воронина М.Ю. аспирант ГУ КузГТУ, Савосина З.П., к.э.н., профессор ГУ КузГТУ, г. Кемерово

На сегодняшний день сделки слияния и поглощения (M&A) стали повседневной нормой жизни большинства компаний. История свидетельствует о частых неудачах сделок по слиянию и поглощению. Как правило, это результат ошибок в финансовых расчетах, выборе стратегического партнера, оценке поглощаемой компанией привлекательности рынка или конкурентной позиции поглощаемой (целевой) структуры. Если даже и есть возможность приобрести контроль над успешной компанией, то процесс удачного и выгодного поглощения чрезвычайно сложен, ошибки в прогнозах, переговорах и в определении цены сделки нередко приводят к снижению ее эффективности [1].

В результате проведенного анализа финансово-хозяйственной деятельности Завода горного машиностроения можно сделать вывод о недостаточной эффективности деятельности предприятия. Возможная причина этому – плохая организация процесса слияния, а именно – отсутствие аналитического исследования конъюнктуры отрасли и конкурентной среды, отсутствие предварительного финансово-экономического анализа предприятий, отсутствие бизнес-плана слияния и т.д.

Для более детальных выводов проведен анализ эффективности слияния предприятия Завода горного машиностроения на основе методики оценки морфоорганизационной эффективности корпоративного управления.

В современных условиях рыночной экономики при резких изменениях внешних и внутренних факторов функционирования экономических систем особое внимание уделяется не только совершенствованию управления ими, но и управлению развитием систем, как целенаправленного и своевременного процесса качественных преобразований, в частности повышение морфоорганизационной эффективности корпоративного управления развитием систем (КУРС).

Термин «морфология» означает учение о форме. Морфоорганизационный аспект представляет собой концепцию целостного воздействия по объединению усилий партнеров в направлении прогрессивного формообразования наиболее приспособленного в современных условиях. Отсюда, корпорация – это совокупность лиц, объединившихся для достижения общих целей, осуществления совместной деятельности и образующих самостоятельный субъект права – юридическое лицо. Чаще всего корпорации организуются в форме акционерного общества.

В качестве стратегических целей выступают цели развития системы: формирование высокоприбыльного капитала, гармоничных взаимосвязей и гибкого производства.

Тактические цели выводятся из стратегических. Это соответственно эффективное развитие форм организации: капитала (ФОК), взаимосвязей (ФОВ) и производства (ФОП).

Морфоорганизационное исследование КУРСа показало жизненно важную заинтересованность корпорации в получении прибыли. Это дает основание выделения этого показателя в качестве результативного для оценки эффективности КУРСа.

Отбор показателей, характеризующих формы организации КУРСа, является достаточно многогранной задачей, охватывающей ФОК, ФОП и ФОВ. Особенности форм организации КУРСа не позволяют во всех случаях выявить показатели от которых непосредственно зависит получение прибыли. Поэтому при морфоорганизационном измерении КУРСа использованы факторы (показатели), которые непосредственно не влияют на величину прибыли.

Однако данные показатели обладают своей сложностью и разнородностью, так как они отвечают различным классификационным признакам. Поэтому только с помощью индексов можно измерить среднее изменение сложных разнородных явлений, каковыми выступают формы организации КУРСа.

Индивидуальные индексы применяются для определения динамики доминирующих показателей по каждой форме организации в отдельности. Для последующего определения динамики по ФОК, ФОП, ФОВ потребуются прибегнуть к групповым индексам. И завершить морфоорганизационное измерение КУРСа исчислением общего индекса.

Метод сводного индекса позволяет объединить в анализе различные группы доминирующих показателей, характеризующих ФО КУРСа. Исходными данными для реализации метода сводного индекса служат динамические ряды, представляющие собой цепь чисел, наблюдаемых в дискретном времени t , обычно равно отстоящем (год, квартал и т. д.).

Таким образом, с помощью экспертов сформулирован перечень таких показателей по ФОК, ФОП и ФОВ, и осуществлено ранжирование их по значимости. Состав доминирующих показателей, отражающих, например, формы организации капитала (ФОК) представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Состав доминирующих показателей формы организации капитала

Наименование доминирующих показателей	Единицы измерения	Период			Ранг	Индивидуальный индекс		Цепной индекс	
		2008	2009	2010		2009/ 2008	2010/ 2009	2009/ 2008	2010/ 2009
Интеграция								8,231	
1. Всего оборотных активов	тыс.руб	184953	393986	279876	1	2,13	0,71		
2. Всего краткосрочных пассивов	тыс.руб	263633	358956	247873	2	1,36	0,69		0,80
3. Уставный капитал									
Дифференциация									
1. Инвестиции в другие организации	тыс.руб	10	212	212	3	21,2	1		
2. Кредиторская									

задолженность 3. Краткосрочные кредиты банков	тыс.руб	0	0	0	1	-	-	1,501	
	тыс.руб	160955	140170	97582	2	0,87	0,69		0,68
	тыс.руб	102626	218734	150252	3	2,13	0,68		

Групповые индекс по ФОК рассчитывается по следующей формуле:

$$\bar{I}_{\text{ФОК}} = \frac{\sum_{i=1}^2 I_i}{2},$$

где I_i – среднее значения цепных индексов по формам организации, представляющих ФОК

$$\bar{I}_{\text{ФОК}}_{09/08} = \frac{8,231 + 1,501}{2} = 4,466$$

$$\bar{I}_{\text{ФОК}}_{10/09} = \frac{0,8 + 0,68}{2} = 0,74$$

Расчет групповых индексов по ФОК показал, что по форме организации капитала в 2009 году (4,466), произошел высокий подъем, за счет резкого увеличения почти всех представленных показателей, в том числе существенно выросла доля оборотных средств и уставного капитала. Что касается, полученного значения в 2010 году – 0,74, то здесь негативное влияние оказали последствия финансового кризиса, в связи с чем значения всех показателей снизились.

Определен состава доминирующих показателей и по другим формам организации (ФОП, ФОВ). Поскольку ни один из показателей не дает достаточно веских оснований для решения вопроса о реальных масштабах эффективности управления, на практике применяют комбинацию показателей.

В форме организации производства существенно увеличились доли направлений доминирующих показателей, например, концентрация и комбинирование превысили свои значения практически в 2,5 раза, специализация и кооперирование чуть меньше в 1 и 1,5 раза, что является положительным результатом.

Значения индекса по форме организации взаимосвязи в 2009 году представляет отрицательное значение, но это на первый взгляд, на самом деле, значение данного индекса носит весьма положительный характер, потому что произошло сокращение численности, но не за счет снижения объема производства, а за счет повышения производительности труда.

Сводный индекс по формам организации КУРСа в целом рассчитывается по формуле:

$$\bar{I}_{\text{св}} = \frac{I_{\text{ФОК}} + I_{\text{ФОП}} + I_{\text{ФОВ}}}{3}$$

$$\bar{I}_{\text{св}09/08} = 2,53$$

$$\bar{I}_{\text{св}10/09} = 0,85$$

Полученные результаты свидетельствуют об эффективности процедуры слияния предприятия, несмотря на значительное снижение в 2010 году – 0,85, которое было вызвано снижением объема производства. Процедура слияния, произошедшая в период с 2008-2009 годы оказала положительное влияние на финансовые показатели деятельности предприятия, в последующие периоды это влияние, как показывает практика будет значительнее.

Применительно к настоящему исследованию метод сводного индекса дает возможность достаточно объективно провести морфоорганизационное изменение КУРСа:

- выявить общие морфоорганизационные тенденции КУРСа;
- определить «узкие места»;
- установить основные направления и методы устранения обнаруженных проблем;
- определить морфоорганизационный КУРС.

Реальная возможность использования сводного индекса обеспечивается:

простотой расчета, поскольку операции производятся с ограниченным количеством показателей;

возможность единой оценки показателей, изменяющихся в разных направлениях с различной интенсивностью объективностью, обусловленной выбором показателей по степени их влияния на формы организации КУРСа; направленностью комплексной системы анализа, осуществляемого на цели КУРСа; наглядностью представления результатов исследования; полнотой охвата, заключающегося в том, что рассматривается метод позволяет оценить ключевые стороны форм организации КУРСа.

Литература:

Игнатишин Ю. Слияния и поглощения: стратегия, тактика, финансы. – СПб.: Питер, 2005. – 208 с.

Ханичев Ю.В., Горенбургов М.А. Совершенствование корпоративного управления как условие создания транснациональных корпораций в энергомашиностроении РФ// Проблемы современной экономики.-2002.- №2(2).
www.ma-journal.ru

АННОТАЦИЯ

В данной статье проведен анализ эффективности слияния предприятия Завода горного машиностроения на основе методики оценки морфоорганизационной эффективности корпоративного управления.

Выделены стратегические цели развития системы: формирование высокоприбыльного капитала, гармоничных взаимосвязей и гибкого производства.

Тактические цели выводятся из стратегических. Это соответственно эффективное развитие форм организации: капитала (ФОК), взаимосвязей (ФОВ) и производства (ФОП).

С помощью экспертов сформулирован перечень таких показателей по форме организации капитала, форме организации производства и форме организации взаимосвязей, и осуществлено ранжирование их по значимости.

THE SUMMARY

In given article the analysis of efficiency of merge of the enterprise of Factory of mountain mechanical engineering on the basis of an estimation technique efficiency of corporate governance is carried out.

Strategic targets of development of system are allocated: formation the capital, harmonious interrelations and flexible manufacture.

Tactical targets are deduced from the strategic. It accordingly effective development of forms of the organization: the capital, interrelations and manufactures.

By means of experts the list of such indicators under the form of the organization of the capital, the form of the organization of manufacture and the form of the organization of interrelations is formulated, and their ranging on the importance is carried out.

УДК 332.1

ПРОБЛЕМЫ И НАПРАВЛЕНИЯ ОСВОЕНИЯ УГОЛЬНЫХ РЕСУРСОВ МАЛОИЗУЧЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ПЕЧОРСКОГО БАССЕЙНА В ЗОНЕ ФОРМИРОВАНИЯ НОВЫХ ТРАНСПОРТНЫХ КОРИДОРОВ

*Калинина А.А. к.э.н., вед. науч. сотр., Луканичева В.П. к.э.н., ст. науч. сотр.
Институт социально-экономических и энергетических проблем Севера
Коми научного центра УрО РАН, г. Сыктывкар*

Энергетическая стратегия России до 2030 г. (ЭС 2030) [1] определила основные направления развития угольной отрасли на ближайшую, среднюю и долгосрочную перспективы и обозначила необходимость перехода от чисто топливной схемы развития отрасли к диверсификации угольного производства с получением не только топлива, но нетопливных продуктов глубокой переработки угля.

В ЭС 2030 предусматривается формирование новых центров угледобычи не только в базовых угольных бассейнах – Кузнецком и Канско-Ачинском, на долю которых приходится 68% современной добычи угля, но и в районах, расширяющих географию добычи углей на новых месторождениях Восточной Сибири, Дальнего Востока, Ханты-Мансийского округа и Республики Коми.

Действующие в Печорском бассейне угольные шахты и один разрез могут обеспечить в перспективе устойчивую добычу в объеме не более 12-14 млн.т/год, из них коксующихся углей 9-11 и энергетических – 3 млн.т/год, т.е. практически на современном уровне и то при условии восполнения в будущем выбывающих мощностей по добыче коксующихся углей за счет прирезки запасов полей, подготовленных к разработке, но не введенных в эксплуатацию шахт «Воркутская №33» и «Воргашорская №4».

К перспективным месторождениям Печорского бассейна, учитывая ряд благоприятных факторов, способствующих их освоению, следует отнести прежде всего – Усинское и Верхнесырьягинское месторождения коксующихся углей и Сейдинское месторождение энергетических углей, что позволит сформировать два новых

центра коксующихся углей и один центр энергетических, характеристика запасов которых и их качественных показателей приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Характеристика запасов качественных показателей углей новых центров освоения Печорского бассейна [2]

Показатель	Месторождение				
	Усинское			Верхне-сырьягинское	Сейдинское
	Шахта №3	Шахта №1	Шахта №2	Шахта №1 (разрез)	Разрез (шахта №5)
Марка угля	Ж _{кокс}	Ж _{кокс}	Ж _{кокс}	Т	Д
Глубина, м	800	820	700	700	300
Запасы, млн.т (А+В+С ₁)	227,2	620,6	609,8	275,7	375,4
Качественные показатели, %:					
- зольность	21-25	8-31	9-33	11-13	28
- сера	1,3-1,8	1-2,2	0,8-3	0,4-1,2	1,3
Низшая теплотворная способность, ккал/кг	5971	6210	6210	6449-6927	4777
Мощность шахты (разрез), млн.т	4,5	6,0	4,5	1,2	8,0
Способ добычи	Подземный	Подземный	Подземный	Открытый	Открыто-подземный
Источник: Государственный баланс запасов полезных ископаемых Российской Федерации на 1 января 2009 г. Вып. 91. Уголь. Т.3. – М., 2009. – 62 с.					

Следует отметить, что развитие новых центров угледобычи в Печорском бассейне определяется не потребностями республики, а топливным балансом России, а потому возникает необходимость привлечения в регион новых инвесторов, поскольку единственный собственник действующих шахт компания «Северсталь», пока не заинтересована в строительстве новых шахт, поскольку она еще на длительное время обеспечена воркутинскими и воргашорскими углями. Таким новым инвестором для освоения Усинского месторождения в 2011 г. стал Новолипецкий металлургический комбинат (НЛМК), который выиграл конкурс на право разработки участка шахтного поля №3 этого месторождения. НЛМК уже выделил средства на проведение геологоразведочных работ, и они уже проводятся. Ввод шахты №3 мощностью 4,5 млн.т/год планируется осуществить к 2018 г. НЛМК планирует так же участие в конкурсе по шахте №1 мощностью 6 млн.т/год. Таким образом, проблема освоения новых месторождений в Печорском бассейне начала решаться с Усинского месторождения коксующихся углей.

Условия и предпосылки, способствующие освоению намечаемых месторождений:

1. Относительная близость всех месторождений (50-60 км) от г. Воркуты позволяет рассматривать инфраструктуру этого города, как залог быстрого вовлечения в производство новых месторождений.

2. Важный инфраструктурный фактор, развития этих месторождений – транспортный: для Усинского и Сейдинского месторождений – действующая железнодорожная магистраль от Воркуты на Северо-Запад и межсистемная ЛЭП 220 кВ Печора-Воркута, проходящих в непосредственной близости от намечаемых к освоению шахтных полей; для Верхнесырьягинского месторождения – строительство новой железной дороги Воркута-Усть-Кара в соответствии с транспортной стратегией России до 2030 г., которая пройдет недалеко от этого месторождения. Кроме того, в перспективе при реализации транспортно-ресурсного мегапроекта «Урал

промышленный – Урал Полярный» значительно сокращается железнодорожный путь для поставок печорских углей на Урал (800-900 км), что позволит существенно снизить транспортную составляющую в цене печорского угля для уральских потребителей, т.е. тем самым «приблизить» Печорский бассейн к Уралу.

3. Возможность отработки части запасов на Сейдинском и Верхнесырьягинском месторождениях открытым способом. Опыт разработки Юньягинского разреза позволяет сделать вывод о реальной возможности применения угольных разрезов в бассейне, несмотря на суровые климатические условия Заполярья и относительно высокий коэффициент вскрыши (табл. 2).

Таблица 2 – Техничко-экономические показатели по открытой добыче угля на месторождениях Печорского угольного бассейна

Показатель	Месторождение		
	Юньягинское (дейст.)	Верхнесырьягинское (проект, 2007 г.)	Сейдинское (проект, 2006 г.)
<i>Горно-геологические условия</i>			
Мощность пластов, м	2,28	1,4-2,5	6,5
Углы залегания пластов, градус	5-30	18-80	3-5
Количество пластов, шт.	4-7	3-4	1
Марка угля	К (кокс)	Т, ТС, ОС (кокс)	Д (энергетика)
Зольность угля, %	30,4	21,6-25,5	32-34
<i>Горнотехнические показатели</i>			
Глубина разреза, м	33	95-115	75-130
Промышленные запасы, млн.т	6,36	6,56	103,94
Коэффициент вскрыши, м ³ /т	22,5	29,1	10,3
Производственная мощность, тыс.т/год	500	500	8000
Срок отработки запасов, лет	12,7	13,1	13
<i>Экономические показатели</i>			
Себестоимость 1 т ТП, руб/т	700	1243	640
Капитальные вложения, млн. руб.	641	1298	17542
Численность персонала, чел.	227	345	2547
Производительность, т/чел.	2750	1450	3410
Чистый дисконтированный доход, млн. руб.		382,7	4602,0
Срок окупаемости, лет		4,8	8,7
Источник: Возможности развития открытой угледобычи на месторождениях печорского бассейна / Соколовский А.В., Каплан А.В., Бортников В.П. и др. // Уголь. – 2008, №11, С. 21-24.			

4. Решающим фактором для освоения Верхнесырьягинского месторождения является дефицитность присадочных углей (марка Т) в России. Участие этих углей (до 15%) в шихте с жирными печорскими углями и добавлением 20-25% газовых воргашорских углей дает хорошее качество кокса (по данным ПечорНИУИ), т.е. использование тощих углей Верхнесырьягинского месторождения значительно расширяет перспективы использования воргашорских газовых углей, а также позволяет заменить дальнепривозные кузнецкие угли при производства кокса на Череповецком металлургическом комбинате «Северсталь». Выполненный в 2007 г.

Челябинским НТЦ-НИИ ОГР технико-экономический доклад «О промышленной ценности запасов участка «Верхнесырьягинский» для открытой добычи» подтвердил целесообразность разработки этого месторождения.

5. При оценке развития новых угольных центров следует учитывать, что в перспективе целевая функция угольной промышленности России должна трансформироваться. Если до настоящего времени ставилась задача максимизировать количество добытого угля, то в перспективе целевую функцию можно сформулировать следующей: из исходного сырья получать продукцию с максимальной рыночной стоимостью и обеспечить доставку этой продукции потребителю [4].

Освоение новых месторождений в Печорском бассейне с позиций комплексного использования углей определяет три направления: традиционное использование углей для энергетики и черной металлургии; углехимическая переработка углей; использование отходов углеобогащения для производства топливных брикетов и ряда нетопливных продуктов. Опытные исследования для печорских углей показали, что угли новых месторождений могут быть сырьевой базой нетрадиционного использования по направлениям: получение синтетического жидкого топлива, полукоксования, формованного активированного угля, адсорбентов, сульфоугля, высокоуглеродистых материалов. Поскольку в Печорском бассейне отсутствует научно-технологическая база для углехимического исследования углей, отработка для них приемлемых технологий может быть осуществлена только с использованием углехимической, исследовательской и производственной базы, создаваемой в Кузбассе.

Таким образом, малоосвоенные территории Европейского Северо-Востока имеют определенные точки роста добычи угля в перспективе. Для ареала Печорского угольного бассейна характерно первоочередное освоение новых месторождений (Усинское, Сейдинское, Верхнесырьягинское). Их освоение будет зависеть от общероссийского спроса на качественный уголь, потребности экспорта и от дальнейшего пространственного развития макрорегионов «Коми-Урал» и «Урал промышленный – Урал Полярный», а также от того, получит ли развитие углехимическое производство на основе печорских углей.

Литература

1. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.energystrategy.ru/>
2. Государственный баланс запасов полезных ископаемых Российской Федерации на 1 января 2009 г. Вып.91. Уголь. Т.3 Северо-Западный федеральный округ. Ненецкий автономный округ. Республика Коми. – М., 2009. – 62 с.
3. Возможности развития открытой угледобычи на месторождениях печорского бассейна / Соколовский А.В., Каплан А.В., Бортников В.П. и др. // Уголь. – 2008, №11, С. 21-24.
4. Грачев И., Воржихин В., Некрасов С. Уголь и прибыль / Мировая энергетика. – 2008. – 11-12 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: worldenergy/doc20552842.html.

Аннотация

В статье рассмотрена целесообразность расширения добычи коксующихся и энергетических печорских углей за счет освоения новых месторождений в связи с формированием новых транспортных коридоров в регионе; предложено сформировать два новых центра добычи коксующихся и один центр добычи энергетических углей; показаны возможности добычи части угольных ресурсов открытым способом и с применением новых технологий добычи и переработки.

УДК 622.33:339.18

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ В УПРАВЛЕНИИ МАТЕРИАЛЬНЫМИ ЗАПАСАМИ ООО «КУЗБАССРАЗРЕЗУГОЛЬ – ВЗРЫВПРОМ»

Медведев Б.Н доцент, Пронин В.В.- студент

Сибирский государственный индустриальный университет (СибГИУ), г. Новокузнецк

Выявлены проблемы предприятия, связанные с управлением материальными запасами, и приводятся обоснованные предложения по повышению экономической эффективности функционирования логистической системы. Предлагается применять дифференцированный подход к управлению запасами группы А, имеющих наибольший удельный вес в стоимостном выражении, на основе модели с фиксированным размером заказа и переменным интервалом времени между заказами. Это позволит снизить логистические издержки практически в два раза за счет сокращения неоправданно завышенной величины страхового запаса. Что касается высоких затрат на транспортировку, снижение затрат достигается путем совершенствования системы управления материальными потоками (определение оптимальных маршрутов доставки) на основе транспортной задачи.

The problems of the enterprise connected with management by material stocks are revealed, and well-founded offers on increase of economic efficiency of functioning of logistical system are resulted. It is offered to apply the differentiated approach to storekeeping of group And, having the greatest relative density in cost expression, on the basis of model with

the fixed size of the order and a variable interval of time between orders. It will allow to lower logistical costs practically twice at the expense of reduction of unfairly overestimated size of an insurance stock. As to high expenses for transportation, decrease in expenses it is reached by control system perfection by material streams (definition of optimum routes of delivery) on the basis of a transport problem.

На современном этапе развития рыночных отношений в России значение логистических подходов в сфере ведения бизнеса трудно переоценить. Владение приемами и методами логистики позволяет резко снизить издержки, связанные с транспортировкой, хранением запасов, омертвлением в них значительных финансовых средств и тем самым повысить конкурентоспособность предприятия. Проведенные в Великобритании исследования показали, что в стоимости продукта, попавшего к конечному потребителю, более 70% составляют расходы, связанные с хранением, транспортировкой, упаковкой и другими операциями, обеспечивающими продвижение материального потока. Поскольку логистика является достаточно молодой наукой, на текущий момент не существует единственного, общепризнанного ее определения. Но анализ множества приводимых в литературе определений логистики позволяет сделать однозначный вывод, что в центре внимания этой науки, ее объектом изучения являются материальные потоки, а предметом – управление ими. Понятие материального потока является ключевым в логистике и неразрывно связанным с понятием материального запаса. Так как, с одной стороны, любой материальный поток, прекративший свое движение, тут же превращается в материальный запас, и наоборот, любой материальный запас, пришедший в движение, есть материальный поток.

Принято различать управление материальными потоками в рамках макрологистической и микрологистической систем. В первом случае речь идет об управлении материальными потоками, которые осуществляются предприятиями и организациями промышленности, посредническими, торговыми и транспортными организациями различных ведомств, расположенных в разных регионах страны или в разных странах. Во втором случае это управление осуществляется отдельным предприятием.

Совершенствование управления материальными потоками и материальными запасами является приоритетной задачей любого предприятия. Это особенно важно для российских хозяйствующих субъектов, поскольку логистические подходы мало развиты на отечественных предприятиях.

На кафедре экономики и управления горным производством СибГИУ были проведены исследования материальных потоков в ООО «Кузбассразрезуголь – Взрывпром»

Цель исследования состоит в том, чтобы, опираясь на теоретические основы управления материальными потоками и запасами, оценить эффективность управления ими в рамках микрологистической системы ООО «Кузбассразрезуголь-Взрывпром», выявить основные проблемы предприятия и предложить рекомендации по совершенствованию управления материальными потоками и материальными запасами на основе методов оптимизации.

Из цели вытекают следующие задачи:

анализ зарубежных и отечественных теоретических источников по исследуемым темам;

ситуационный анализ ООО «Кузбассразрезуголь-Взрывпром» и выявление проблем, связанных с его логистической деятельностью;

разработка рекомендаций по совершенствованию управления производственными запасами и материальными потоками в рамках микрологистической системы.

Как уже отмечалось ранее основным видом деятельности ООО «Кузбассразрезуголь-Взрывпром» является ведение взрывных работ. Фактическим результатом производственного процесса служит объем взорванной горной массы.

Для обеспечения производственного процесса создаются следующие виды запасов:

текущие запасы – к ним относится большинство производственных запасов исследуемого предприятия: взрывчатые вещества и средства взрывания.

страховые запасы – необходимы для обеспечения непрерывного хода логистического процесса в случае непредвиденных обстоятельств, таких как: отклонений в периодичности и в объеме партии поставки от запланированной, изменения интенсивности потребления сырья (взрывчатые вещества). Страховой запас создается на случай сбоев в поставке и составляет примерное количество взрывчатых веществ и средств взрывания, необходимое для проведения работ на участках, которые обслуживает конкретный склад, в течение 14 дней (в среднем по плану).

Производственный процесс ООО «Кузбассразрезуголь-Взрывпром» обеспечивается наличием многономенклатурных запасов.

Запасы ООО «Кузбассразрезуголь-Взрывпром» по назначению группируются следующим образом: сырье (все взрывчатые вещества), комплектующие изделия (средства взрывания, а именно: детонационный шнур, детонационное реле, средства инициирования).

Производственные запасы составляют значительную часть стоимости имущества предприятия, именно поэтому усиление контроля за состоянием производственных запасов и рациональным их использованием оказывает существенное влияние на рентабельность предприятия и его финансовое положение.

Существенное значение для сохранности производственных запасов имеет наличие технически оснащенных складских помещений с современными весоизмерительными приборами и устройствами, позволяющими механизировать и автоматизировать складские операции и складской учет. Важное условие повышения эффективности использования материальных ресурсов — усиление личной и коллективной

ответственности и материальной заинтересованности рабочих, руководителей и специалистов структурных подразделений в рациональном использовании указанных ресурсов. Одно из условий рационального использования производственных ресурсов – нормирование складских запасов и материальных затрат. Под нормой производственного запаса понимают средний в течение года запас каждого вида взрывчатых материалов, принимаемый как переходящий запас на конец планируемого года. Эта норма измеряется в днях среднесуточного потребления каждого вида материалов.

Предприятие должно стремиться к соблюдению норм производственных запасов каждого вида взрывчатых материалов, поскольку их излишек приводит к замедлению оборачиваемости оборотных средств, а недостаток – к срыву производственного процесса.

Система управления запасами ООО «Кузбассразрезуголь-Взрывпром». Все системы управления запасами на предприятии можно разделить на два вида:

- 1) системы с фиксированной периодичностью заказа;
- 2) системы с фиксированным размером заказа.

Остальные системы представляют собой разновидности этих двух систем.

ООО «Кузбассразрезуголь-Взрывпром» для управления материальными запасами применяет систему с фиксированной периодичностью заказа.

Интенсивность спроса, характеризуемая углом наклона участков линии, описывающей изменение запасов, в этой модели является величиной переменной (угол наклона различных участков ломаной – неодинаков). А поскольку заказ осуществляется через равные промежутки времени, то величина заказываемой партии в разных периодах также будет различна.

На предприятии ООО «Кузбассразрезуголь-Взрывпром» контроль за производственными запасами осуществляет производственный отдел. В рамках контроля за запасами производственный отдел отслеживает количество взрывчатых веществ и средств взрывания, использованных в ходе проведенных взрывных работ, а также собирает информацию об остатках на складах на конец месяца, после чего предоставляет отчет главному инженеру (справка по остаткам на 01 число месяца). На основании данного отчета главный инженер в начале месяца осуществляет заказ на поставку взрывчатых веществ и средств взрывания из расчета количества ВМ, необходимых для планового объема работ в текущем месяце, а также для поддержания страхового запаса.

Отсутствие постоянного контроля за текущим запасом в системе с фиксированным интервалом времени между заказами является ее основным преимуществом перед системой с фиксированным размером заказа.

Рассмотрим подробнее принципиально иную систему управления запасами, основывающуюся на заказе фиксированного размера через разные промежутки времени, а также ее преимущества и недостатки.

В системе управления запасами с фиксированным размером заказа размер заказа на пополнение запаса является величиной постоянной. Интервалы времени, через которые производится размещение заказа, в этом случае могут быть разными.

Нормируемыми величинами в этой системе являются величина заказа, размер запаса в момент размещения заказа (так называемая точка заказа) и величина страхового запаса. Заказ на поставку размещается при уменьшении наличного запаса до точки заказа. После размещения заказа запас продолжает уменьшаться, так как заказанный товар привозят не сразу, а через какой-то промежуток времени t . Величина запаса в точке заказа выбирается такой, чтобы в нормальной, рабочей ситуации за время t запас не опустился ниже страхового. Если же спрос непредвиденно увеличится (линия графика резко пойдет вниз – участок А графика), или же будет нарушен срок поставки ($t' > t$ – участок В графика), то начнет работать страховой запас. Как видим, данная система управления запасами предусматривает защиту предприятия от образования дефицита.

На практике система управления запасами с фиксированным количеством заказа применяется преимущественно в следующих случаях:

- большие потери в результате отсутствия запаса;
- высокие издержки по хранению запасов;
- высокая стоимость заказываемого товара;
- высокая степень неопределенности спроса;
- наличие скидки с цены в зависимости от заказываемого количества.

Оптимальный размер партии поставляемых товаров и, соответственно, оптимальная частота завоза зависят от следующих факторов:

- объем спроса (оборота);
- расходы по доставке товаров;
- расходы по хранению запаса.

Система с фиксированным размером заказа предполагает непрерывный учет остатков для определения точки заказа.

Необходимость постоянного учета запаса в системе с фиксированным размером заказа можно рассматривать как ее основной недостаток.

Следовательно для эффективного управления многономенклатурными запасами на предприятии предлагается ряд мероприятий:

- 1) Ситуационный анализ ООО «Кузбассразрезуголь -Взрывпром» показал, что специфика деятельности предприятия, состоит в оказании услуг по ведению буровзрывных работ подрядным способом. На основе

проведенного SWOT-анализа можно сделать вывод, что одной из наиболее значимых проблем предприятия являются высокие логистические издержки, связанные с большой стоимостью хранения запасов и высокими затратами на транспортировку.

2) Анализ системы управления материальными запасами показал, что на ООО «Кузбассразрезуголь-Взрывпром» исторически сложилась система управления запасами на основе модели с фиксированным интервалом времени между заказами и переменным размером заказа. Поскольку запасы ООО «Кузбассразрезуголь-Взрывпром» являются многономенклатурными, применять унифицированный подход к управлению запасами было бы ошибочно. Проведение ABC-анализа позволило разработать дифференцированный подход к управлению запасами на предприятии ООО «Кузбассразрезуголь-Взрывпром». Для запасов группы А, имеющих наибольший удельный вес в стоимостном выражении, предложено определять оптимальные параметры управления запасами на основе модели с фиксированным размером заказа и переменным интервалом времени между заказами. Расчет, проведенный на основе этой модели для запаса «Эмульсолит-П», принадлежащего к группе А, показал, что предлагаемая система управления запасами позволяет снизить логистические издержки практически вдвое за счет сокращения неоправданно завышенной величины страхового запаса. Аналогичным образом можно снизить логистические издержки при управлении другими запасами группы А: СИНВ, шашки ПТП, Гранулит УП-1.

Что касается высоких затрат на транспортировку, снижение затрат достигается путем совершенствования системы управления материальными потоками (определение оптимальных маршрутов доставки) на основе транспортной задачи. Решение транспортной задачи позволяет получить оптимальные параметры управления внутренними материальными потоками. Сравнение полученных параметров с применяемыми на ООО «Кузбассразрезуголь-Взрывпром» показало, что их отклонение не превосходит 5%. Это подтверждает тот факт, что практика управления внутренними потоками на данном предприятии основана на оптимизационных подходах, а именно, на использовании алгоритма транспортной задачи. Однако проведенный анализ потенциалов транспортной задачи показал, что изменение параметров управления материальными потоками позволяет достигнуть 10 % экономии.

Таким образом, можно полагать, что внедрение предлагаемых подходов позволит ООО «Кузбассразрезуголь - Взрывпром» значительно снизить свои логистические издержки и тем самым повысить его конкурентоспособность на рынке услуг по ведению буровзрывных работ.

УДК 622.684

ОБОСНОВАНИЕ ЭНЕРГОЕМКОСТИ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ ГОРНОЙ МАССЫ БОЛЬШЕГРУЗНЫМИ АВТОМОБИЛЯМИ НА РАЗРЕЗАХ КУЗБАССА

И.А. Паначев, И.В. Кузнецов

Эффективность разработки месторождений полезных ископаемых открытым способом существенно зависит от вида транспорта, применяемого для перевозки горной массы (автомобильного, железнодорожного, конвейерного, гидравлического и др.), выбор которого определяется горно-геологическими условиями месторождений.

Из всех процессов открытой разработки транспортирование горной массы является наиболее трудоемким. Доля транспортных работ в общей себестоимости добычи составляет 50% и более. Поэтому снижение затрат на транспортирование является одной из важных задач повышения технико-экономических показателей открытого способа разработки.

В последние годы на разрезах Кузбасса все более широкое применение находит автомобильный транспорт, представляемый рядом большегрузных автомобилей марки БелАЗ с грузоподъемностью от 55т до 320 тонн, где на долю автотранспорта приходится от 80 до 100% перевозимой горной массы (рис.1).

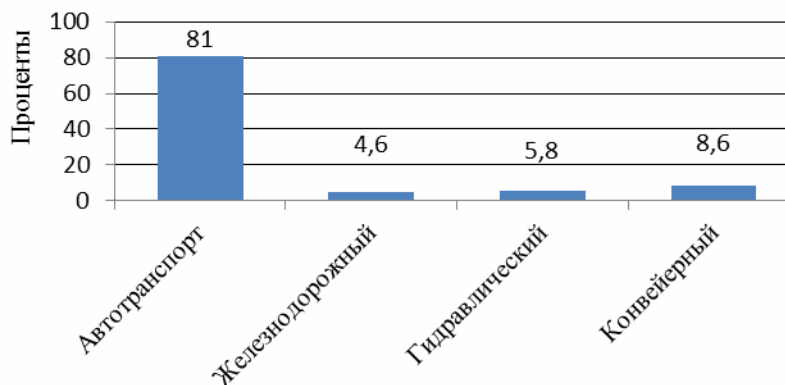


Рис. 1. Доля автотранспорта в процессе транспортирования горной массы

Поэтому оценка энергоемкости транспортирования горной массы автомобильным транспортом на разрезах Кузбасса представляет, как практический, так и научный интерес.

Производительность автомобиля оценивается либо объемом перевезенной горной массы (в м³ или тоннах), либо величиной грузооборота (тонно-километрах). Однако эти показатели не учитывают горно-геологических и технологических условий разрабатываемого месторождения (глубина разреза, подъемы, спуски и др.). Поэтому для оценки эффективности работы автотранспорта целесообразно использовать универсальный показатель – энергоемкость процесса транспортирования, характеризующий расход энергии, учитывающий техническое состояние, как автомобиля, так и технологических дорог.

За критерий оценки энергетической эффективности транспортных систем глубоких карьеров была принята величина удельных затрат энергии на подъем 1 т горной массы на 1 м их глубины, которая может быть определена по формуле [1]

$$P_{\phi} = \frac{g}{i} \cdot k_{nep} \cdot k_{yT} \cdot k_d, \quad (1)$$

где P_{ϕ} – удельные затраты энергии на подъем 1 т горной массы на 1 м, г у. т./т·м (грамм условного топлива/т·м); g – удельный расход дизтоплива автосамосвалами, г/т·м; i – уклон трассы, ‰; k_{nep} – коэффициент переработки, учитывающий затраты энергии на получение дизтоплива из нефти ($k_{nep}=1,18 \div 1,20$) [3]; k_d – коэффициент, учитывающий затраты энергии на добычу и транспортирование топлива ($k_d=1,04 \div 1,10$) [4]; k_{yT} – коэффициент, учитывающий разницу удельной теплоты сгорания дизельного и условного топлива ($k_{ym}=1,5$).

Коэффициент полезного использования энергии на подъем горной массы (η) вычислялся из выражения [1]

$$\eta = \frac{P_T}{P_{\phi} \cdot Q_{yT}} \cdot 100\%, \quad (2)$$

где P_T – теоретически необходимая величина расхода энергии на подъем 1 т горной массы на высоту 1 м ($P_T=9,81$ кДж/т·м); Q_{yT} – удельная теплота сгорания условного топлива, кДж/г ($Q_{yT}=29,3$ кДж/г).

Для оценки энергоемкости карьерного автотранспорта удельная работа по подъему горной массы определялась по формуле

$$A = P_{\phi} \cdot (k_T + 1) \cdot \left(\frac{\omega_0}{i} + 1 \right), \quad (3)$$

где A – удельная работа по подъему горной массы, кДж/т·м; k_T – коэффициент тары автосамосвала; ω_0 – коэффициент сопротивления движению груженого автосамосвала; i – уклон трассы, ‰. Такие составляющие, как коэффициент сопротивления движению груженого автосамосвала (ω_0), уклон трассы (i), удельные затраты условного топлива на подъем горной массы (P_{ϕ}) влияют, как на удельную работу по подъему горной массы, характеризующую энергоемкость, так и на долговечность автосамосвала.

Для определения расхода топлива на разрезах Кузбасса был проведен мониторинг работы двух автосамосвалов БелАЗ-75131 с разным сроком эксплуатации, пробег которых составлял БелАЗ-75131 №1207 – 200000 км и БелАЗ-75131 №1345 – 80000 км. Наблюдения за работой автосамосвалов проводились в течении 1 месяца в различных горно-геологических и технологических условиях. Угол наклона при подъемах на борт изменялся от 20 до 60‰. Этот диапазон был разбит на участки с шагом 10‰. Анализ показал, что автосамосвалы большую часть времени работали на участках с углом подъема трассы 50-60‰.

В результате проведенных расчетов были построены графики удельных затрат энергии этих самосвалов при уклоне 50-60‰ (рис. 2, 3).



Рис. 2. График удельных затрат энергии автосамосвала БелАЗ-75131 №1207 при уклоне 50-60‰



Рис. 3. График удельных затрат энергии автосамосвала БелАЗ-75131 №1345 при уклоне 50-60%

Из области распределения точек видно (см. рис.2, 3), что данный процесс транспортирования горной массы, который характеризуется удельными затратами энергии, является нестационарным. Это говорит о том, что очень сложно описать этот процесс аналитическим путем. Такая задача может быть решена только экспериментально в производственных условиях. При этом необходимо оценить влияние различных факторов на удельные затраты энергии автосамосвалов, а также проанализировать зависимость между такими показателями, как удельная работа по подъему горной массы и коэффициент полезного использования энергии, которые прямо зависят от удельных затрат энергии.

Полученные результаты наблюдений за процессом транспортирования автосамосвалами позволили произвести расчет удельной работы по подъему горной массы. Коэффициент сопротивления движению груженого самосвала ω_0 принимался равным 0.1; 0.2; 0.3, что соответствует уклонам подъема трассы i равным 50-60%.

По полученным данным построены графики зависимости коэффициента полезного использования энергии от удельной работы автосамосвала по подъему горной массы при коэффициенте сопротивления движению ω_0 равном 0.1 (рис.4, 5).

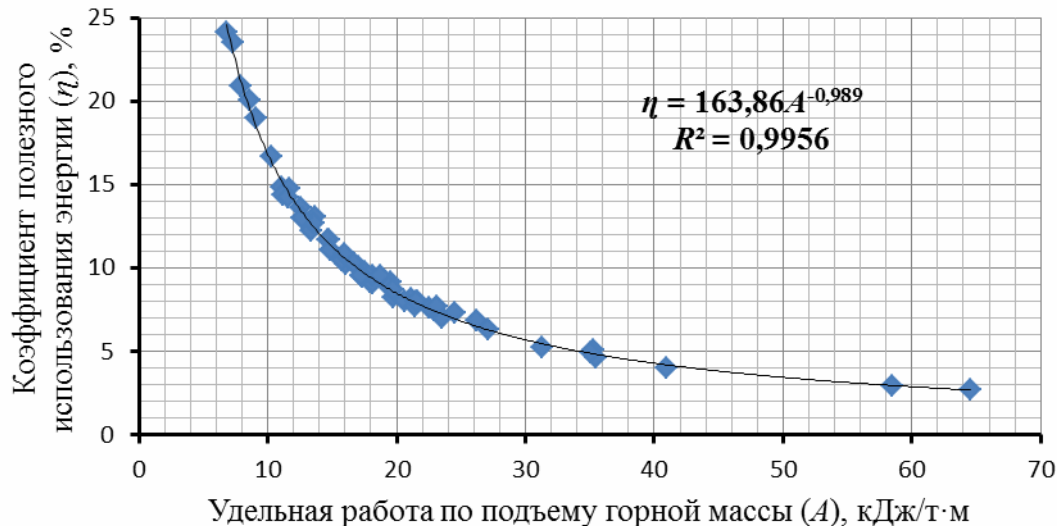


Рис. 4. Зависимость коэффициента полезного использования энергии (η) от удельной работы по подъему горной массы (A) автосамосвала БелАЗ-75131 №1207

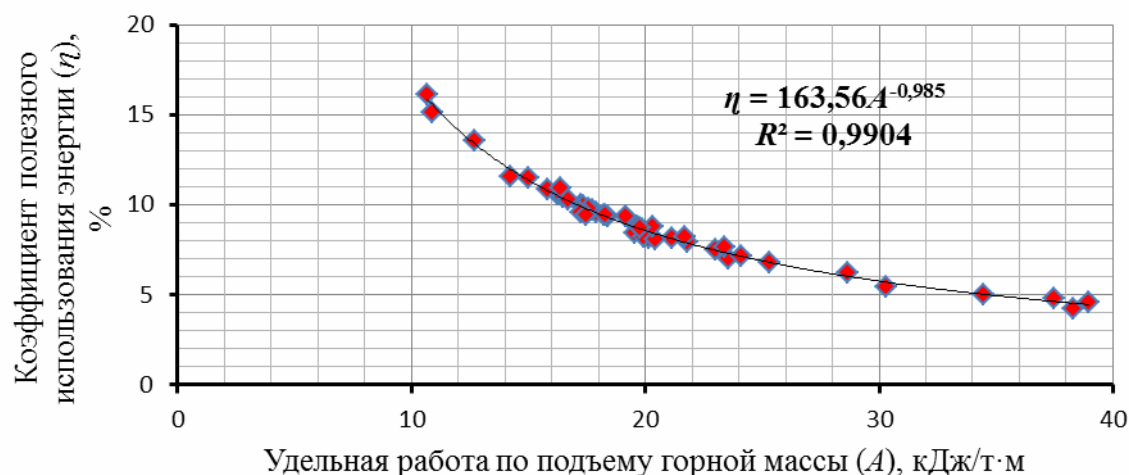


Рис. 5. Зависимость коэффициента полезного использования энергии (η) от удельной работы по подъему горной массы (A) автосамосвала БелАЗ-75131 №1345

Результаты подбора математической модели для описания экспериментальной зависимости приведены в таблице 1.

Таблица 1. Законы распределения и функциональные зависимости

Закон распределения	Функциональная зависимость		Величина достоверности аппроксимации (R^2)	
	БелАЗ-75131 №1345	БелАЗ-75131 №1207	БелАЗ-75131 №1345	БелАЗ-75131 №1207
Экспоненциальный	$\eta = 20,715e^{-0,042A}$	$\eta = 20,749e^{-0,039A}$	0,9515	0,8785
Линейный	$\eta = -0,3386A + 15,967$	$\eta = -0,3353A + 17,139$	0,8294	0,6156
Логарифмический	$\eta = -8,249\ln(A) + 33,6$	$\eta = -9,566\ln(A) + 38,014$	0,9464	0,8935
Полиномиальный	$\eta = 0,0167A^2 - 1,1807A + 25,533$	$\eta = 0,0119A^2 - 1,0886A + 26,056$	0,9751	0,8897
Степенной	$\eta = 163,56A^{-0,985}$	$\eta = 163,86A^{-0,989}$	0,9904	0,9956

Примечание: БелАЗ-75131 №1345 - пробег 80000 км
БелАЗ-75131 №1207 - пробег 200000 км

Из анализа полученных математических моделей следует, что зависимость коэффициента полезного использования энергии от удельной работы по подъему горной массы для автосамосвала БелАЗ-75131 различного пробега описывается общей эмпирической зависимостью

$$\eta = 163A^{-0,98}$$

На рис. 6 показана область оптимальных значений удельной работы по подъему горной массы и коэффициента полезного использования энергии.

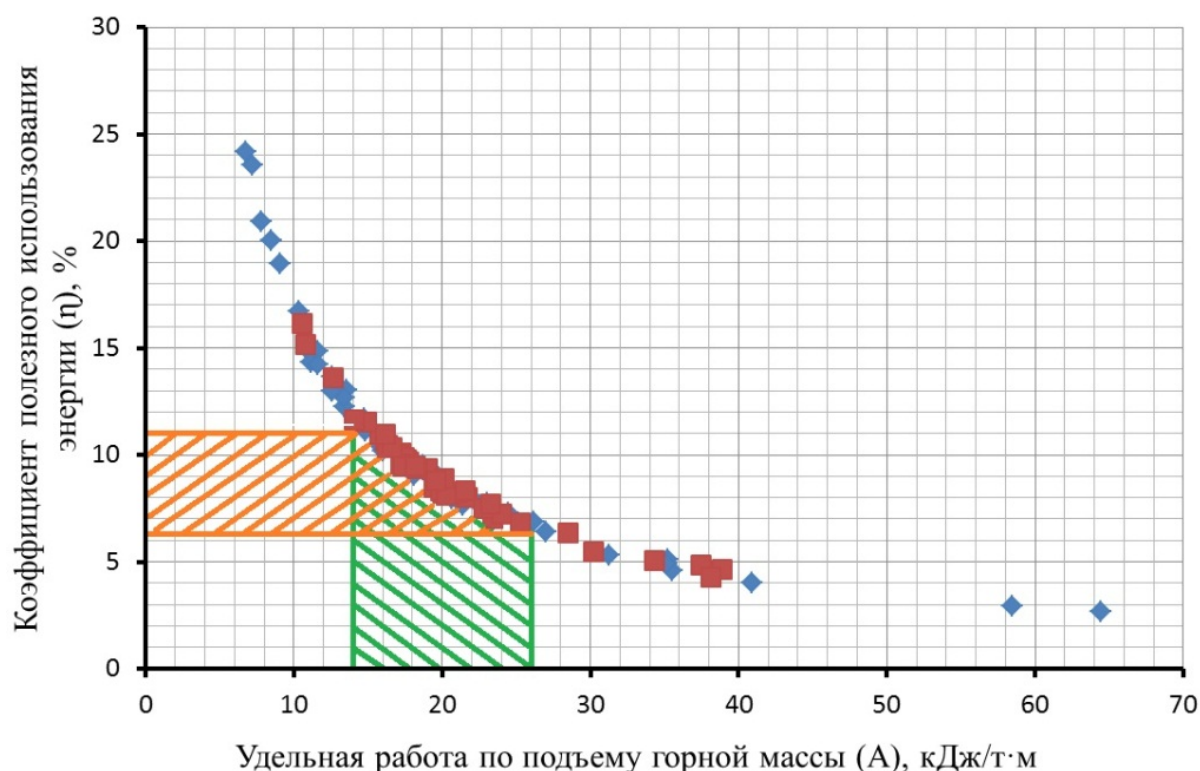


Рис. 6. Зависимость коэффициента полезного использования энергии (η) от удельной работы по подъему горной массы (A) автосамосвалов БелАЗ-75131 №1345 и БелАЗ-75131 №1207

Удельная работа по подъему горной массы (A) автосамосвала должна находиться в пределах 12-23 кДж/т·м, а коэффициент полезного использования энергии (η) в пределах 6-11%, что соответствует эффективной работе автосамосвала и увеличению энергоемкости процесса транспортирования горной массы. На удельную работу по подъему горной массы и на коэффициент полезного использования энергии влияют такие факторы, как расстояние транспортирования, объем перевозимой горной массы, уклон трассы и т. д., которые в свою очередь влияют и на долговечность металлоконструкций. Следовательно, работа автосамосвала в рекомендуемых интервалах значений удельной работы и коэффициента полезного использования энергии позволит увеличить ресурс и долговечность. А значит, энергоемкость процесса транспортирования горной массы, как универсальный показатель, характеризует не только удельный расход энергии, но и долговечность транспортирующего средства.

Для анализа энергоемкости автосамосвалов БелАЗ-75131 полученные результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2. Показатели энергоемкости автосамосвалов БелАЗ 75131 №1207 и №1345 за декабрь

Уклоны, %	Расстояние перевозки, км	Удельные затраты, г у. т./т·м	Коэффициент полезного использования энергии, %	Значение удельной работы по подъему горной массы, кДж/т·м		
				при $\omega_{\sigma}=0,1$	при $\omega_{\sigma}=0,2$	при $\omega_{\sigma}=0,3$
51	$\frac{1,1 - 2,9}{1,1 - 2,8}$	$\frac{2,6 - 6,6}{3,1 - 7,3}$	$\frac{5,1 - 13,1}{4,6 - 10,9}$	$\frac{13,7 - 35,2}{16,3 - 38,9}$	$\frac{22,7 - 58,6}{27,2 - 64,8}$	$\frac{43,5 - 81,9}{38,0 - 90,6}$
54	$\frac{1,2 - 5,0}{1,75 - 4,65}$	$\frac{2,0 - 12,6}{2,1 - 6,7}$	$\frac{2,7 - 20}{4,9 - 16}$	$\frac{7,3 - 64,5}{10,7 - 34,5}$	$\frac{12,1 - 106,4}{17,6 - 56,9}$	$\frac{16,8 - 148,3}{24,6 - 79,3}$
58	$\frac{1,0 - 3,5}{1,7 - 3,7}$	$\frac{1,4 - 6,4}{2,2 - 6,1}$	$\frac{5,2 - 24}{5,4 - 15,1}$	$\frac{6,8 - 31,3}{10,9 - 30,3}$	$\frac{11,1 - 51,2}{17,7 - 49,5}$	$\frac{15,4 - 71}{24,6 - 68,7}$

Примечание: БелАЗ-75131 №1207
БелАЗ-75131 №1245

Для углубленного решения вопроса энергоемкости транспортирования горной массы автосамосвалами были проанализированы показатели работы по каждому рейсу.

Полученные результаты о работе автосамосвала БелАЗ-75131 №1276 за январь и февраль 2011 года показали, что данный автосамосвал в январе большую часть времени работал на участках с расстоянием транспортирования 1,75-2,5 км, а в феврале – 2,75-3,5 км.

Были построены максимально приближенные модели расхода топлива во времени при различных расстояниях транспортирования горной массы и определены их эмпирические зависимости (рис.7). В полученных уравнениях полиномиального вида изменялся коэффициент b , определяющий величину расхода топлива и зависящий от расстояния.

$$g = 0,0002 \cdot t^2 - b \cdot t + 1904,5.$$

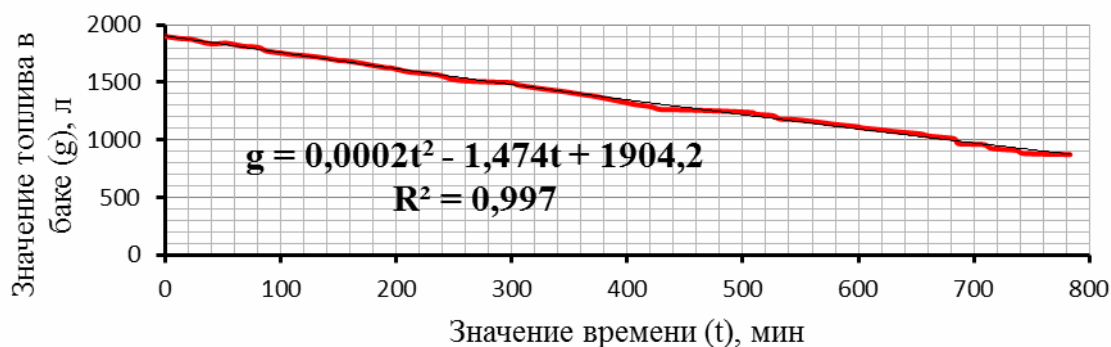


Рис. 7. Расход топлива автосамосвала БелАЗ-75131 №1276 за 1 смену 27.07.2011 г. при расстоянии транспортирования 2 км

По полученным данным построена зависимость коэффициента уравнения b и расстояния транспортирования S (рис. 8)

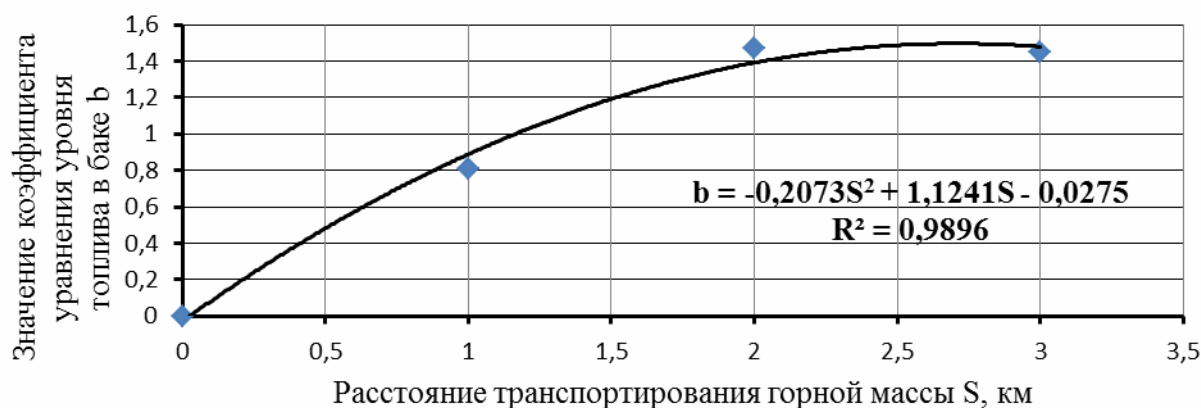


Рис. 8. Зависимость коэффициента уравнения уровня топлива в баке b от расстояния транспортирования горной массы S

Получение данной зависимости позволяет рассчитать расход топлива за один рейс при различном расстоянии транспортирования.

После обработки и анализа данных по работе за рейс автосамосвала БелАЗ-75131 за январь и февраль были построены графики, отображающие изменение удельной работы по подъему горной массы с течением времени (рис. 9).

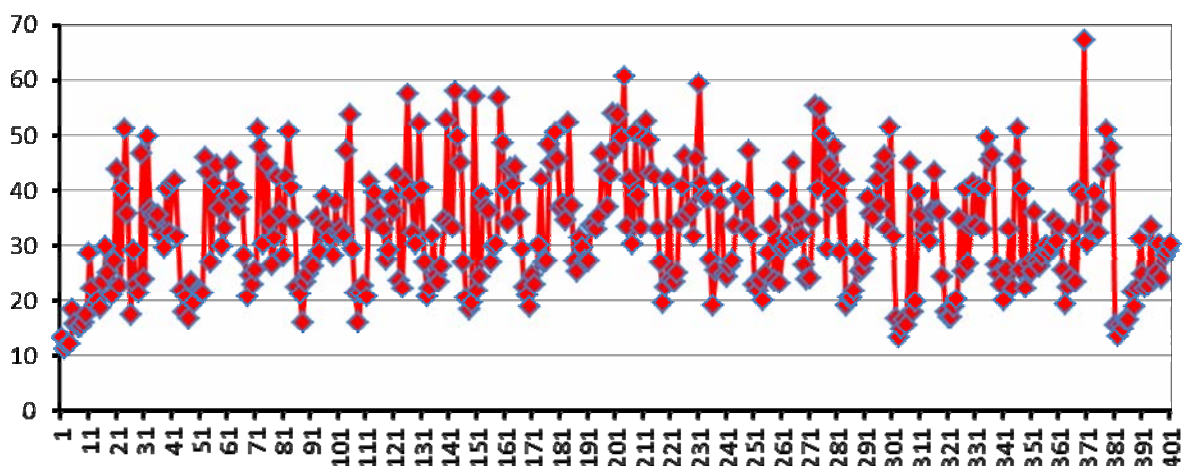


*Рис. 9. Изменение значений работы по подъему горной массы
автосамосвалом БелАЗ-75131 за февраль 2011 г
при расстоянии транспортирования 2,75-3,5 км*

Из области распределения точек видно, что изменение значений работы по подъему горной массы за рейс, как и за смену, невозможно описать функциональным законом. Следовательно, транспортирование горной массы как процесс, который характеризуется энергоемкостью, является нестационарным.

В результате выполненных исследований установлено, что

- получение эмпирической зависимости между энергоемкостью и долговечностью, задача, которая выражает научный и практический интерес;
- полученные математические модели различных зависимостей при непрерывном мониторинге удельных затрат дизтоплива снижают определенные, как временные, так и материальные затраты на анализ технического состояния автосамосвала и состояния технологических дорог.

Список литературы

1. *Тангаев И. А.* Энергоемкость процессов добычи и переработки полезных ископаемых. – М.: Недра, 1986. – 231 с.
2. *Сисин А. Г., Лукин Ю. Г.* Основные резервы экономии дизельного топлива на карьерном транспорте//Разработка рациональных технологий добычи руд цветных металлов: Сб. научн. тр./Ин-т Унипромедь. – Свердловск, 1988. – С. 39–45.
3. *Ставров О. А.* Перспективы создания эффективного электромобиля. – М.: Наука, 1984. – 88 с.
4. *Бесчинский А. А., Коган Ю. М.* Экономические проблемы электрификации. – М.: Энергия, 1976. – 424 с.

УДК 658.012.1

ИННОВАЦИИ И ИХ РОЛЬ В ПОВЫШЕНИИ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ УГЛЕДОБЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Л.Ю.Сапожникова, доцент НФИ КемГУ, г. Новокузнецк

Рассмотрена задача оптимального управления конкурентоспособностью угледобывающих предприятий.

Исследована роль инноваций в повышении конкурентоспособности предприятий и предлагается система мер по поддержке инноваций в угольной промышленности России. Ключевые слова: инновации, инвестиции, управление конкурентоспособностью.

The task of optimal management of competitiveness of a network of organizations. The role investments and innovations in the process of the increase of competitiveness of organizations. Keywords: innovations, investments, management of competitiveness.

Главной задачей программы Энергетической Стратегии России на период до 2030 года, относящейся к развитию угольной промышленности, является реализация потенциальных конкурентных преимуществ российских угольных компаний в рамках осуществления долгосрочной государственной энергетической политики.

Программа развития угольной отрасли предусматривает полное обновление производственного потенциала отрасли. К 2030 году будет введено 505 млн. т новых мощностей по добыче угля, при этом ожидается сокращение около 380 млн. тонн устаревших мощностей. Основным фактором формирования конкурентоспособности является инновации и инновационная деятельность, при действующем синтезе науки и предпринимательства. Основной проблемой реализации инновационной деятельности на угледобывающих предприятиях, на наш взгляд, является отсутствие сформированной партнерской площадки между научными разработками и субъектами бизнеса и отсутствие четких экономических стимулов, которые подвигали бы угольные компании и предприятия более широко применять новые технологии углепереработки, а генерирующие компании – использовать уголь в электроэнергетике. Важнейшим стимулом могло бы стать изменение соотношения цен на газ и уголь, но, несмотря на декларации, этого не происходит. Вопреки требованиям Энергетической стратегии России до 2030 года о возрастании доли угля в топливно-энергетическом балансе России на протяжении десяти лет внутреннее потребление угля не увеличивается, и рост объема добычи продиктован потребностями экспорта. Работа на внутреннем рынке практически в точке безубыточности определила основной источник финансирования инвестиционных программ угледобывающих предприятий – прибыль от экспортной выручки.

Для повышения конкурентоспособности угольных предприятий, производительность труда по сравнению с показателями 2009 года должна пятикратно возрасти, что также отражено в программе развития угольной отрасли. Чтобы достичь этой цели, необходимы совместные усилия угольных компаний и государства по усилению инновационного процесса в отрасли. В этих целях в рамках государственно-частного партнерства назрела необходимость создания фонда НИОКР, где будут представлены интересы частных угольных компаний и государства. В развитых странах вклад частных компаний в финансирование научных разработок составляет около 80 процентов, государство финансирует от 10 до 20 процентов НИОКР. У нас это соотношение обратное: государство финансирует до 80 процентов научно-исследовательских разработок. Для корректировки сложившегося соотношения необходим действенный механизм государственно-частного партнерства, поддержки государством инновационных проектов, создание законодательных условий, благоприятствующих внедрению НИОКР. Государство, стимулируя разными способами реализацию инвестиционных проектов, осуществляемых угольными предприятиями, должно контролировать не столько возврат инвестиций и накопленный денежный поток по инвестиционным проектам, сколько структуру инвестиций и долю, относящуюся к высоко инновационным технологиям.

Для возникновения и укрепления мотивации угольного бизнеса к спросу на инновации на государственном уровне представляется целесообразным реализовать следующие условия:

1. Необходимо любой ценой, в том числе экономического понуждения создать спрос у бизнеса на инновации;
2. Организовать финансирование инноваций только через реальный сектор экономики;
3. Каждый выделенный государством рубль должен быть «привязан» к инновациям.

Исходя из этих условий, необходима разработать целостную систему мер по поддержке инноваций в угольной отрасли, в которую могут входить следующие направления:

1. Контроль со стороны государства не только за применением нового высокотехнологичного оборудования и машин, но и за выводом устаревших технологий из производственного процесса. Перечень устаревших технологий и оборудования должен ежегодно формироваться и дополняться.
2. Сформировать на уровне государства ежегодно обновляемый список инновационных технологий, оборудования и патентов на технологии, которые будут поддерживаться государством и предоставлять угольным предприятиям государственные гарантии, налоговые льготы для финансирования инвестиционных проектов только из поддерживаемого списка.
3. С/с учетом высокой стоимости инновационных машин и оборудования, необходимо для их применения установить апробированные мировой практикой льготы, которыми могут быть увеличение нормы амортизации на высокотехнологичное оборудование в 2-3 раза, установление платы за использование оборудования из «запретного» перечня.
4. Законодательно закрепить право собственников разработчиков НИОКР на результаты их интеллектуального труда в случае финансирования НИОКР из средств федерального бюджета.

Внедрение в практику системы мер по поддержке инноваций в угольной промышленности и основных направлений инновационной деятельности, (к которым могут быть отнесены передовые решения, уже применяемые в отдельных угледобывающих компаниях и предприятиях, которые дают положительные результаты, и их целесообразно распространить на других предприятиях, в компаниях, месторождениях), позволит создать условия для значительного роста объемов добычи и повышения конкурентоспособности угледобывающих предприятий.

Литература:

1. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года //Москва, 2009. URL www.minenergo.gov.ru/activity/energostrategiya/ Energostrategiya-2030.doc
2. Малышев Ю. Н. Угольная промышленность в России в XXI веке. - М. Грани, 2008.
3. Плакиткина Л. С. Интенсификация инновационного процесса в угольной промышленности России//Горная промышленность.-2011. №3 с.4-12

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ФУНКЦИОНИРОВАНИИ УГОЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ В КУЗБАССЕ

Скукин В. А., к.т.н., доцент кафедры отраслевой экономики КузГТУ, г. Кемерово

В Кузбассе внедрение новых технологий при добыче угля с использованием техники лидеров производителей горно-шахтного оборудования DBT, JOY, TAGOR, Eickoff, Pettito, MULE позволило значительно повысить добычу угля и снизить число одновременно работающих очистных забоев и численность персонала.

В тоже время постоянно возникающие экономические и финансовые кризисы создали значительные трудности в финансировании текущей и инвестиционной деятельности и использования новых технологий.

За период с 1999 по 2009 годы в Кузбассе введено в эксплуатацию 19 шахт и 22 разреза общей проектной мощностью около 58 млн.т, 13 обогатительных фабрик суммарной мощностью по переработке более 30 млн.т., инвестировано более 180 млрд.руб. Основным источником финансирования строительства новых объектов остаются собственные и заемные средства угольных компаний. Проектные производственные мощности по новым участкам составляют более 100 млн. т в год, из них для открытой добычи – 38 млн.т. Проектный прирост производственных мощностей по добыче коксующихся углей ожидается около 40 млн. т. Проектные производственные мощности до 2015 г. составляют 230–250 млн.т год. К 2030 г. Кузбасс может добывать 240 - 270 млн. т.

Исследования, проведенные в КузГТУ и его филиалах, позволили выявить экономические проблемы на горных предприятий Кузбасса: увеличение транспортных тарифов на перевозки угля; несовершенство структурной перестройки угольной отрасли; низкий уровень менеджмента, ежегодно растут затраты на добычу (себестоимость добычи относительно 2000 г. выросла в 2.8 раза). В части поставок на экспорт, самыми острыми являются проблемы, связанные с отсутствием необходимого количества подвижных составов для перевозки угольной продукции. Для решения этой проблемы в Прокопьевске в настоящее время строится крупное вагоноремонтное предприятие «Новотранс» (строит его «Сибирский деловой союз»), что позволит в будущем стабилизировать вывоз угля.

Угольные предприятия в Кузбассе разрабатывают месторождения с одинаковыми горно-геологическими условиями различными технологиями. На первое место ставится цель максимального извлечения прибыли, а потом полнота извлечения, принимаются попытки экономического обоснования на списание с баланса участков с повышенной трудоемкостью и затратами. На одном участке зачастую работают горные предприятия разных угольных компаний. По этой причине создаются охранные целики, которые не извлекаются по окончании отработки основной части участка месторождения. Это приводит к дополнительным промышленным потерям угля.

При частной собственности на эксплуатацию участков угольных месторождений возникают проблемы финансирования работ обеспечения экологической безопасности: ограничивается или прекращается выделение финансовых средств на ликвидацию экологических нарушений на действующих и ранее отработанных участках месторождения. Региональные и местные органы вынуждены изыскивать средства на создание нормальной экологической обстановки при ограниченных налоговых поступлениях от действующих горных предприятий. Обеспечение финансирования инвестиционных программ, в том числе и экологических, возможно только в крупных компаниях. Недостаток финансовых ресурсов резко снижает выполнение работ по обеспечению экологической безопасности, как на действующих предприятиях, так и на отработанных участках угольных месторождений. Для устранения этих проблем необходимо формирование специальных фондов: резервных, экологических на уровне холдинговых компаний и региональных органов.

Требуется вложение крупных инвестиций для развития следующих перспективных направлений развития угольного производства: внедрение безотходных плазменных технологий превращения органической составляющей угля в синтез-газ и извлечения из него микро- и макроэлементов; создание энерготехнологических установок для комбинированного производства метанола и электроэнергии, основанных на процессах газификации угля и синтеза метанола; освоение и развитие извлечения шахтного метана из угольных пластов; развитие технологий переработки и использования угля и природного газа в производстве высококачественных технических пластмасс, синтетических материалов для радиоэлектроники и производства промышленной автоматики. Необходимо становление новой для кузбасской и российской экономики высокотехнологичной отрасли - производство оборудования для снижения экологического ущерба, наносимого предприятиями энергетики, химической, угледобывающей, металлургической промышленности.

Для улучшения финансового состояния горных предприятий региона, по нашему мнению, необходимо осуществление следующих мероприятий: оказание помощи государством горнодобывающим компаниям в виде снижения процентных ставок по кредитам для инвестиций; формирование института банкротства предприятий (он должен приводить к смене собственности, но не к остановке производства); продолжение работ по созданию и укрупнению горных предприятий в холдинговые компании; расширение научно-исследовательских работ по созданию более эффективных производств при комплексном использовании минерально-сырьевых ресурсов.

Аннотация

Приведены результаты исследования использования новых технологий на горных предприятиях Кузбасса. Установлена недостаточная эффективность эксплуатации участков месторождений из-за несогласованности действий собственников, работающих на участках месторождений.

УДК 33.ББК 65.573.338© Г.С. Трушина, К.Н. Зуев

ЗНАЧЕНИЕ УГЛЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ БУДУЩЕГО

Трушина Г.С., докт.экон.наук, профессор кафедры отраслевой экономики; Зуев К.Н., ст., КузГТУ, г. Кемерово

Развитие мировой экономики сопровождается увеличением потребления энергии и первичных энергоносителей. Из данных, представленных в табл.1, видно, что рост производства электроэнергии за период 1980-2009 гг. произошел, в основном, за счет Китая (в 11,47 раз), Индии (6,1 раза), Австралии (249,6 %), Франции (207,6 %), США (164,6 %), в России - лишь на 129,2 %.

Таблица 1.
Динамика производства электроэнергии

[1,2]

Страны	Производство электроэнергии, млрд. кВт·ч			Производство электроэнергии на душу населения, кВт·ч		
	1980 г.	2009 г.	2009 г. к 1980 г., %	1980 г.	2009 г.	2009 г. к 1980 г., %
Мир в целом	7517,7	19028*		1702,8	3020,3*	
Россия	805	1040,0	129,2	5805	7426,4	128
Великобритания	285	368,6	129,3	5065	6031,4	119,1
Италия	186	289,7	155,7	3291	4984	151,4
Франция	258	535,7	207,6	4788	8362,9	174,6
Индия	119	723,8	608,2	177	625,6	353,5
Китай	301	3451,0	1146,5	306	2578,1	842,5
Япония	578	957,0	165,6	4944	7530,8	152,3
США	2496	4110,0	164,6	10957	13378	122,1
Австралия	96,1	239,9	249,6	6542	11283	172,5

19028*, 3020,3*- 2006 г.

По странам мира наблюдается значительный разрыв в производстве электроэнергии на душу населения. Так, производство электроэнергии на душу населения в 2009 г. соответственно составляло в США 13378; России – 7426,4; Китае – 2578,1; Индии – 625 кВт·ч. %. В соответствии с «Международным прогнозом развития энергетики – 2006» (International Energy Outlook 2006 – США) мировое потребление электроэнергии к 2030 г. может увеличиться до 30116 млрд. кВт·ч. С дальнейшим развитием экономики Китая и Индии, численность населения которых составляла на 01.01.2010 г. 2 495,4 млн. человек или 36,76% от общего населения мира, в перспективе будет возрастать потребность в энергоресурсах для производства тепловой и электрической энергии. По Сценарию новых стратегий (World Energy Outlook 2010) спрос на первичную энергию увеличится с 11164 млн. т н. э. в 2009 г. до 16700 млн. т н. э. к 2035 г. или на 149,6.

В 2009 г. наибольший удельный вес в структуре мирового энергопотребления принадлежал нефти (34,8%), уголю (29,4%) и природному газу (23,8%), а наименьший – гидроэлектроэнергии (6,6%) и атомной энергии (5,4%). В целом по миру до 40,2% электроэнергии вырабатывается на угле, в том числе в ЮАР – до 90 %, Китае – до 80 %, Австралии – более 70 %, Казахстане – 70 %, Индии - более 54 %, США - до 50 %. Ежегодный темп роста использования гидроэнергии и электроэнергии от использования других возобновляемых источников энергии будет увеличиваться ежегодно в среднем на 2,4 %. По данным МАГАТЭ на 1 января 2010 года в мире эксплуатировалось 437 энергетических реакторов общей мощностью 370,187 ГВт. Однако после аварии на атомных электростанциях Японии, вызванных землетрясением, в ряде стран пересматриваются программы по использованию ядерной энергетики, в Германии принято решение приостановить строительство новых атомных реакторов [4]. В Японии предусматривается замена атомной энергии на другие виды источников энергии. Потребность в угле будет расти.

Запасы природных энергоресурсов в мире истощаются. По данным [5.6] основными источниками энергоресурсов до 2035 г. останутся нефть, уголь и природный газ. В 2035г. уголь будет лидирующим энергоносителем, но его доля в производстве электроэнергии снизится с 40,2% в 2007 г. до 32% в 2035 г. По Международному прогнозу энергетики 2007 АЭИ США объем потребления угля к 2030 г. может составить 9581

млн. т или 135,5 % от ожидаемого уровня 2015 г. Рост потребления угля будет осуществляться, в основном, за счет увеличения объема промышленного использования угля Китаем (71% мирового роста потребления угля).

По состоянию на 01.01.2008 г. извлекаемые запасы угля в мире оценивались в 847,47 млрд. т, из них более 67% были сосредоточены в США -28.6%, России – 18,5%, Китае – 13,5%, Индии – 6,7%

Из данных, представленных в табл. 2, видно, что удельный вес добычи семи стран составляет 88 % от мировой добычи, из них в Китае – более 48,3 %, США – 14,8 %, России - лишь 4%. В 2010 г. по данным Росинформугля фактический объем добычи угля в России составил 332млн. т. При сложившихся объемах добычи запасов угля в Китае может хватить до 37,5 лет, США – 250 лет, Индии – 165 лет, Австралии – 193 года, России – более 500 лет. Спрос на российский уголь будет увеличиваться.

Таблица 2.

Динамика добычи угля по основным угледобывающим странам мира, млн.т

Страны	2000	2005	2009	2010	2010 к 1990,%	2010 Удельный вес добычи угля
США	974,0	1026,5	975,2	984,6	101,1	14,8%
Россия	258,3	298,3	301,3	316,9	122,7	4,0%
ЮАР	224,1	244,4	250,6	253,8	113,2	3,8%
Австралия	312,0	375,4	413,2	423,9	135,9	6,3%
Китай	1384,2	2349,5	2973,0	3240,0	234,1	48,3%
Индия	334,8	428,4	556,0	569,9	170,2	5,8%
Индонезия	77,0	152,7	256,2	305,9	397,3	5,0%
МИР	4693,3	6035,3	6880,8	7273,3	155,0	100,0%

Источник: <http://www.bp.com/statisticalreview>

В соответствии с «Международным прогнозом энергетики 2007» АЭИ Министерства энергетики США добыча угля в мире может составить в 2030 г. 8631 млн. т, или 124,4% от уровня добычи 2010 г. Из данных, представленных в табл. 3, видно, что основной прирост добычи ожидается за счет наращивания добычи в Китае и США.

Таблица 3.

Прогноз добычи угля в мире, млн. т

Страны	2010 г.	2020 г.	2025 г.	2030 г.	2030 г. к 2010 г., %	Удельный вес в мировой добыче в 2030 г., %
Мир в целом	6940,6	7245	7936	8631	124,4	100
Китай	3050,0	3210	3602	4035	132,3	46,75
США	973,2	1158	1314	1464	150,4	16,96
Индия	557,6	466	518	562	100,8	6,52
Австралия	409,2	480	514	549	134,2	6,36
Россия	298,1	341	354	367	123,1	4,25
ЮАР	250,0	346	372	385	154,0	4,46
ИТОГО	5538,1	6001	6674	7362	132,9	85,3
% от мировой добычи	79,8	82,8	84,1	85,3	+5,5	–

Анализ прогноза мировой добычи угля и фактической добычи (табл. 2,3) показывает, что американские эксперты занизили мировой потенциал по добыче угля (на 2010 год по программе США объем добычи должен составить 6312 млн т, фактически объем добычи составил 7273 млн. т). По России добыча угля по прогнозу на 2015 год должна составить 324 млн. т, но данный уровень достигнут в 2010 году (прогноз составлял 298,1 млн. т).

В ЭС-30 РФ прогноз добычи угля по России более оптимистичный. В табл. 4 отображены различные сценарии перспективной добычи угля в России до 2030 г.

Таблица 4.

Прогноз добычи угля в РФ до 2030 года, млн т.

Сценарии	<u>2010г.</u>	<u>2015г.</u>	<u>2020г.</u>	<u>2030г.</u>
ЭС-30 РФ	323 (факт.)	314 - 350	365 – 410	425 – 470
ЭС-2030 Института энергетической стратегии (РФ)	330 (прогноз)	380	430	520
International Energy Outlook-2006 (Международный прогноз энергетики - 2006)	-	324	354	367
Авторский	321(прогноз)	350	361	407

Анализ различных вариантов прогноза добычи, как по миру, так и по России показывает неуклонный рост добычи, в основном, с одинаковым приростом по каждому временному этапу прогнозирования. Анализ фактической информации по мировой добыче угля с 1981г. по 2010 г. и по России с 1995г. по 2010г. (рис. 1,2) показывает периодический спад производства в периоды мировых экономических кризисов, который необходимо учитывать при перспективном планировании. На основе отчетной информации нами выявлена корреляционная зависимость добычи угля от фактора времени. Ориентация при прогнозировании на сложившуюся тенденцию изменения добычи угля, без учета цикличности развития рыночной экономики, не позволит учесть с достаточной достоверностью изменение спроса на уголь, так как одним из ключевых признаков рыночной экономики является ее цикличность, выражающаяся в более или менее регулярном повторении спадов и подъемов производства.

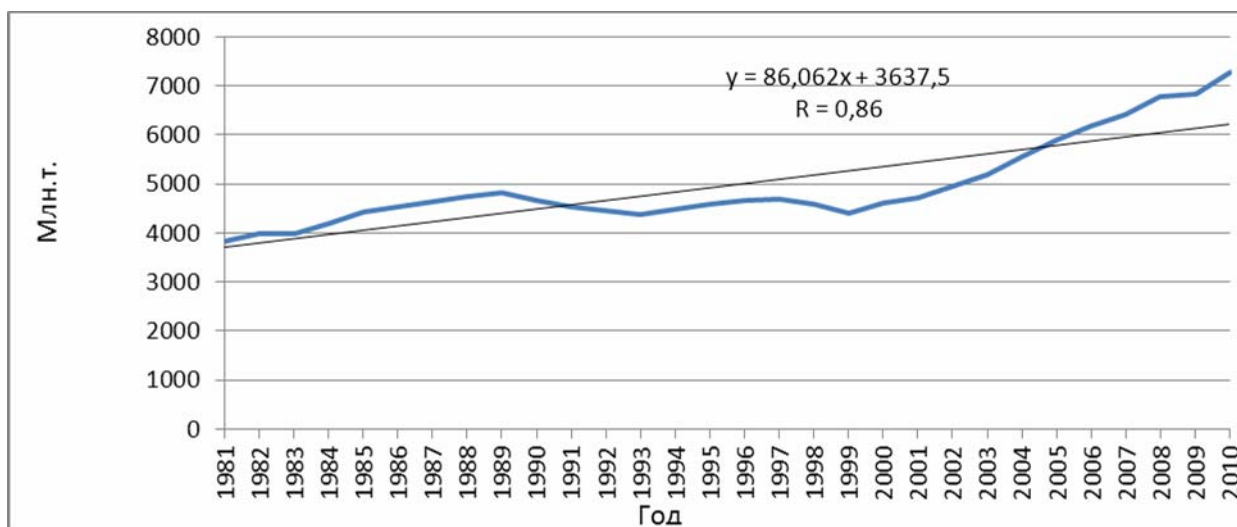


Рис.1. Динамика мировой добычи угля.

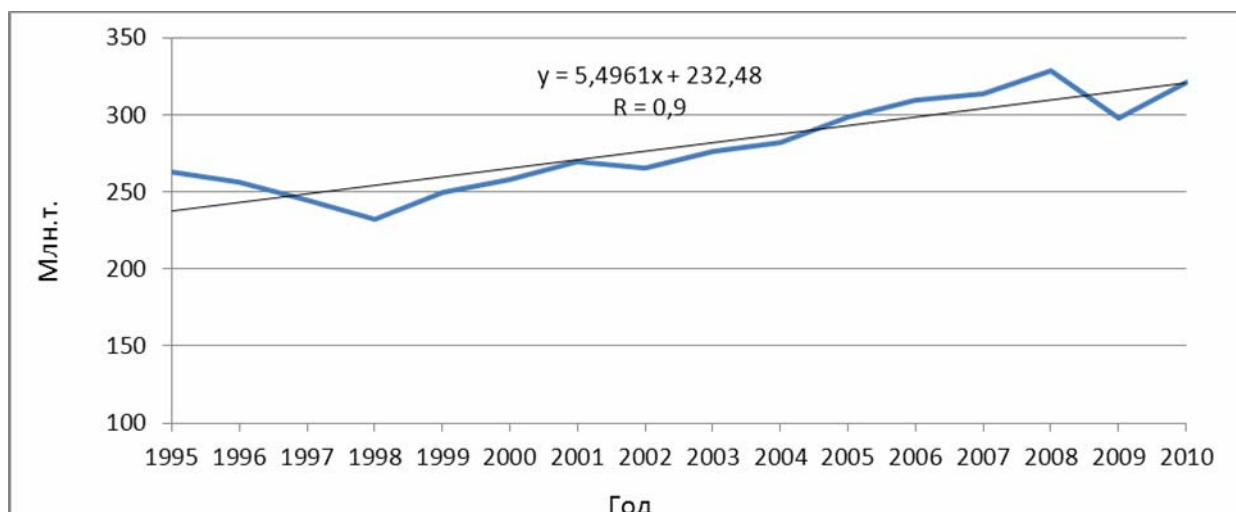


Рис. 2. Динамика добычи угля в России.

Для рыночной экономики характерны, как малые (до 10 лет), так и большие циклы с долговременными тенденциями (волнами) протяженностью 50-60 лет (волны Кондратьева) [7], включающими в себя понижательную и повышательную фазы. Развитие капиталистической экономики характеризуется последовательным чередованием периодов замедленного и ускоренного роста, каждый из которых длится 20-30 лет. Основные элементы, которые воспроизводят долговременные периодические колебания в экономике – оборот основного капитала с длительным сроком службы, накопление свободного денежного капитала, научно-технический прогресс.

Каждая нижняя точка новой волны характеризуется новым финансово-экономическим кризисом. Затем подъем экономического развития продолжается до верхнего пика - 25-30 лет, который можно подразделить по теории Жюгляра на малые циклы по 7-11 лет. Выделяют следующие малые циклы: волна 1963-1974 гг.; волна 1974 – 1982 гг.; волна 1982 – 1991 гг.; волна 1991 – 1998 гг.; волна 1998 – 2008 гг. В соответствии с теорией о малых циклах можно прогнозировать следующие волны: волна 2008 – 2019гг.; волна 2019–2030гг.

При прогнозировании объема добычи угля необходимо учитывать, по нашему мнению, следующие особенности развития рыночной экономики:

в зависимости от стадии длинной волны изменяется характер поведения, показатели и глубина кризисов в малых циклах; на нисходящей части длинной волны кризисы в малых циклах более глубокие и значительные, чем на восходящей части длинного цикла; на стадии кризиса в длинной волне при совпадении с кризисом в малой волне наблюдается самый глубокий и сильный кризис в экономике; кризис в малых волнах проявляется незначительно только ближе к вершине длинной волны; незначительное несовпадение, в некоторых случаях, данных тенденций объясняется влиянием различных факторов.

Таким образом, при прогнозировании необходимо учитывать не только изменение спроса на продукцию по длинным волнам (по теории Кондратьева), но и изменение спроса по малым циклам экономического развития периодом в 7-11 лет (по теории Жюгляра).

В нашем исследовании теория о колебаниях рынка Кондратьева и Жюгляра была апробирована на примере угольной промышленности мира за период 1945 – 2010 гг. Апробация показала совпадение динамики добычи угля с колебаниями волн развития рыночной экономики. В соответствии с выявленными тенденциями развития угольной промышленности и учетом теории Кондратьева о колебании волн мы разработали поэтапный прогноз добычи угля в мире до 2030 года (авторский), который отражен на рис. 3. Из рисунка видно, что по Международному прогнозу энергетики 2006 во втором этапе к 2020 г. предусматривается в перспективе неуклонный рост добычи угля. По нашим расчетам с учетом колебания рыночных волн объем добычи угля будет увеличиваться до 2019 года. Затем произойдет спад, соответствующий тенденциям уменьшения добычи в относительных единицах в периоды экономических кризисов. Объем добычи угля в 2030 году может составить 9539 млн.т., что на 908 млн.т. больше, чем по стратегии International Energy Outlook 2006 – США.



Рис.

2. Сценарии прогноза мировой добычи угля.

Аналогично был разработан прогноз добычи угля в России до 2030 года.

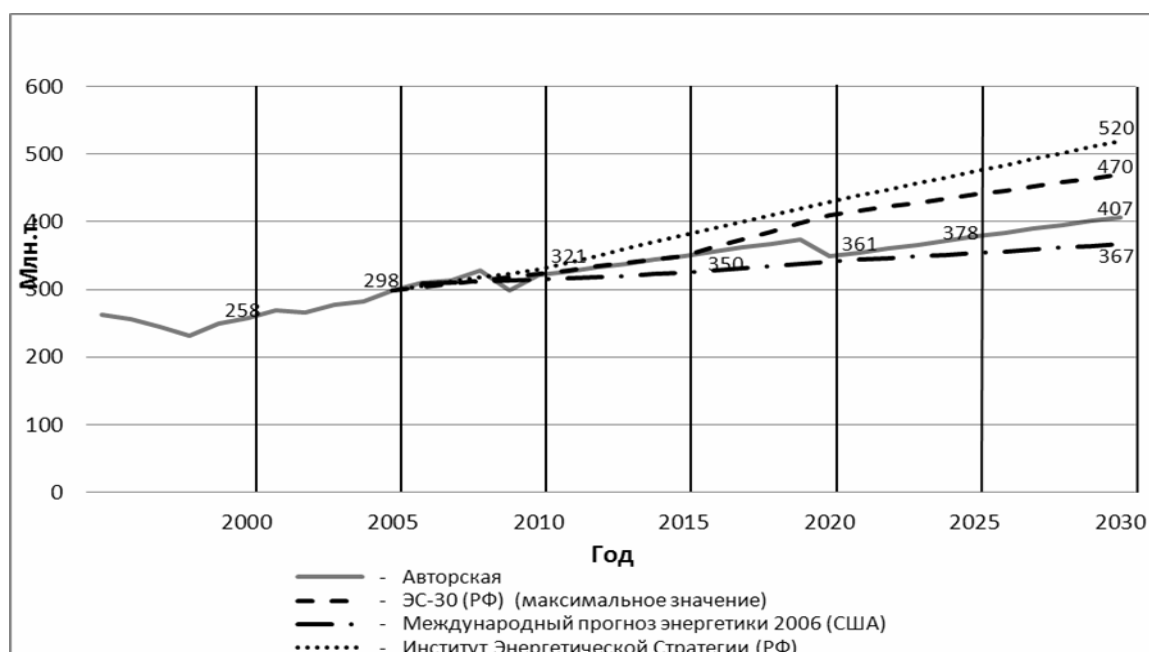


Рис. 2.

Сценарии прогноза добычи угля в России.

Из рис. 2 видно, что по стратегиям International Energy Outlook – 2006, ЭС-30 РФ, ЭС – 2030 (ИЭС) во втором этапе к 2020 г. предусматривается в перспективе неуклонный рост добычи угля. По нашим расчетам с учетом колебания рыночных волн объем добычи угля будет увеличиваться и почти совпадать с уровнем ЭС-30 до 2020 года. Затем возможен спад добычи. Объем добычи угля в 2030 году может составить 470 млн. т (на 103 млн. т больше, чем по стратегии International Energy Outlook 2006, но на 63 млн. т меньше перспективного уровня добычи оптимистического варианта ЭС-30 РФ и на 113 млн. т меньше ЭС – 2030 (ИЭС). Данный прогноз был составлен на основе сложившегося спроса на российский уголь в настоящий период. С учетом возможного увеличения спроса на уголь в Японии, Китае и других азиатских стран, объем добычи угля после 2020 г. может увеличиться до оптимального уровня добычи, предусмотренного в ЭС-30 (РФ).

Литература

1. <http://informatsiya.ru/tab1/20-vvp-na-dushu-naseleniya-po-pps-2009.html>
2. <http://informatsiya.ru/tab1/459-statisticheskie-dannye-stran-mira-za-2010-god>
3. World Energy Outlook 2009. Основные положения. OCDE/AIE, 2009
4. <http://www.oilru.com/news/233833>
5. BP Statistical Review of World Energy, June 2010
6. http://www.immigrantclub.net/how_many.php
7. Кондратьев Н.Д. Большие циклы конъюнктуры и теория предвидения. Избранные труды [текст] / Ред. кол. Л.И.

Абалкин и др. – М.: Экономика, 2002

8. Трушина Г. С. Роль угольной промышленности в развитии мировой энергетики/ Г. С. Трушина, Щипачев М.С., Савчина И.М.//ТЭК и ресурсы Кузбасса.-2011.-№4

9.<http://www.bp.com/statisticalreview>

10.<http://www.worldenergyoutlook.org/2006.asp>

АННОТАЦИЯ

Показаны перспективы развития мировой энергетики, значение угля в производстве электроэнергии, прогноз мировой и российской добычи угля до 2030 г.

Prospects of development of world power, value of coal in electric power manufacture, the forecast of world and Russian coal mining till 2030 are shown.

УДК 334.7

ПРОБЛЕМА ПОДБОРА КАДРОВ ДЛЯ ИННОВАЦИОННОГО БИЗНЕСА

***Ушаков А.Г. аспирант, ассистент, Брюханова Е.С. аспирант, Ушаков Г.В. к.т.н., доцент
КузГТУ им. Т.Ф. Горбачева, ООО «МИП НТЦ «Экосистема», г. Кемерово***

Поддержке инновационной деятельности, как в Кемеровской области, так и во всей России в последнее время уделяется все больше и больше внимания.

Неотъемлемым элементом любой инновационной системы являются малые инновационные предприятия (МИП). Именно они являются связующим звеном между наукой и производством.

Среди многих проблем, с которыми сталкиваются МИПы на пути своего создания и начала функционирования, необходимо отметить следующую – это проблема подготовки кадров. Наличие профессиональной команды – залог успешной реализации любого инновационного проекта. На ранних этапах функционирования МИПов многое зависит от того, насколько активными, целеустремленными будут ее сотрудники и как они сумеют повысить конкурентоспособность фирм на рынке инноваций. Однако на практике такие предприятия сталкиваются с проблемой отсутствия финансирования, небольшими объемами или отсутствием реализации продукции или на начальный период деятельности фирмы, отсюда трудности с подбором персонала, принятием их на работу, поскольку очевидна нехватка источников для выплаты заработной платы.

С другой стороны, в вузах учится много перспективных молодых людей, которые желают заниматься научной деятельностью, и не просто ради самого этого факта, а на перспективу дальнейшей коммерциализации разработок. Многие из них задумываются уже с начальных этапов обучения о будущем трудоустройстве. Поскольку создающиеся МИПы имеют цель – развитие и внедрение научных разработок, то их можно рассматривать как центры приложения научного потенциала талантливой молодежи.

Таким образом, есть две стороны, которые необходимо между собой скооперировать и наладить взаимодействие – МИП и студенты вузов.

Основной целью при развитии малого инновационного предпринимательства в области становится привлечение студентов г. Кемерово к участию в разработке и реализации инновационных проектов различных тематик.

Цель достаточно глобальная и содержит в себе конкретные задачи:

1. Развитие у студентов навыков выполнения научно-технических, конструкторских и проектных разработок.

2. Практическое участие студентов в инновационной и научно-технической деятельности МИПов в период их становления и развития.

3. Создание новых рабочих мест в МИПах.

4. Подготовка студентов к профессиональной деятельности в МИПах после окончания вуза.

Подобные задачи уже реализуются, например, в ООО «МИП НТЦ «Экосистема», основанном при КузГТУ, где студенты 3-5 курсов занимаются научными исследованиями в области получения инновационной продукции: топливных гранул, теплоизоляционных материалов, пигментов и красок, и т. п.

Однако у многих малых предприятий возникают трудности с поиском молодых кадров для своей деятельности, которые фактически могут находиться на соседнем факультете или в соседнем вузе.

Указанные проблемы могут быть решены через создание организации, целью которой будет координирование инициатив и мотивации со стороны студентов и потребностей МИПов с другой стороны – Студенческих инновационно-технических бюро (СИТ-бюро).

На практике работа таких бюро должна осуществляться по схеме, представленной на рисунке.

СИТ-бюро активно ведет поиск и создает информационную базу студентов, имеющих способности и желание заниматься инновационной деятельностью, после чего формируются Студенческие рабочие группы по

направлениям интересов студентов: переработка углей с получением химических продуктов, переработка ТБО, резинотехнических и др. отходов, получение инновационных строительных материалов и т.п.

Одновременно с этим бюро создает базу разработок, в которых заинтересованы МИПы вузов г. Кемерово, Кемеровской области, по всей России. При совпадении интересов студентов и заинтересованности МИП между ними устанавливаются деловые связи. При благополучных результатах протекания переговоров и собеседований между МИП, студентами и СИТ-бюро составляется трехсторонний договор об условиях, сроках и перспективах участия студентов в инновационной деятельности малых предприятий.



Рис. Схема взаимодействия СИТ-бюро с МИПами и студентами вузов

При необходимости повышения квалификации студентов и студенческих групп бюро может привлечь сторонние организации: например, в случае изучения основ менеджмента, бухгалтерии, юридических тонкостей ведения бизнеса и развития МИПов.

То есть студент, обучаясь на младших курсах, уже тогда может позаботиться о создании для себя рабочего места на предприятии, причем в той области, которая ему интересна. Одновременно с этим, научная деятельность, которую он будет вести по выбранной проблеме, позволит раскрыть его потенциал и во многом от него самого будет зависеть сроки внедрения, реализации разработки, а, следовательно, и появление финансовых средств из которых будет в дальнейшем оплачиваться его труд.

АННОТАЦИЯ

Неотъемлемым элементом любой инновационной системы являются малые инновационные предприятия (МИП). Одной из проблем при создании и в начале их функционирования остро стоит вопрос поиска и подготовка кадров. Наличие профессиональной команды – залог успешной реализации любого инновационного проекта. В представленной работе предлагается привлекать студентов вузов к инновационной деятельности МИПов. При этом функции бюро кадров для МИП и студентов должно взять на себя Студенческое инновационно-техническое бюро.

ABSTRACT

The integral element of any innovative system is the small innovative enterprises (SIE). Search and a professional training at creation and in the beginning of functioning SIE is one of the main problems. A professional command is the mortgage of successful realization of any innovative project. The presented work is describes about attraction students of high schools in innovative activity SIE. Thus for SIE and students the Student's innovative-technical bureau should incur functions of a bureau of the staff.

УДК 330.15

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЭТАПОВ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА УГЛЕДОБЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ НА ВЕЛИЧИНУ ЕГО ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗАПАСОВ

Ходич О.А., аспирант

Сибирский государственный индустриальный университет (СибГИУ), г. Новокузнецк

В настоящее время коэффициент извлечения угля из недр на новых угольных месторождениях составляет менее 0,5. Потери полезного ископаемого в недрах возникают на всех этапах жизненного цикла угледобывающего

предприятия. В статье осуществлен анализ причин изменения коэффициента извлечения полезного ископаемого в ходе переоценки и перевода запасов из геологических в балансовые запасы, из балансовых в промышленные.

Currently the recovery rate at new coal field is less than 0.5. The coal losses in bowels arise at all stages of coal plant lifecycle. The article analyses the reasons for changes in the recovery rate of coal in situation of reserves revaluation and translation of reserves in place into proved and recoverable reserve categories.

В настоящее время острой проблемой максимального извлечения угля из недр, как для недропользователя, так и государства, пока нет. Предприятия решают финансовые вопросы и вопросы технического перевооружения. Однако в ближайшем будущем возникнет необходимость наиболее полного извлечения угля из уже вскрытых и подготовленных участков и при ТЭО кондиций новых угольных участков.

Жизненный цикл горнодобывающего предприятия согласно лицензионному соглашению состоит из следующих этапов:

- 1) Приобретение участка МПИ;
- 2) Разработка проекта проведения ГРП;
- 3) Проведение ГРП;
- 4) Подготовка ТЭО кондиций, геологического отчета;
- 5) Экспертиза и утверждение ТЭО кондиций;
- 6) Подготовка технического проекта;
- 7) Согласование и утверждение технического проекта;
- 8) Строительство объектов инфраструктуры добывающего предприятия;
- 9) Ввод в эксплуатацию и выход на проектную мощность с производительностью в соответствии с техническим проектом;
- 10) Эксплуатация предприятия с проектной мощностью;
- 11) Согласование и экспертиза проекта ликвидации предприятия;
- 12) Ликвидация объектов горнодобывающего предприятия, объектов инфраструктуры предприятия.

На каждом этапе жизненного цикла происходит изменения стоимости запасов за счет их переоценки и перевода из геологических в балансовые запасы, из балансовых в промышленные. В ходе переоценки изменяется коэффициента извлечения полезного ископаемого из недр.

Стадия приобретения участка месторождения является основной стадией, определяющей величину коэффициента извлечения полезного ископаемого. На этой стадии органами государственного управления фондами недр осуществляются аукционы по продаже лицензий на право пользования недрами для разведки и добычи полезных ископаемых, в том числе угля. Структура запасов/ресурсов каменного угля выставленных на конкурсы/аукционы с годами изменяется в сторону увеличения и ресурсов и снижения запасов с категорией изученности A+B+C1.

Государство стремясь минимизировать затраты на воспроизводство минерально-сырьевой базы сокращает объем бюджетных средств на геолого-разведочные работы, перекладывая их финансирование на недропользователя посредством подписания одностороннего договора в виде лицензионного соглашения, где прописаны обязанности недропользователя по доразведке, геолого-экономической оценки и подсчета запасов лицензионного участка.

Данная система лицензирования усугубляет риск невыполнения условий лицензионного соглашения в части освоения проектной мощности угледобывающим предприятием и изменению удельных капитальных затрат в случае изменения объема промышленных запасов. Как правило, данное изменение происходит в сторону снижения запасов, и, следовательно, увеличения удельных капитальных затрат.

Кроме того, по мнению специалистов в области недропользования фактически нет единого подхода к процессу формирования участков, подлежащих лицензированию, нерационально осуществляется раскройка месторождений на лицензионные участки, необоснованно определяются границы горных отводов, что способствует появлению значительных потерь угля в недрах еще до начала эксплуатации горнодобывающего предприятия.

Также есть необходимость внесения соответствующих изменений в законодательство, для разрешения процедуры приобретения примыкающих участков без конкурсов и аукционов в определенных случаях. Например, после объединения полей шахт ОАО «УК «Южжубассуголь» «Осинниковская» и «Тайжина» между ними остался узкий участок нераспределенного фонда недр, который не рационально отрабатывать сторонним предприятием, ввиду незначительного объема запасов, и который не позволяет рационально расположить лавы в пределах участков существующих шахт.

На стадии разработки и экспертизы технического проекта негосударственной проектной организацией (ПО), имеющей лицензию на введение данной деятельности, разрабатывается проектная документация на строительство шахты, которая имеет типовую структуру согласно которой в нем отражается соблюдение требований Постановления Правительства РФ от 16.02.2008 г. № 87.

Один из разделов экспертного заключения отражает соответствие проектных потерь нормативам потерь. Однако, этот раздел экспертируется менее тщательно (условно), чем разделы по технологическим, экологическим факторам и промышленной безопасности. Это обусловлено отсутствием государственных требований и

нормативной документации по рациональному недропользованию, в том числе современных методик расчета допустимых потерь полезного ископаемого, оценки экономических последствий вызванных потерями.

После утверждения экспертного заключения на техническую документацию на строительство ГДП заказчик может приступать к этапу получения лицензий на осуществление необходимых видов деятельности и строительства шахты.

Однако, фактически с разработкой, экспертизой и утверждением проекта проведения разведочно-эксплуатационных выработок и технического проекта освоения участка, без достаточного объема горно-геологических изысканий и учета геомеханических и газодинамических факторов угольная компания ведет строительство горного предприятия, до момента утверждения проекта.

В дальнейшем практика совмещения этапов разработки и экспертизы технического проекта, строительства шахты приводит к неприемлемому уровню неопределенности при реализации проектных решений, повышению инвестиционных рисков, значительным потерям полезного ископаемого, повышению аварийности предприятий и снижению потенциальных возможностей высокоэффективной отработки запасов геологических участков.

Примером описанной ситуации может являться освоение участка Ерунаковский-8 ОАО ОУК «Южкузбассуголь». После вскрытия участка, при оконтуривании первого и второго выемочного столбов были встречены непреходимые механизированным комплексом дизъюнктивные нарушения. В результате проект строительства шахты пересматривался трижды, срок ввода шахты в эксплуатацию был отложен на 3 года, угольная компания понесла значительные убытки, и утратила запасы угля ценных коксующихся марок в предохранительных целиках вскрывающих выработок.

Стадии	Поиск месторождения	Оценка	Разведка предварительная и детальная	Проектирование добывающего предприятия	Эксплуатация лицензионного участка
Цель	Выявление месторождений	Оценка целесообразности освоения месторождения	Подготовка косвенно месторождения или его части	Строительство и эксплуатация лицензионного участка	Ввод и освоение
Оценка	Аналоговая оценка по геологическим данным	ТЭС, ТЭР целесообразности освоения месторождения на основании геологических докладов	ТЭО разведочных и эксплуатационных условий на основе геологических отчетов и подсчет запасов	Рабочая документация строительства добывающего предприятия	Производственные планы освоения лицензионного участка на основе технического проекта
Категория изученности запасов	P2, P3	Промышленные запасы категорий C ₂ +P ₁	Промышленные запасы категории A+B+C ₁	Утвержденные ГКЗ промышленные запасы категории A+B+C ₁	Запасы по проекту, с их дальнейшей локализацией при опережающей и сопутствующей эксплуатационной разведке
Причины изменения объемов запасов	Локализация запасов месторождения при недостаточном объеме проведения ГРП	Дальнейшая локализация запасов и появление потерь вследствие нерациональной раскройки месторождения на горные отвалы	Выделение нецелесообразных к отработке запасов. Укрупненные подсчет запасов и технико-экономические расчеты по данным ГРП	Корректировка запасов в соответствии с технической документацией на строительство	Выявление неподтвержденных запасов по результатам сопутствующей и опережающей эксплуатационной разведки

Рисунок – Причины изменения объема запасов на различных этапах их оценки

На следующем этапе – эксплуатации горного отвода недропользователь, как правило, придерживается проектных объемов потерь, и сверхнормативных потерь не возникает. Более того, недропользователь осуществляет комплекс технологических процессов и стремится извлечь даже больший объем полезного ископаемого. Данную практику ведения добычи недропользователями можно определить как результат работы государственного косвенного экономического механизма - налоговой льготы (налогового возврата) за снижение объема потерь по сравнению с утвержденными нормативами потерь.

В целом, всем этапам жизненного цикла присущи свои причины изменения объема и структуры запасов, следовательно, коэффициента извлечения полезного ископаемого, конечная величина которого по отношению к геологическим запасам в настоящее время составляет 0,4 (рисунок), что не соответствует требованиям закона «О недрах» в части рационального использования и охраны недр.

Поэтому, целесообразно разработать комплекс организационно-экономических решений по увеличению коэффициента извлечения полезного ископаемого на всех стадиях освоения месторождения в соответствии с целями стадий, а также технологическими и экономическими ресурсами недропользователями.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации. Государственный контракт № 16.740.11.0410.

УДК 624.951:622.673

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА БАШЕННЫХ КОПРОВ

***Ю. П. Черкаев канд. техн., доц. В. В. Першин докт. техн. наук, проф.,
КузГТУ, г. Кемерово***

The basic directions of perfection of the constructive, technological and building decisions connected with erection of mine lifts of a tower type are stated developed on the basis of spent researches.

Эффективность возможного дальнейшего роста объемов добычи угля, с учетом обеспечения снижения производственных затрат, находится в прямой зависимости от использования результатов научно-технических достижений по осуществлению технического перевооружения объектов отрасли на основе применения новой высокопроизводительной техники, прогрессивной технологии добычи угля, широкой реконструкции и модернизации шахт.

Одной из важнейших проблем является проблема увеличения пропускной способности подъема угля и породы по стволам шахт. Транспортирование угля и породы с глубины 600 и более метров при помощи одноканатных подъемных установок, используемых в основном на шахтах Кузбасса, обуславливает большие денежные и материальные затраты на сооружение объектов этих установок (машинные здания, стальные укосные копры). Основные научно-технические аспекты совершенствования процессов для данной проблемы остаются пока нерешенными. Реализация перспективного направления развития предприятий, с учетом оптимального решения этой проблемы, может быть достигнута за счет монтажа высокоэффективных многоканатных подъемных установок шахтного подъема при строительстве новых и при реконструкции действующих шахт, для необходимости увеличения их мощности при выемке угля с глубоких горизонтов. В этой связи особенно актуальным является решение вопроса, связанного с применением башенных копров с многоканатными подъемными установками.

Размеры и вес многоканатных подъемных машин при одинаковой высоте подъема в несколько раз меньше одноканатных. Это обуславливает значительное сокращение размеров капитальных затрат при строительстве и реконструкции шахт, так как с уменьшением толщины канатов и диаметра барабана снижается вес и габариты подъемной установки. Многоканатные установки монтируются на специальных балках междуэтажных перекрытий зданий башенного типа и, следовательно, отпадает необходимость строительства отдельно стоящих машинных зданий (с массивными фундаментами под обычные подъемные машины), стальных копров с укосинами.

При многоканатном подъеме канаты находятся внутри башни и поэтому они работают в лучших условиях (уменьшается число их перегибов, в зимнее время исключается образование наледей).

Из опыта строительства башенных копров в различных странах установлено, что эти сооружения возводят различными методами, с применением различных конструкций опалубок, разных средств механизации. Объем строительных работ при сооружении многоканатного подъемного комплекса с башенным копром на 30—40% ниже, по сравнению с трудозатратами, используемыми при строительстве комплексов объектов обычных подъемных установок с одноканатными машинами. Чем глубже шахта, тем выгоднее применение многоканатного подъема.

Анализ известных конструктивных решений башенных копров и организационно-технологических решений по возведению конструкций башенного типа дает основание считать, что конструктивные решения монолитных железобетонных башенных копров обладают значительными резервами. Это объясняется наличием не в полной мере используемых возможностей усовершенствования конструкций копров и несовершенством производства бетонных работ с применением подвижной опалубки в зимнее время.

В мировой практике при строительстве башенных копров применяются различные типы скользящей опалубки с системой подъема гидравлических или электромеханических домкратов.

Значительно усложняется строительство сооружений в районах с длительным зимним периодом. Обогрев бетона при возведении конструкций в скользящей опалубке осуществляется различными способами. В последние годы наибольшее распространение получил способ прогрева с применением контактирующих нагревателей.

В Кузбасском государственном техническом университете проводятся исследования, связанные с проблемами совершенствования технологических параметров возведения монолитных железобетонных высотных сооружений шахт, включая конструкций башенных копров. Исследования, связанные с возведением монолитных железобетонных конструкций башенных копров при отрицательных температурах наружного воздуха в зимнее

время, проводятся с учетом возможности использования эффективных способов термообработки твердеющего бетона.

Проводятся исследования по сокращению строительных объемов башенных копров при возможном уменьшения их высоты за счет усовершенствования конструктивно-технологических решений, связанных с размещением подъемного оборудования. Разрабатываются усовершенствованные конструкции опалубок, обеспечивающие возможность снижения материальных, трудовых и энергетических затрат при возведении конструкций копров. Проводятся исследования, связанные с разработкой и использованием рациональных сочетаний технологических средств и методов, используемых при возведении монолитных железобетонных конструкций горнотехнических сооружений в зимнее время.

Технический уровень и эффективность разрабатываемых технологических опалубочных систем определяются показателями трудоемкости комплекса бетонных работ и материалоемкости возводимых монолитных железобетонных конструкций. Создание конструкций опалубок и технологии опалубочных работ, с учетом обеспечения при их использовании требуемых показателей по этим критериям, базируется на единой научно-методологической основе, учитывающей возможности анализа и определения оптимальности соотношений конструктивных и технологических параметров.

При выполнении исследований, связанных возможностью с возведения монолитных железобетонных конструкций в зимнее время, учитываются параметры физических и математических моделей температурных и прочностных полей в бетоне при регулируемом процессе тепловой обработки возводимых конструкций. Для обеспечения сокращения продолжительности, трудоемкости работ, а также уменьшения энергозатрат при строительстве башенных копров в зимнее время учитываются более эффективные способы термообработки твердеющего бетона конструкций.

На основе полученных результатов исследований разрабатываются научно-методологические положения по выбору ресурсосберегающих организационно-технологических решений для возведения монолитных бетонных и железобетонных конструкций башенных копров. Разрабатываются математические модели обоснования взаимосвязей количественных показателей трудовых, материальных, энергетических, финансовых затрат и продолжительности процессов.

Основные задачи исследований направлены на достижение обоснованных возможностей, обеспечивающих сокращение строительных объемов копров, сокращение сроков их возведения за счет применения подвижной опалубки усовершенствованной конструкции.

По результатам проводимых исследований намечается разработка практических рекомендаций по проектированию и строительству башенных копров с учетом повышения эффективности процессов строительства и использования их на шахтах с различной глубиной залегания угольных пластов.

Список литературы.

Логинова Е. На-горная сдержанность//журн. Деловой Кузбасс
08 - 2006, с. 23-28.

2. Андреев В. Е. Проектирование, строительство и эксплуатация башенных копров. - М.: Недра, 1970. - 240 с.
3. Руководство по строительству башенных копров над действующими шахтными стволами. - М.: Стройиздат, 1975. - 33 с.
4. Белый В. Д., Найдено И. С. Шахтные многоканатные подъемные установки. М.: «Недра», 1966.
5. Найдено И. С. Подъемные установки самых глубоких шахт мира. — «Уголь Украины», 1968. № 12
6. Яковлев Б. Т. Экономическая эффективность башенных копров. Изв. вузов, «Горный журнал», 1963, № 7.
7. Правичкий Н. К., Масляный А. С., Олифиренко Н. М. Многоканатные подъемные установки Кривбасса. М.: Госгортехиздат, 1961.
8. Андреев В. Е. Башенные копры за рубежом. — «Промышленное строительство и инженерные сооружения», 1962, № 1.

УДК 622.33 + 620.92

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОБОГАЩЕННЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УГЛЕЙ НА ВНУТРЕННЕМ РЫНКЕ

***Чурашев В.Н., Маркова В.М., Институт экономики и организации промышленного производства
СО РАН, г. Новосибирск***

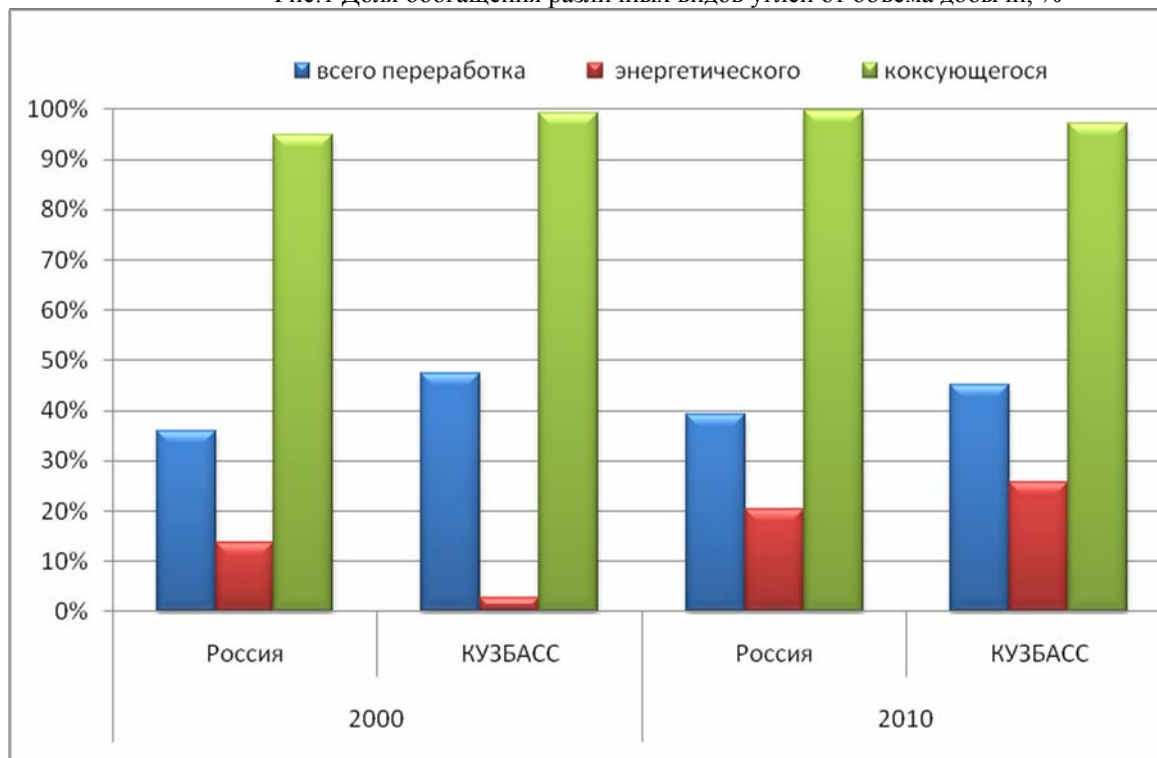
Благоприятная мировая конъюнктура позволила угольщикам существенно увеличить объемы добычи угля, но очевидно, что стратегия простого наращивания добычи не может быть в дальнейшем приоритетной. Необходимо гармоничное сочетание количества и качества углепродукции. Повышение степени переработки, совершенствование качества продукции – это актуальная общемировая тенденция. Если рассматривать динамику добычи угля в России, то видно, что с 2000 г. по 2010 г. произошел существенный рост объемов - с 258 до 323 млн.т

или на 25%. При этом переработка угля росла еще быстрее, за тот же период объем обогащения угля вырос на 36%, в том числе коксующегося — на 12%, энергетического — почти в два раза (таблица 1). Тем не менее, в целом по России доля обогащения энергетического угля остается низкой. Если по технологическим требованиям коксохимии коксующийся уголь практически полностью подвергается обогащению, то доля обогащения угля для энергетики составляет только 20%, что не сопоставимо с мировым уровнем 70-90% (в ЮАР и Австралии обогащается весь уголь).

Таблица 1. Динамика добычи и обогащения углей в России и Кузбассе

	2000	2008	2009	2010	2010/ 2000
РОССИЯ					
Добыча угля, всего	257,9	328,8	302,6	323	1,25
Энергетического	196,9	260,1	241,5	257,9	1,31
Коксующегося	61,0	68,7	61,1	65,1	1,07
Переработка, всего	92,9	119,57	118,07	126,5	1,36
Энергетического на ОФ	26,9	43,9	48,1	52,7	1,96
Коксующегося на ОФ	57,9	66,8	61	64,9	1,12
Переработка на сортировочных установках	8,1	8,87	8,97	8,9	1,10
КУЗБАСС					
Добыча угля, всего	115,1	184,3	181,3	185,5	1,61
Энергетического	70,1	128,7	127,5	135,3	1,93
Коксующегося	45,0	55,6	53,8	50,2	1,12
Переработка, всего	54,6	85,2	82,9	83,8	1,53
Энергетического на ОФ	1,9	27,4	26	26,1	13,74
Коксующегося на ОФ	44,6	48,9	47,9	48,8	1,09
Переработка на сортировочных установках	8,1	8,87	8,97	8,9	1,10

Рис.1 Доля обогащения различных видов углей от объема добычи, %



Источник: Росинформуголь, администрация Кемеровской области

Стимулирующим фактором столь быстрого и масштабного развития добычи и углепереработки в России явился рост экспорта, объем которого из-за благоприятной мировой конъюнктуры к 2010 г. превысил 100 млн т. А мировой рынок предъявляет жесткие требования к качеству угля (зольность 8-12%, содержание серы менее 0,5%, влага менее 8-9% и калорийность свыше 6000 ккал).

Необходимость формирования условий для роста потребления угля внутри страны власти – и федеральные, и региональные – декларируют в качестве первоочередной задачи. Она предполагает не только количественное, но и качественное изменение параметров выпускаемой и потребляемой на территории РФ угольной продукции.

Порядка двух третей энергетического угля (в основном в рядовом виде) на внутреннем российском рынке поставляется на ТЭС. Остальной объем идет на нужды населения, АПК, коммунально-бытовые нужды и прочих потребителей. На внутреннем рынке концентраты энергетических углей используются в небольших количествах в качестве технологического сырья и на нужды коммунально-бытового сектора, который является вторым по объему потребления углей (после электростанций). Эти потребители предъявляют особое требование к угольному топливу по крупности кусков и готовы платить более высокую цену за качество. Их энергетические установки приспособлены к работе на угольном топливе крупностью свыше 13 мм, брикетах и других видах окучкованного топлива.

«Большая» энергетика зачастую находится в жесткой привязке к определенному поставщику. В отечественной энергетике применяются угли, сильно различающиеся по качеству: более 25% общего объема их потребления имеют зольность выше 40%; около 19% - теплоту сгорания ниже 3000 ккал/кг; около 6% - содержание серы более 3,0%. Общее количество балласта в угле составляет свыше 55 млн т в год, включая примерно поровну породы и влаги.

Электростанции экономически не готовы активно использовать обогащенный энергетический уголь, даже планируемые к строительству новые угольные энергоблоки ориентированы на рядовой «проектный» уголь. Кажущаяся экономия на 1 т рядового угля все еще кажется более привлекательной для потребителей, чем неоспоримые экологические и экономические преимущества обогащенного угля.

Выгода от сжигания обогащенных углей нуждается все-таки в более тщательном сопоставлении плюсов и минусов и определении границ эффективности использования для отечественных потребителей. Сжигание обогащенных углей требует реконструкции электростанций и соответственно инвестиций на модернизацию, на что не все собственники готовы пойти. Но при этом, при использовании обогащенного угля потребителю не нужно строить собственные сортировочные и дробильные комплексы, снижается потребность в площадях под золошлакоотстойники и отвалы, уменьшаются экологические платежи. Важным аспектом экономической эффективности обогащения является сокращение транспортных расходов и потребности в вагонном парке.

Ресурсы угольного топлива, используемого в энергетике, представлены в основном многобалластными углями, сжигание которых в натуральном виде связано с определенными трудностями теплотехнического и экологического характера. Наличие золы в энергетических углях снижает КПД энергетических установок, вызывает преждевременный износ некоторых узлов оборудования, а также приводит к загрязнению воздушного бассейна пылью.

Влажность углей, как качественный параметр, колеблется в зависимости от типа (каменные, бурые) от 5 до 55%. Она, как известно, является балластом при железнодорожных перевозках, приводит к смерзанию угля в вагонах и на складах хранения, отрицательно влияет на теплотехнические показатели работы оборудования и экономические результаты хозяйственной деятельности предприятий. Кроме того, при перевозке рядового угля до 20% общей массы составляет зола. Обогащенный уголь обладает более высокой теплотворной способностью и позволяет перевозить в тонне угля примерно в 1,5 раза больше энергии. А с учетом того, что средняя длина транспортного плеча в России при поставках внутри страны 2500-3000 км, экономия возникает весьма существенная. В среднем тариф на поставку 1 т угля по данным сайта rtarif.ru из Кузбасса на Урал составляет 582 руб/т, в Европейскую часть 813 руб/т, что сопоставимо с ценами на рядовой уголь. По данным сайта Miner.ru (являющимся торговой площадкой углей) рядовой уголь марки Д при стоимости до 1500 руб/т имеет калорийность до 5200 ккал/кг, в обогащенном продукте зольность снижается почти вдвое, теплотворная способность увеличивается до 5900 ккал/кг, а цена возрастает до 2000 руб/т. В среднем экономия на перевозке обогащенного угля в пересчете на условное топливо может достигать

Перед целым рядом угольных тепловых электростанций страны, включая и некоторые из тех, что расположены в Кемеровской области, в последние годы возникла проблема, связанная с дефицитом на внутреннем рынке высококачественных кузнецких углей марок СС и Т. По данным «Агентства по прогнозированию балансов в электроэнергетике», на станциях участились случаи использования непроектных углей и отходов угольного производства, что привело к ухудшению качества топлива и росту аварийности. Данное обстоятельство может заставить электростанции в будущем проводить модернизацию — и переходить на сжигание либо обогащенных углей, либо других, более распространенных и доступных марок углей. Первый путь, конечно, предпочтительнее, если исходить из долгосрочной перспективы развития энергетики.

Обогащение угля это мировая тенденция, к которой придется прийти и нам. Стандартизация углей позволит более эффективно использовать уголь, она позволяет применять универсальную технологию сжигания, в отличие массы версий оборудования и технологий для «проектных» углей.

Для развития угольной энергетики необходимо решить проблемы, среди которых проблема ценового соотношения «газ – уголь», проблема гарантированного обеспечения ТЭС проектным угольным топливом и

улучшение координации перевозок, а также проблема масштабного увеличения объемов утилизации золошлаковых отходов.

Себестоимость производства электроэнергии на сибирских угольных станциях, расположенных в непосредственной близости от угольных месторождений в перспективе может быть на 30-40 % ниже себестоимости производства электроэнергии на газовых станциях в европейской части РФ.

Долгосрочная программа развития угольной промышленности России предполагает, что объем добычи угля в стране вырастет на треть (+33 %) — с 323 миллионов тонн в 2010 году до 430 миллионов тонн к 2030 году. Спрос на уголь на внутреннем рынке России вырастет к 2030 году до 220 миллионов тонн со 184 миллионов тонн в минувшем году (+20 %), а на внешнем рынке — до 170 миллионов с нынешних 115 миллионов тонн (+48 %). При этом планируется и рост потребления угля на ТЭС до 120 млн. (с 102 млн.т в 2010) и развитие глубокой переработки угля до 15 млн.т.

Развитие угольной отрасли невозможно без внедрения новых технологий в переработке угля и с создания продукта, обладающего высокой добавленной стоимостью. Нужно сконцентрироваться на реализации пилотных проектов «чистых» угольных технологий в рамках государственно-частного партнерства с последующим их внедрением на ТЭС страны. Необходимо разработать эффективную стратегию развития угольной генерации России на базе новых «чистых» угольных технологий как важной составной части Государственной программы развития энергетики России».

УДК 622.013.36:004.9

КОНЦЕПЦИЯ ГРУППОВОГО ЛИЦЕНЗИРОВАНИЯ НЕДР КУЗБАССА И ЕГО ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

*С. В. Шаклеин, д.т.н., в.н.с., Институт вычислительных технологий СО РАН,
Кемеровский филиал, г. Кемерово*

И. Л. Борисов, ведущий технолог, Институт угля СО РАН, г. Кемерово

Кузнецкий угольный бассейн являясь одним из крупнейших сырьевых активов мира, обладает всеми условиями для успешного развития добычи угля – развитой сетью железнодорожных и автомобильных дорог, качественными трудовыми ресурсами и научно-техническим потенциалом.

За последние 8 лет в Кемеровской области было предоставлено право пользования недрами 101 новых участков. Все эти участки условно можно разделить на две группы: участки для строительства новых угледобывающих предприятий и участки, обеспечивающие поддержание мощности уже действующих предприятий (такие участки принято именовать «прирезками»). Если рассмотреть динамику лицензирования недр в бассейне (рис. 1), то несложно заметить, что в последние годы лицензирование в Кузбассе было ориентировано, преимущественно, на вовлечение в оборот «прирезок» к запасам действующих шахт и разрезов. Однако подобная переориентировка не связана с утратой интересов собственников к строительству новых угледобывающих предприятий. Об этом свидетельствует то, что традиционно базирующиеся в регионе угольные компании (например, «Метчел», «Евразхолдинг») продолжают активную инвестиционную деятельность, но уже за пределами Кемеровской области – в Тыве и Южной Якутии (освоение объектов которых требуют огромных вложений в создание инфраструктуры).

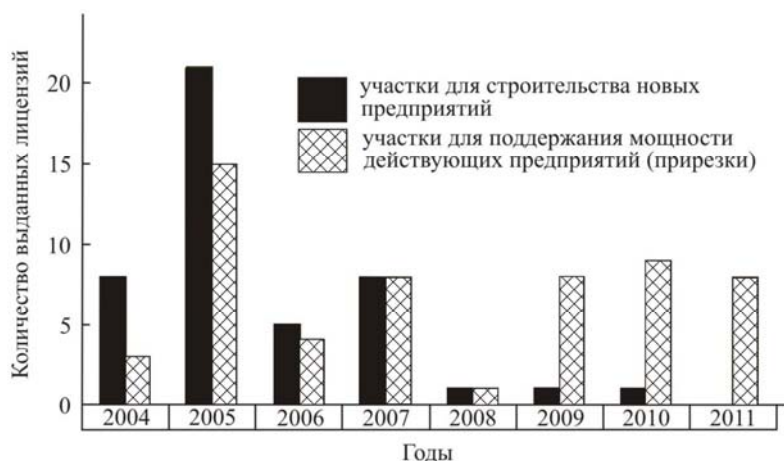


Рисунок 1. Количество участков недр, переданных в пользование в Кузбассе в период с 2004 года по настоящее время

Главная причина, по которой произошло снижение интереса к строительству в регионе новых угледобывающих предприятий состоит в ухудшении качества запасов нераспределенного фонда недр, произошедшего в результате вовлечения в эксплуатацию в последние годы наиболее благоприятных в геологическом отношении участков недр (за последние 8 лет для строительства новых предприятий было передано 45 участков недр с суммарными запасами 5,2 млрд. тонн).

Таким образом, следует признать, что снижение технологичности запасов нераспределенного фонда недр фактически связано с его выборочным освоением.

Сложившуюся ситуацию существенно усложнили кризисные явления последних лет, преодоление которых требует поиска новых технических и организационных решений.

К числу ранее не наблюдавшихся явлений следует отнести то, что в современном мире за весьма короткий промежуток времени стали происходить многократные изменения цен на продукцию горнодобывающих отраслей, приводящие к резкому изменению экономического положения предприятий. Многие аналитики связывают причины столь резкого изменения цен с развивающимися процессами глобализации, прежде всего в области международных отношений. Если это действительно так, то «сглаживания» цен в обозримой перспективе ожидать не следует.

На рис. 2 приведен график изменения европейского индикатора цены энергетического угля CIF ARA, на основе которого заключается значительное количество контрактов на его поставку (он представляет собой стоимость тонны угля калорийностью 6000 ккал, зольностью 16 %, содержанием серы менее 1 %, в условиях, когда продавец оплатил стоимость погрузки, морской фрахт и страхование груза в портах Амстердама, Роттердама, Антверпена). График показывает, что, начиная с 2008 года, резко увеличились колебания цен на уголь. Хотя общий синусообразный характер изменения цен наблюдался всегда, но ранее он носил значительно более спокойный и предсказуемый характер.

Очевидно, что при росте цен у недропользователя появляется возможность рентабельной отработки ранее некондиционных запасов, а при падении цен – необходимость перевода части ранее технологичных запасов в нецелесообразные к отработке.



Рисунок 2. Динамика мировых цен на энергетический уголь (по состоянию на начало августа 2011 года)

Единственный путь, который ныне доступен добывающему предприятию в условиях резких колебаний цен, состоит в организации производства, гарантировано обеспечивающего себестоимость продукции ниже минимально ожидаемых цен. Поскольку себестоимость добычи напрямую определяется сложностью геологических условий, то это означает сокращение ресурсного потенциала отрасли за счет исключения из оборота участков (или их фрагментов) средней и относительно высокой сложности, отработка которых возможна не во всем ожидаемом диапазоне колебания цен.

Возникающая необходимость снижения издержек производства в условиях резких колебаний цен еще более увеличит темпы погашения запасов. Особенно в связи тем, что в пределах нераспределенного фонда недр Кузбасса участков с действительно высокотехнологичными запасами почти не осталось.

Таким образом, традиционная система организации угольного производства не способна снизить чувствительность отрасли к резким колебаниям цен на углепродукцию. В конечном итоге это ведет к снижению эффективности использования государственной собственности – недр Российской Федерации.

В качестве наиболее очевидного направления совершенствования организации угледобычи в новых внешнеэкономических условиях представляется переход предприятий на работу в режиме, который можно условно назвать режимом управления полнотой отработки.

Он может состоять в следующем: в период роста цен на продукцию должны осваиваться преимущественно низко-, а в период падения цен – высокотехнологичные запасы. К сожалению, применение столь очевидной идеи в пределах одного предприятия вступает в конфликт с основным и объективно обоснованным принципом организации горных работ – принципом максимальной их концентрации. Поэтому работа в режиме управления полнотой отработки может быть реализована только на вновь проектируемых предприятиях, ведущих одновременную разработку различных по сложности участков. Представляется, что группа участков недр, составляющая сырьевую основу такого типа угледобывающего комплекса, ориентированного на работу в режиме управления полнотой выемки угля, должна:

- состоять из трех участков недр (меньшее количество участков резко снижает возможности «усреднения» условий отработки, большее – резко усложняет процессы «усреднения» за счет геометрического роста числа возможных вариантов);

- обеспечивать возможность отработки всех участков относительно простым открытым способом добычи;

- состоять из относительно близко расположенных участков эксплуатируемых с использованием единого поверхностного комплекса.

- иметь близкий марочный состав углей;

- обладать значительными и привлекательными по объему запасами, позволяющими компенсировать пониженную рентабельность угледобычи ее продолжительностью.

В результате выполненного анализа нераспределенного фонда недр Кузбасса перечисленным условиям в наибольшей степени отвечают три участка, расположенные вдоль восточной и северо-восточной границы Ерунаковского геолого-экономического района Кузбасса: «Новоказанский-2», «Камышанский Северный» и «Кыргайский Средний» (рис. 3). Основным участком гипотетического угледобывающего комплекса является «Новоказанский-2», а регулируемыми: «Камышанский Северный» и «Кыргайский Средний». Предварительная экспертная оценка показывает, что приведенные характеристики участков позволят угледобывающему комплексу уверенно «переносить» 30–40 % колебания цен на уголь.

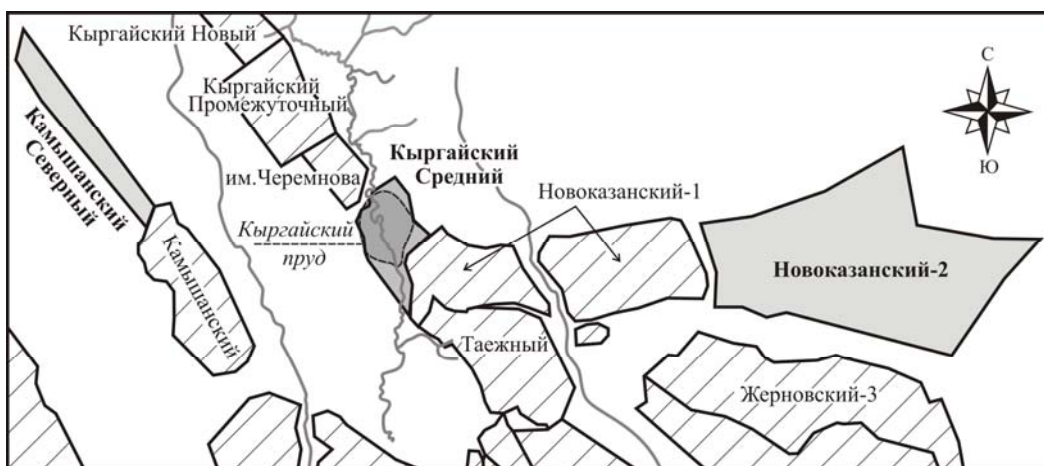


Рисунок 3. Пример угледобывающего комплекса из трех участков

Единственным способом стимулировать собственников к управлению полнотой отработки угля представляется включение условия формирования предложений по его организации в число условий конкурса, проводимого по группе участков. Организация такого конкурса позволит стимулировать недропользователей к государственно значимому участию в инновационном развитии минерально-сырьевого комплекса страны.

Для практической реализации данного предложения необходимо осуществить предлицензионную подготовку таких групп участков. В связи с тем, что в настоящее время фонд разведанных месторождений бассейна практически исчерпан и не будет, в соответствии с концепцией геологического изучения недр РФ, впредь восполняться за счет государственных средств, следует учитывать, что геологическая информация по рассматриваемым участкам имеет лишь крайне приближенный характер, делающий бессмысленным любые детальные технико-экономические расчеты. Поэтому процесс выбора участков должен опираться на специальные методы экспресс оценок. Учитывая многовариантный характер задач, процедуру формирования групп участков целесообразно реализовать с помощью специальной геоинформационной системы, включающей блок геовычислений. В настоящее время в Институте угля начата работа по созданию такой системы, позволяющей на основе общих характеристик (запасы, группа сложности, условия залегания и т.д.) оценить производственную мощность предприятия, себестоимость добычи, производительность труда, способ отработки и др. (рис. 4).

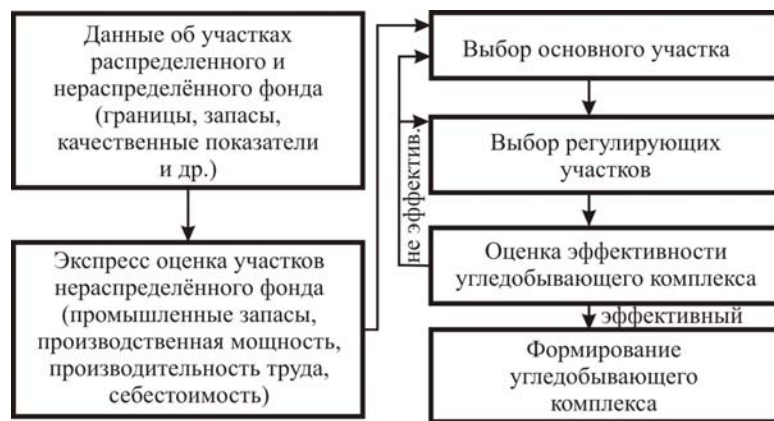


Рисунок 4. Схема экспресс оценки участков недр

Применение предлагаемого подхода к организации лицензирования позволит повысить полноту и эффективность использования недр.

Аннотация:

Представлен новый подход к лицензированию недр – создание угледобывающих комплексов на основе группы участков недр различной технологической сложности, который в условиях колебания цен на уголь и истощения минерально-сырьевой базы позволяет повысить эффективность и полноту извлечения, также показана необходимость и содержание геоинформационного обеспечения реализации данного подхода.

Annotation:

The new approach to subsoil licensing is presented as creation of system coal mining enterprises on the basis of group of subsoil plots of various technological complexity. In conditions of variation of prices for coal and exhaustion of mineral-raw-material base the approach allows raising efficiency and completeness of extraction. Necessity and content of geodataware for realization of the approach is also shown.

УДК 338.262 ББК 65.304.13 © М.С. Щипачев

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАЗРАБОТКИ СТРАТЕГИЧЕСКОГО ПЛАНА НА УГЛЕДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ КУЗБАССА

Щипачев М.С., КузГТУ, г. Кемерово

Принятие эффективных управленческих решений на угледобывающих предприятиях во многом зависит от разработанных стратегических планов, качество и достоверность которых зависят от применяемых методических и методологических подходов к процессу разработки планов, анализу внешней и внутренней среды, выбору стратегии предприятия.

Необходимость стратегического планирования на угледобывающем предприятии заключается в следующем: стратегический план определяет перспективные направления развития угледобывающего предприятия с увязкой в единую систему всех видов деятельности предприятия и конечной оценкой финансового состояния и финансовых результатов предприятия; стратегическое планирование базируется не только на общие стратегии предприятия, но и на функциональные стратегии, которые координируют деятельность всех функциональных служб предприятия. Каждому подразделению устанавливаются определенные цели, направленные на достижение цели общей стратегии предприятия; стратегический план предусматривает различные варианты развития предприятия при изменении условий функционирования в результате влияния факторов внешней среды. Рекомендуется разрабатывать планы в трех вариантах: благоприятных условиях развития, стабильных условиях развития, неблагоприятных условиях развития; стратегический план направлен на решение проблем, выявленных в результате анализа внешней и внутренней среды, которые снижают эффективность деятельности и конкурентоспособность угледобывающих предприятий; стратегический план направлен на принятие решений, учитывающих сильные и слабые стороны предприятия относительно предприятий-конкурентов с целью повышения конкурентоспособности угля и предприятия на угольном рынке с учетом соблюдения нормативов по охране окружающей среды.

При разработке стратегических планов предприятиям необходимо учитывать следующие основные принципы: достижения поставленных целей; удовлетворения углем потребностей мирового и внутреннего угольного рынков; системности и комплексности; оптимальности; адресности; сбалансированности; обеспечения

эффективности и конкурентоспособности; соблюдения природоохранных мероприятий; создания условий привлекательности и безопасности рабочих мест.

При выборе оптимального варианта стратегического плана, на основе которого будут приниматься наиболее эффективные управленческие решения, должны учитываться факторы риска, влияние внешних и внутренних факторов, жизненный цикл предприятия. Степень благоприятности разработки промышленных запасов и сроков их отработки необходимо учитывать на первоначальном предварительном этапе разработки общей стратегии предприятия перед формулированием целей.

Вопросам разработки стратегических планов посвящены работы многих исследователей. Однако, в научной литературе наблюдаются различные точки зрения и отсутствует единое мнение относительно методологических подходов к экономической оценке разрабатываемых стратегических планов. Одной из проблем в развитии предприятий угольной промышленности является то, что в отличие от других отраслей, для поддержания производственных мощностей необходимы ежегодные инвестиции для проведения подготовительных работ на шахтах и вскрышных работах на разрезах. В связи с отработкой угольных пластов требуются дополнительные затраты, связанные с переходом к отработке более глубоких пластов. На многих разрезах возникает необходимость перехода с открытого способа добычи на более трудоемкий и дорогостоящий подземный способ добычи угля. Это является одной из основных причин ежегодного увеличения себестоимости одной тонны добычи угля. Поэтому необходимо при планировании особое внимание уделять разработке мероприятий по снижению себестоимости.

В угледобывающих регионах, таких как Кузнецкий угольный бассейн, одной из проблем, сдерживающей увеличение добычи угля, является сложная экологическая обстановка, обусловленная выбросами в атмосферу газа-метана, истреблением пахотных земель, образованием провалов, загрязнением водоемов и образованием пожароопасных отвалов. Для осуществления природоохранных мероприятий необходимо выделение дополнительных финансовых ресурсов.

В Кузбассе численность активного населения ежегодно уменьшается. На предприятиях угольной промышленности в настоящий период наблюдается проблема с формированием квалифицированных кадров.

Для разрешения сложившихся проблем и более полного учета влияния внешней и внутренней среды на деятельность угледобывающих предприятий считаем необходимым в процессе стратегического планирования включать не только выполнение типовых этапов работ, предлагаемых в научной литературе, но и выделять в отдельные этапы анализ проблемных ситуаций, характерных для данного периода функционирования предприятий, в частности, для современного - “Анализ рынка труда”, “Анализ конкурентоспособности потенциала предприятия”, “Анализ показателей результативности интегрированной системы менеджмента”, “Перспективный анализ конкурентоспособности потенциала предприятия при различных вариантах стратегии развития предприятия”. Анализ результативности ИСМ позволяет оперативно выявлять по процессам причины отклонений фактических показателей от их плановых значений и своевременно включать в стратегические планы предприятия эффективные организационно-технические мероприятия, направленные на повышение конкурентоспособности угледобывающего предприятия на угольном рынке.

При выборе наиболее эффективного варианта стратегического плана большое значение имеют методические подходы к экономической оценке разработанных планов. Однако, относительно обобщающего критерия оценки стратегического плана угледобывающих предприятий в научной литературе нет единого мнения. Исследования и апробация предлагаемых методов показывают, что наиболее точным и простым является метод, изложенный авторами в [1], позволяющий учитывать в комплексе сравнительную характеристику параметров предприятия с предприятиями-конкурентами и осуществлять оценку стратегического плана по интегральному показателю конкурентоспособности потенциала предприятия при различных вариантах стратегии его развития. В предлагаемой методике при определении уровня конкурентоспособности потенциала угледобывающего потенциала предприятия предлагается использовать интегральный показатель конкурентоспособности потенциала угледобывающего потенциала, учитывающий показатель конкурентоспособности производственного потенциала; показатель конкурентоспособности угля; групповой индикатор конкурентоспособности финансового состояния предприятия; групповой индикатор конкурентоспособности социального развития относительно предприятий-конкурентов. Однако, среди параметров не учитывается важный для настоящего периода параметр по природоохранной деятельности предприятий, учет которого является одним из основных условий для жизнедеятельности шахт и разрезов угледобывающих регионов. Поэтому считаем необходимым добавить в методику дополнительный индекс конкурентоспособности по природоохранной деятельности, который включает в себя единичный показатель конкурентоспособности угледобывающего предприятия по соблюдению нормативов загрязнения воздуха; единичный показатель конкурентоспособности угледобывающего предприятия по соблюдению нормативов восстановления нарушенных земель; единичный показатель конкурентоспособности угледобывающего предприятия по соблюдению нормативов загрязнения водоемов.

Для уменьшения текучести кадров и создания имиджа привлекательности рабочих мест предприятий на рынке труда целесообразно при разработке стратегических планов предприятий и Положения по оплате труда учитывать рейтинг предприятия среди предприятий – конкурентов по интегральному показателю возможности привлечения квалифицированных кадров на рынке труда, учитывающему комплекс факторов привлекательности рабочих мест и напряженность на рынке труда географического сегмента концентрации угледобывающих предприятий в городах области. Для отбора факторов привлекательности рабочих мест в ходе исследования были учтены результаты анкетирования рабочих и наличие официальной статистической отчетности. Необходимость

учета напряженности на рынке труда объясняется тем, что в Кузбассе из-за недостатка квалифицированных кадров по месту нахождения предприятий наблюдается повсеместно доставка работников из разных городов Кузбасса.

Интегральный показатель формирования штата квалифицированными кадрами (J к.) предлагаем учитывать по формуле

$$J_k = (J_{п.р.м.}) * (J_{н.р.} * q_6), \quad (1)$$

где: J н. р. – индекс напряженности на рынке труда по городам географического сегмента концентрации угледобывающих предприятий.

Интегральный показатель конкурентоспособности угледобывающего предприятия по привлекательности рабочих мест - Jп.р.м.:

$$J_{п.р.м.} = J_{з.п.} * q_1 + J_{з.п.отр.} * q_2 + J_{т.с.} * q_3 + J_{м.п.} * q_4 + J_{в.о.} * q_5, \quad (2)$$

где: Jз.п. – единичный показатель конкурентоспособности угледобывающего предприятия по среднемесячной заработной плате работника на предприятиях угольной промышленности;

Jз.п.отр. - единичный показатель конкурентоспособности угледобывающего предприятия по относительному показателю среднемесячной заработной платы работника предприятия в сравнении с уровнем средней заработной платы одного работника в других отраслях промышленности соответствующего географического сегмента рынка труда (город, поселок);

Jт.с. - единичный показатель конкурентоспособности угледобывающего предприятия по наличию коллективных договоров (трудовых соглашений), предусматривающих социальные гарантии работникам предприятий;

Jм.п. - единичный показатель конкурентоспособности угледобывающего предприятия по уровню механизации основных и вспомогательных процессов;

Jв.о. - единичный показатель конкурентоспособности угледобывающего предприятия по наличию учебных пунктов и возможностью дальнейшего обучения работников.

Единичный показатель конкурентоспособности и напряженности на географическом сегменте рынка труда определяется по формуле

$$J_i = \frac{K_i}{K_{ij}}, \quad (3)$$

где: K_i – абсолютная величина i-го единичного показателя исследуемого предприятия; K_{ij} – величина лучшего единичного показателя, принятого за эталон. Если за эталон принимается не максимальное, а минимальное значение, то J_i рассматривается как обратная величина. Значимость единичных показателей (q) определена экспертным методом путем опроса ведущих специалистов предприятий отрасли.

Таким образом, совершенствование методических подходов к процессу разработки стратегических планов позволит более глубоко проанализировать деятельность предприятия в сравнении с предприятиями-конкурентами, выявить проблемы, препятствующие эффективному развитию предприятия и усилить ориентацию планов на повышение конкурентоспособности угледобывающих предприятий.

Литература

1. Трушина Г.С. Экономическая оценка потенциала угледобывающего предприятия / Трушина Г.С., Присташ Я.В. // Кемерово – 2002.
2. Щипачев М.С. Внедрение интегрированной системы менеджмента – один из основных путей обеспечения жизнедеятельности угледобывающих предприятий Кузбасса/ М.С. Щипачев // Уголь.- 2010. - N9 - С. 21–22.
3. Трушина Г.С. Влияние рынка труда на формирование трудовых ресурсов угольной промышленности Кузбасса / Г.С. Трушина, М.С. Щипачев // Уголь.- 2010. - N10 - С. 25-27.

АННОТАЦИЯ

Показаны роль, значение и проблемы стратегического планирования на предприятиях угольной промышленности. Предложены методические подходы по совершенствованию стратегического планирования в угольной промышленности.

The role, value and problems of strategic planning at the enterprises of the coal industry are shown. Methodical approaches on perfection of strategic planning in the coal industry are offered

ОЦЕНКА ПРЕДПРИЯТИЙ УГОЛЬНОЙ ОТРАСЛИ КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ ИНВЕСТИЦИОННОЙ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТИ

Б.Б.Кириллов, Директор ООО «Эверест Консалтинг», г. Москва

Аннотация

В статье рассмотрены особенности оценки как инструмента отражения реальной стоимости бизнеса и/или активов предприятия угольной отрасли и, как следствие, повышения его инвестиционной привлекательности. Показана специфика различных видов оценки стоимости (рыночной, справедливой, текущей/восстановительной, ликвидационной) для целей принятия управленческих решений, кредитования, отражения в финансовой отчетности по РСБУ и МСФО.

Annotation

The article discusses valuation as a tool for reflecting the actual value of coal mining business and/or assets, and, as a result, boosting its investment appeal.

It dwells on the specific character of different types of values (market value, fair value, present/replacement value, liquidation value), estimated for such purposes as decision-making, crediting, reflecting in financial statements according to RAS and IFRS.

14 апреля 2011 г. на заседании президиума Правительства РФ была одобрена долгосрочная программа развития угольной промышленности России на период до 2030 года. Программа предусматривает дальнейшее увеличение экспорта угля и позволяет рассчитывать на его удвоение к 2030 году.

Реализация данной программы требует от предприятий угольной промышленности широкомасштабной модернизации. Достижение намечаемых уровней добычи угля, техническое перевооружение отрасли и развитие транспортной инфраструктуры потребуют значительного увеличения инвестиций. Основными источниками капитальных вложений могут быть как собственные средства предприятий отрасли, так и заемные финансовые ресурсы.

В горнодобывающей отрасли складывается ситуация, при которой, с одной стороны, существует острая необходимость в прямом инвестировании предприятий, с другой - острый дефицит источников финансирования. Поэтому предприятия, особенно заинтересованные в дополнительных инвестициях, должны направлять усилия на повышение капитализации и корректное отражение финансово-экономического состояния и, как следствие, корректное восприятие потенциальными инвесторами и кредиторами.

В рамках реализации этих задач, как правило, проводится ряд процедур, которые включают, но не ограничиваются такими как:

переоценка восстановительной стоимости основных средств для целей отражения в соответствии с ПБУ 6/01,

оценка рыночной стоимости активов и/или бизнеса для целей инвестирования, в том числе, для целей кредитования,

составление отчетности по МСФО и отражение стоимости активов по справедливой стоимости.

Переоценка восстановительной стоимости по ПБУ 6/01

В соответствии с ПБУ 6/01 переоценка восстановительной стоимости основных средств предприятия не является обязательной, если иное не указано в учетной политике компании. Последняя обязательная переоценка основных средств была проведена на всей территории РФ по состоянию на 01.01.1997. В дальнейшем предприятия могли делать переоценку по своему усмотрению.

Основной положительной стороной проведения переоценки является повышение стоимости чистых активов предприятия. Согласно ПБУ 6/01 положительная разница от переоценки должна быть отнесена на добавочный капитал, что дает увеличение стоимости чистых активов. Уровень капитализации компании в свою очередь важен для привлечения потенциальных инвесторов.

Менеджменту предприятий с существенно амортизированными активами на данное обстоятельство необходимо обратить особое внимание. Переоценивая (текущую) восстановительную стоимость, переоценивается первоначальная стоимость инвентарного объекта, сформированная в момент принятия объекта к учету. К плюсам переоценки можно отнести то, что амортизация в относительном выражении остается неизменной, т.е. амортизация объектов с ненулевой остаточной стоимостью изменяется пропорционально отношению величины восстановительной стоимости (после переоценки) к величине первоначальной стоимости (до переоценки).

К минусам переоценки можно отнести дополнительные трудозатраты служб бухгалтерского учета, а также то, что предприятия, как правило, не разделяют финансовый и налоговый учеты основных средств, и любое

изменение первоначальной стоимости инвентарных объектов приводит к изменению налогооблагаемой базы по налогу на имущество.

Кроме этого, Федеральные стандарты оценки, на которые ссылается ФЗ №135 «Об оценочной деятельности в Российской Федерации» не предусматривают понятия текущей (восстановительной) стоимости, по которой должны переоцениваться активы согласно ПБУ 6/01. Федеральные стандарты оценки определяют только следующие виды стоимостей: рыночная, инвестиционная, ликвидационная, кадастровая.

К минусам переоценки следует отнести и тот факт, что она проводится на начало отчетного периода, а потенциальные инвесторы и кредиторы хотят видеть и ориентироваться на рыночную стоимость на текущую дату, не всегда близкую к дате начала отчетного периода и не всегда совпадающую с балансовой стоимостью активов.

Оценка активов и/или бизнеса для целей привлечения инвестирования, в том числе, для целей кредитования

Для привлечения заемного капитала в 99% случаев требуется независимая оценка, результатом которой является рыночная стоимость объекта залога, т.е. сумма, за которую может быть совершена коммерческая сделка на открытом рынке между хорошо осведомленным покупателем и продавцом, действующими добровольно и без принуждения. Отчет об оценке рыночной стоимости, составленный в соответствии с Федеральным Законом №135-ФЗ, как правило, является основанием для кредитно-финансовых институтов принять положительное решение о кредитовании, а также аргументом для переговоров с потенциальными покупателями бизнеса или активов предприятия и инвесторами.

Кредитно-финансовый учреждения также, как правило, хотят понимать, насколько ликвидны объекты залога, т.е. знать за какую цену объект залога может быть реализован на рынке за определенный, например, установленный банком период времени, который может быть существенно короче типичного времени экспозиции на рынке. Для этого оценщик кроме рыночной стоимости должен (по согласованию с банком) определить ликвидационную стоимость и чистую стоимость реализации объекта залога. Это может послужить хорошим аргументом при переговорах с кредитором о величине дисконта к рыночной стоимости, устанавливаемого банком.

Оценка для целей отчетности по МСФО

Отчетность по МСФО формируется в соответствии с определенными принципами, и если эти принципы не нарушены, финансовая отчетность предприятия отражает его справедливую стоимость, и ей доверяют иностранные инвесторы и кредиторы, и именно на такую стоимость все больше и больше ориентируется российский капитал.

Понятие справедливой стоимости очень близко по своей сути к рыночной стоимости. Для тех активов и обязательств, которые ликвидны отдельно от бизнеса, справедливая стоимость совпадает с рыночной стоимостью, так как базируется исключительно на данных рынка, на который происходят сделки с такими активами. В то же время справедливая стоимость является эквивалентом рыночной стоимости для специализированных активов, которые либо не могут быть реализованы отдельно от бизнеса, либо их рынок не является активным, т.е. количество сопоставимых сделок ничтожно мало.

Основными стандартами МСФО, так или иначе устанавливающими принципы учета и оценки являются: основные средства (IAS 16), объекты финансовой аренды (IAS 17), активы предназначенные для продажи (IFRS 5), объекты инвестиционной недвижимости (IAS 40), обесценение активов (IAS 36) и некоторые другие. Каждый из этих стандартов регулирует свой порядок учета той или иной группы активов и имеет свою специфику.

Отчетность по МСФО может быть сформирована и вестись параллельно с отчетностью по РСБУ. Существует возможность и процедуры трансформации (преобразования) российской отчетности в отчетность по МСФО. Компании, ведущие отчетность по МСФО, как правило, переходят на другой качественный уровень ведения отчетности и по РСБУ и занимают более высокие места в рейтингах и топ-листах инвесторов и кредиторов.

Специфика оценки предприятий угольной отрасли

Объективная оценка стоимости горнодобывающих предприятий и, как следствие, стоимостная концепция управления, способствует рационализации механизма недропользования, наращиванию экономического потенциала, интенсивному развитию предприятия и отрасли. Необходимость стоимостной оценки как одного из важнейших инструментов эффективного управления горнодобывающим предприятием подтверждается разработкой и принятием Международного руководства «Оценка стоимости объектов имущества в добывающих отраслях» в рамках Международных стандартов оценки, а также включением в состав Международных стандартов финансовой отчетности Стандарта 6 «Разведка и оценка минеральных ресурсов».

Наряду с факторами стоимости, общими для всех предприятий, для горного предприятия характерны специфические макро- и микроэкономические факторы: государственная политика в области недропользования, степень востребованности рынком полезного ископаемого, выражающаяся в емкости рынка, объеме мировых и страновых запасов полезного ископаемого и доли в них запасов конкретного месторождения, а также стратегической ценности полезного ископаемого. Среди микроэкономических факторов на стоимость горного предприятия в наибольшей степени влияют годовой объем и способ добычи, объем запасов месторождения и срок их отработки, качественный состав запасов и наличие прогнозных ресурсов, являющихся потенциальным

источником продления срока жизни компании, а также географические и геологические характеристики месторождения, степень технической вооруженности производственного процесса и уровень геологического риска, характеризующий степень достоверности разведки запасов.

Специфика отрасли оказывает влияние на выбор моделей и подходов в оценке предприятий добывающей промышленности. Знание специфики международных и региональных стандартов оценки минеральной собственности – залог успеха стоимостного консультирования компании.

Анализ мирового и национального опыта оценки, а также практическое тестирование различных моделей, показывает, что наиболее полно специфические факторы стоимости отражают методы доходного подхода, в частности - метод дисконтированных денежных потоков. В российских условиях этот метод зачастую является единственным достоверным способом оценки горнодобывающего предприятия вследствие существования объективных ограничений применения методов сравнительного и затратного подходов.

Методы затратного подхода в практике оценки горнодобывающих компаний применяются значительно реже методов доходного и сравнительного подхода. Следует учитывать, что практически все имущество горного предприятия (и полностью объекты, связанные с добычей) являются специализированным имуществом, то есть в отношении большинства объектов отсутствует активный рынок. Поэтому для оценки специализированных активов затратным подходом используется метод остаточной стоимости замещения (depreciated replacement cost), заключающийся в определении величины затрат на замещение/воспроизводство специализированного имущества с последующей корректировкой на износ (физический, функциональный и экономический).

Значительное количество активов, непосредственно связанных с добычей, например, горно-капитальные выработки и часть горного оборудования (в особенности это касается подземного способа добычи), обладают ликвидностью только в комплексе с месторождением. Учитывая это, можно заключить, что ликвидационная стоимость угольного предприятия при условии реализации активов по частям может быть значительно меньше рыночной стоимости бизнеса данного предприятия.

Список использованной литературы

ПБУ 6/01 «Учет основных средств» [Заглавие с экрана]. Режим доступа: http://www.businessuchet.ru/content/document_r_D078B42F-F707-44CF-9323-2008D069F5F0.html

Федеральный закон «Об оценочной деятельности в РФ» от 29 июля 1998 г. №135-ФЗ [Заглавие с экрана]. Режим доступа: http://www.labrate.ru/laws/20100722_fz-135.htm

**СЕКЦИЯ V:
«ДОБЫЧА УГЛЯ ОТКРЫТЫМ СПОСОБОМ»**

УДК 622.693.6:621.86.078.62:658.588.8

**ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ
ГОРНО-ТРАНСПОРТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА УГОЛЬНЫХ РАЗРЕЗАХ КУЗБАССА**

*А.В. Менчугин, ведущий инженер
Новационная фирма «КУЗБАСС-НИИОГР», г. Кемерово
П.В. Буянкин, аспирант, КузГТУ, г. Кемерово*

В настоящее время на угольных разрезах Кузбасса в эксплуатации находится более тысячи единиц разнообразного горно-транспортного оборудования отечественного и импортного производства, таких как одноковшовые экскаваторы, буровые станки, карьерные автосамосвалы и т.д. Условия эксплуатации этого оборудования разнообразны, однако им присущи одни и те же эксплуатационные проблемы – разрушение несущих элементов металлоконструкций. По результатам экспертных обследований и опроса ремонтного и эксплуатирующего персонала используемое оборудование в ряде случаев требует ремонта. Это относится как к узлам динамического оборудования, так и к элементам несущих конструкций. Сложность горно-геологических условий залегания угольных пластов, некачественная подготовка горной массы, уклоны превышающие допустимые, некачественные автодороги, перегруз, несовершенство конструктивных решений при изготовлении оборудования вот небольшой перечень причин, которые приводят к разрушению основных узлов, что напрямую влияет как на производительность и эффективность использования оборудования, так и на безопасность его эксплуатации.

Основными причинами разрушения является многоцикловая нагрузка. Она применима ко всем типам используемого оборудования, такого как большегрузный самосвал, буровой станок или экскаватор. Однако, как показывают результаты экспертизы этого оборудования, далеко не все указанное оборудование находится в не допустимом состоянии по причине многоциклового разрушения. Значительная часть оборудования разрушается по причине некачественного подхода к ремонтному процессу. На сегодняшний день в основном применяется один способ ремонта образовавшихся дефектов (в большинстве это разной величины и направления трещины) – проведение сварочных работ. Однако в силу специфики эксплуатации горного оборудования (отсутствие достаточного количества времени на проведение ремонтных работ, отсутствие на месте работ квалифицированного специалиста, специального оборудования и расходных материалов) эти работы проводятся быстро, в полевых условиях, что приводит к нарушению технологии проведения сварки.

Часть осмотренных узлов с разрушенными сварными соединениями за определённый период эксплуатации показывает следующее: хрупкое разрушение сварного шва по причине многоциклового нагружения, а также то, что на поверхности сварного шва имеется поверхностная наплавка (усиление).

Процесс разрушения узла описанного выше примера следующий: в процессе эксплуатации образовалась усталостная трещина, которая была своевременно обнаружена эксплуатирующим персоналом, затем был выполнен ремонт с применением сварки, но без соответствующей разделки и определения границ трещины. В результате, по окончании ремонтных работ, дефект был устранен и оборудование запущено в работу.

Основные ошибки эксплуатационного персонала при проведении ремонта следующие:

- не проводится контроль для определения границ трещины;
- не производится разделка трещины;
- в процессе ремонта не проводился контроль качества сварки;
- выполняется сварка в одном и том же месте несколько раз, что влечет за собой потерю механических свойств материала, и соответственно, снижение показателя трещиностойкости;
- нет соответствующего подбора электродов, материалов для изменения конструкции или установки накладок;
- отсутствует необходимая подготовка поверхности ремонтируемого узла (очистка, зашлифовка и т.д.),
- отсутствует подготовка электродов, а так же проведение послеремонтных операций.

Ниже на рис.1 и рис. 2 приведен пример ремонтируемого сварного соединения, и на данном образце можно рассмотреть перечисленные выше замечания:



Рис. 1 Поперечное сечение ремонтного сварного шва



Рис. 2 Капиллярный контроль ремонтного сварного шва

Как видно из рис. 1, сварной шов переваривали не менее 3-х раз, при этом дефект исправлялся совсем не в том месте, где он зародился, при этом в зону действия высоких температур от сварочных работ попал не узкий участок, как это предусматривается, а довольно широкий, который значительно превышает толщину стенки. Следует так же обратить внимание на то, что после выполнения ремонтных работ сварное соединение допускается принимать как вновь изготовленное, т.е. как новое. В данном случае, после ремонта в сварном соединении допущены дефекты не позволяющие эксплуатировать отремонтированный шов вообще по следующим причинам: в период проведения первого ремонта в наплавленном металле обнаружено большое скопление пор; в период третьего ремонта вообще сварной шов как таковой отсутствует.

Как показывают наглядные результаты неразрушающего контроля образца (рис.2) из корня шва к поверхности вновь образовалась эксплуатационная трещина, которая в ближайшее время должна была выйти на поверхность.

Как известно, для проведения ремонтных работ предприятие затрачивает большое количество ресурсов: приобретение материалов, оплату работ персоналу, простои и т.д. Некачественный ремонт может продлить срок эксплуатации оборудования, но этот срок будет несопоставим с теми затратами, которые вложены в отремонтированное оборудование. К примеру, проведение качественного (с соблюдением технологии проведения сварочных работ) ремонта вышеуказанного сварного соединения позволило эксплуатировать оборудование длительное время. Следует отметить, что более качественный ремонт может потребовать несколько больших затрат по времени: контроль – разделка – послойная заварка – обработка – контроль. В месте с тем известно, что своевременный качественный ремонт обойдется намного дешевле, чем восстановление разрушенной конструкции, потому как, обеспечивается не только производительность технологического процесса, но и повышается безопасность эксплуатации оборудования при выполнении работ.

С целью повышения надежности эксплуатации парка горно-транспортного оборудования, отработавшего длительный срок предложены мероприятия по устранению основных типов эксплуатационных дефектов.

Ремонт элементов конструкции с учетом факторов, изложенных выше производится тремя способами:

- а) заварка дефекта или наплавка дефектного участка;
- б) замена дефектного участка (установки вставок, смена листа и т.д.);
- в) выборка дефекта.

Анализируя последовательности выполнения работ для разных ремонтируемых элементов можно с четкостью определить последовательность для других ситуаций, не указанных в настоящей статье, так как основное различие в последовательности обусловлено лишь спецификой самого ремонтируемого узла.

На рис. 3 предложена последовательность выполнения операций при проведении сварочных работ для следующих мест:

для сварных соединений на которых ранее ремонты не проводились;
 для сварных соединений, которые ранее подвергались ремонту;
 для поверхности основного металла.

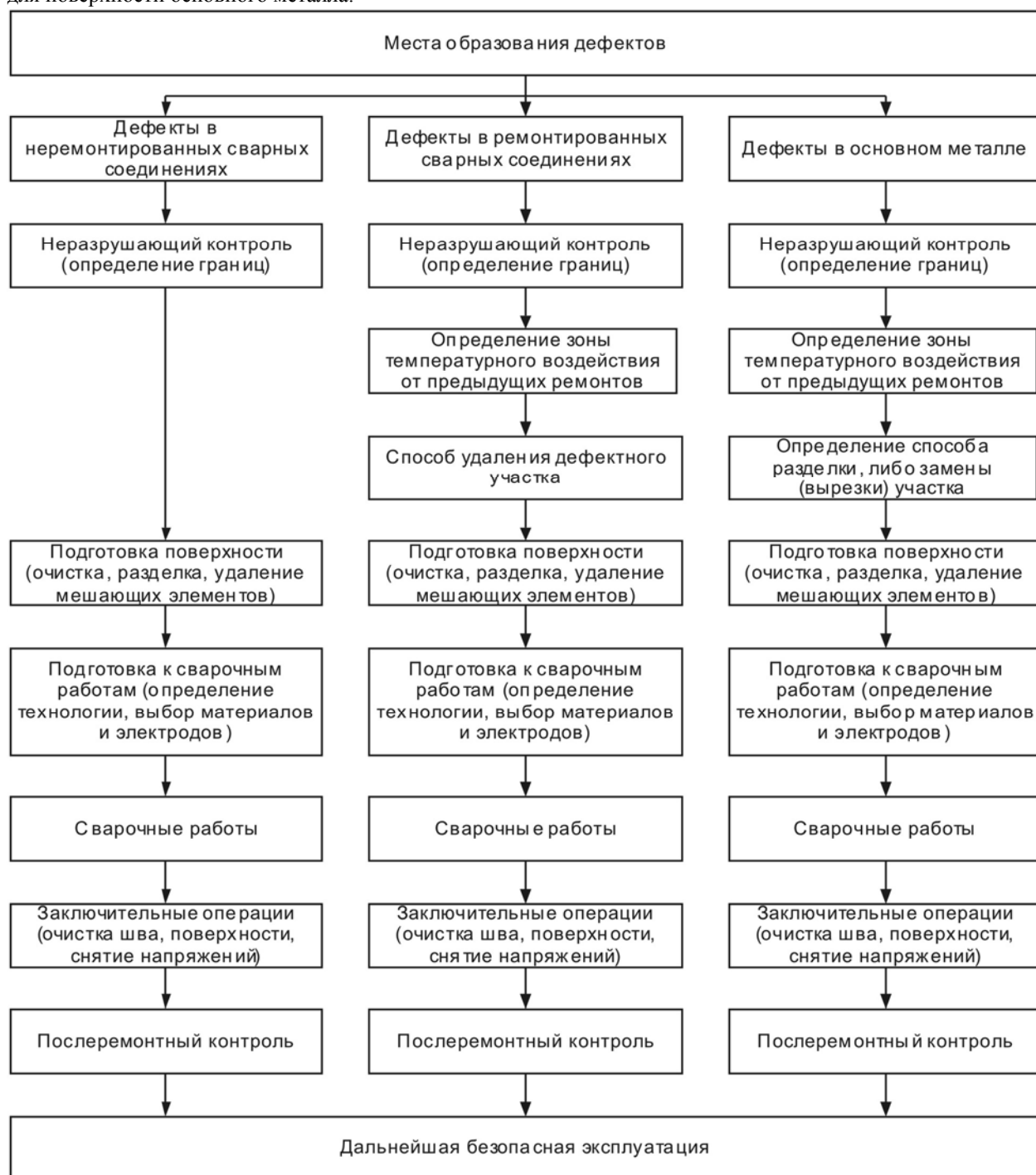


Рис. 3 Последовательность выполнения ремонтных работ

На основании вышесказанного, авторами, для качественного проведения ремонта, предлагается порядок работ, приведённый на рисунке 4. То есть предприятиям угольной отрасли Кузбасса необходимо уделять больше внимания именно проведению ремонтных работ, так как в связи с недостаточностью финансирования оборудования не обновляется, изнашивается и приходит в негодность. Для поддержания работоспособности необходимо внедрение новых подходов для проведения ремонтных сварочных работ таких как: разработка технологии на ремонт; улучшение материально-технической базы для ремонтных подразделений предприятий, кроме того, предлагается иметь в структуре предприятий (компаний) службу контроля качества, обязанности которой заключается как в проведении входного контроля всех поступающих материалов на соответствие их действующим нормам и стандартам, так для организации проведения ремонта или замены узлов и агрегатов основного горно-транспортного оборудования.

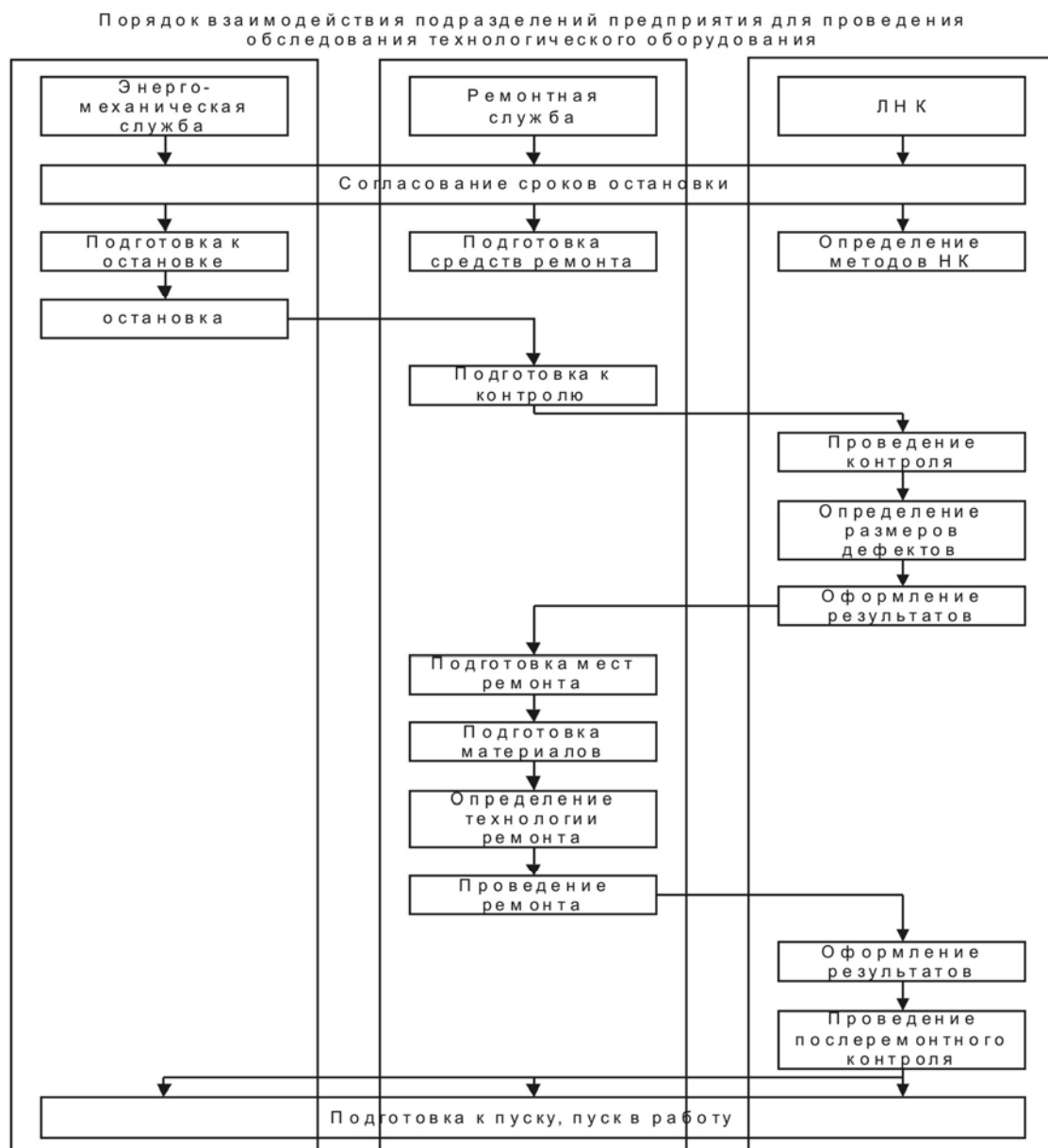


Рис. 4 Порядок проведения ремонтных работ службами предприятий

Заключение

Своевременное обнаружение эксплуатационных дефектов в элементах металлоконструкций горно-транспортного оборудования повышает безопасность выполнения производственного процесса, однако некачественный ремонт выявленного дефекта зачастую сводит на нет все затраты предприятия и может привести к травмированию эксплуатационного персонала. Безопасность эксплуатации оборудования возможна лишь при совокупном взаимодействии системы эксплуатация → контроль → ремонт → эксплуатация. Таким образом, уделяя должное внимание не только обнаружению эксплуатационных дефектов, но и качественному ремонтному процессу позволяет повысить эффективность использования и безопасность эксплуатации оборудования.

На основе примера типового стыкового сварного шва рассматриваются основные причины некачественного ремонта металлоконструкций горно-транспортного оборудования. Представлены основные причины разрушения, нового и ремонтного сварных швов, рекомендации для контроля и исправления эксплуатационных дефектов, применением технологии сварочных работ, с учётом подхода термина «качество».

ГЕОМЕХАНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОБОСНОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ И ЛИЦЕНЗИОННЫХ ГРАНИЦ УГОЛЬНЫХ РАЗРЕЗОВ

Дьяченко А.Н., зав. лабораторией устойчивости бортов

Быкадоров А.И., к.т.н., старший научный сотрудник лаборатории устойчивости бортов

*Научно-исследовательский институт горной геомеханики и маркшейдерского дела –
Межотраслевой научный центр ВНИМИ (Сибирский филиал), г.Прокопьевск*

Обоснована необходимость учета геомеханических параметров горных выработок при утверждении технических и лицензионных границ участков угольных месторождений, обрабатываемых открытым способом

В соответствии с действующими нормативными документами технические границы разрезов должны соответствовать лицензионным. При этом согласно ст.7 Закона РФ «О недрах» при определении лицензионных границ необходимо учитывать пространственные контуры залежи полезного ископаемого, зоны безопасного ведения горных работ, разноску бортов разрезов и другие факторы.

Однако, в настоящее время сложилась ситуация при которой лицензионные границы в вертикальной плоскости принимаются без учета особенностей структурного строения массива горных пород участков недр, углов откосов бортов будущей открытой горной выработки.

Немаловажным аспектом при обосновании технических границ разрезов является определение параметров устойчивости бортов на предельном контуре.

Установление лицензионных границ в вертикальной плоскости без учета параметров устойчивости откосов бортов приводит, с одной стороны, к потерям полезного ископаемого, а при нарушении условий устойчивости и отработке участка недр до указанных границ соответственно к развитию деформационных явлений (оползни, обрушения и др.) и как следствие к значительному снижению безопасности ведения работ (рис.1).

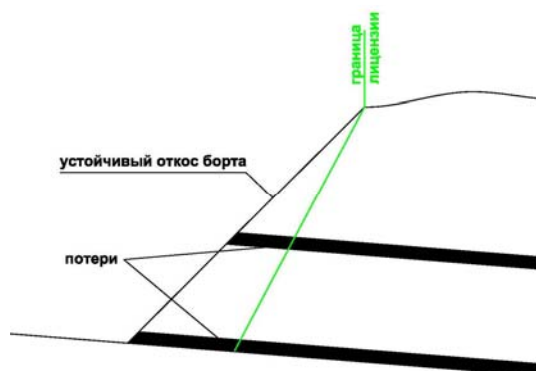


Рис.1. Наиболее распространенное положение установленных границ

Данное обстоятельство усугубляется, когда лицензионные границы отстраиваются вертикально, а также при оставлении целиков окисленного и некондиционного угля на выходах пластов под наносы (рис.2).

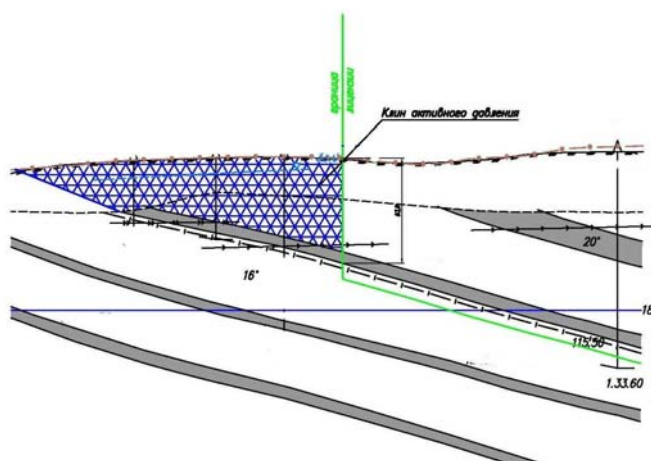


Рис.2. Принципиальная схема образования клина активного давления

При ведении горных работ в районе границ оставляемых целиков угля на выходах под наносы происходит подрезка ослабленного контакта с неблагоприятным падением в сторону выработанного пространства, по которому наиболее вероятно развитие оползней сразу же после проведения выемки, что подтверждается опытом работы горнодобывающих предприятий Кузбасса, ведущих открытые горные работы (разрезы "Корчаковский", "Таежный", "Виноградовский" и многие другие).

Причиной развития деформационных процессов является то, что в теле целика образуется так называемый «клин активного давления» с ослабленным основанием приходящемся на контакт ложной кровли или почвы. При этом физико-механические свойства по контакту пород характеризуются низкими показателями угла внутреннего трения и сцепления. Кроме того, в период весенних паводков в результате водонасыщения породы не контактах приобретают глиноподобное и текучее состояние, что значительно снижает прочностные характеристики. Вторым отрицательным фактором, влияющим на устойчивость элемента борта, является неблагоприятное падение поверхности ослабления в сторону выработанного пространства, при котором, как правило, угол падения контакта выше угла внутреннего трения.

Условием предельного равновесия образующегося клина является равенство сил, сдвигающих (касательная составляющая от веса столба) и препятствующих сдвигению (сил трения и сцепления по плоскости ослабления) с учетом введения угла сдвига ($tg\psi'$) по участку наиболее напряженной поверхности совпадающему с поверхностью ослабления и нормативного коэффициента запаса 1,3. Данное условие имеет следующий вид:

$$\eta = ctg\beta \cdot tg\psi' \geq 1,3;$$

$$tg\psi' = tg\rho' + \frac{K'}{\sigma_{cp}}$$

где, σ_{cp} – угол сдвига по участку наиболее напряженной поверхности, совпадающий с поверхностью ослабления;

$$\sigma_{cp} = \frac{1}{2} h\gamma \cdot \cos^2 \beta$$

– средняя интенсивность нормального напряжения по наиболее слабому контакту, т/м²;

h – глубина залегания (по вертикали) наиболее напряженной поверхности, м;

γ – средневзвешенный объемный вес пород, т/м³;

ρ' – угол внутреннего трения по контакту, град.;

β – угол падения плоскости ослабления, град.;

K' – сцепление пород по контакту, т/м².

Выполненные по вышеуказанной методике расчеты показывают, что в рассматриваемых условиях коэффициент запаса устойчивости оставляемых целиков окисленного угля на выходах пластов под наносы значительно меньше нормативного ($\eta < 1,3$) и откосы бортов на данных участках являются неустойчивыми.

Таким образом, в данных условиях еще на стадии оценки запасов и обоснования технических границ разрезов создается ситуация по провоцированию оползней и, как следствие, приводит к снижению безопасности ведения горных работ, нарушению утвержденных лицензионных границ и увеличению плановых затрат.

С целью исключения влияния выше указанных факторов на рациональное пользование недрами, безопасность ведения горных работ и эффективность производства следует еще на стадии разведки полезных ископаемых, разработки ТЭО кондиций, подсчета запасов и определении лицензионных границ проводить геомеханическое обоснование параметров отработки угольных разрезов.

УДК 52-14

МОНИТОРИНГ ДЕФОРМИРУЮЩИХСЯ УЧАСТКОВ БОРТОВ КАРЬЕРОВ

Кольцов П.В. к.т.н, заведующий лабораторией «Устойчивости бортов карьеров и движения горных пород», ОАО «Уралмеханобр» г. Екатеринбург

тел (343) 344-27-42 e-mail: Kpavel@umbr.ru

Выемка законтурных запасов руды представляет значительный интерес, поскольку добыча руды производится без каких-либо существенных капиталовложений. В виду особенностей строения меднорудных месторождений (неправильные формы рудных тел и наличие сопровождающих мелких залежей) значительная часть рудных запасов остается в бортах и дне карьера (от 5 до 20 млн.т). Естественно, при доработке карьеров возникает вполне резонный "соблазн" об их выемке, что достаточно успешно осуществляется по локальным [1] проектам на ряде карьеров (Блявинский, Сибайский, Учалинский и др.) и позволяет дополнительно добыть карьерами 2 – 7 млн.т. руды оборудованием (экскаваторами, буровыми станками и др.), эксплуатационный ресурс которых к этому времени обычно почти полностью исчерпан.

Наиболее важным фактором при разработке вариантов отработки прибортовых запасов полезных ископаемых является устойчивость подрабатываемых бортов карьеров, поскольку выемка дополнительных

объемов ведет, как правило, к нарушению устойчивости вышележащего массива. Однако, выемка законтурных запасов П.И. имеет некоторые особенности, позволяющие с определенным риском обеспечить полноту отработки недр это точечное воздействие (боковой распор), срок отработки, отсутствие в пределах призмы обрушения охраняемых объектов, длительные инструментальные наблюдения.

Наличие вышеперечисленных факторов позволяет обосновать возможность выемки прибортовых запасов на локальных участках в короткие сроки (до 3-х лет) при минимально допустимых коэффициентах запаса устойчивости (≥ 1.1).

Для расчета параметров устойчивости бортов разрезов во ВНИМИ разработаны и введены в «Правила» [2] схемы и графики поправок к углу наклона прямолинейного в плане откоса от длины зажатого участка. Дополнительно проведенными исследованиями [3] бокового защемления получен «показатель зажатости», определяемый из выражения:

$$\Pi_z = \frac{2L}{H(1-tg^2\alpha)}, \quad (1)$$

где H – высота откоса, м;

L – длина зажатого откоса, м.

Увеличение добавочного угла в зависимости от степени зажатости рекомендуется вычислять по установленной эмпирической зависимости:

$$\Delta\alpha_z = \frac{26}{\Pi_z}, \quad (2)$$

Эффективность зажима ощутимо проявляется при $\frac{L}{H} < 3$.

Срок отработки имеет важное значение для уменьшения нормативного коэффициента запаса вводимого в расчеты при отсутствии в призме возможного обрушения охраняемых сооружений, поскольку позволяет существенно увеличить угол погашения рабочего борта и закончить горные работы на локальном участке до проявления существенных деформаций.

Обязательным фактором, сопровождающим отработку месторождения на протяжении всего срока эксплуатации карьеров, являются инструментальные маркшейдерские наблюдения. Все технические решения, связанные с изменением контуров карьера должны основываться как на расчетных данных по оценке устойчивости, так и на данных практических наблюдений по профильным линиям. Особенно это утверждение актуально при отработке прибортовых запасов, так как массив имеет состояние близкое к предельному, что должно постоянно контролироваться, поэтому задача правильной постановки маркшейдерских инструментальных наблюдений имеет важное значение.

Исследованиями деформационных процессов в прибортовых массивах установлено, что разрушению бортов предшествуют развивающиеся в течении длительного времени деформации, появление которых не является признаком обязательного разрушения борта. Следовательно, на деформирующихся бортах можно вести горные работы до появления видимых трещин и заколов, контролируя маркшейдерскими наблюдениями скорости деформирования откосов. Для надежной оценки степени опасности развивающихся деформаций и оценки устойчивости бортов принимают критические скорости прибортового массива, которые устанавливаются в процессе маркшейдерских инструментальных наблюдений.

Однако задача постановки инструментальных наблюдений на деформирующихся участках осложняется следующими факторами:

отсутствие возможности заложения профильной линии по нормали к борту из-за недоступности вышележащих берм;

опасность нахождения исполнителя на деформирующемся участке;

значительной системной ошибки наблюдений, при использовании безотражательного режима тахеометров;

реперы, расположенные параллельно участку деформации не в полной мере отражают схему деформирования массива.

Для получения достоверной схемы деформирования массива предлагается методика безотражательных наблюдений за деформируемыми недоступными участками бортов карьеров, основанная на применении технологий лазерного сканирования.

Суть методики заключается в создании трехмерной модели исследуемого участка, позволяющей с достаточной точностью фиксировать состояние массива по условным профильным линиям. Профильные линии являются условными, поскольку их положение и количество ограничивается только границами созданной модели.

Согласно проведенным в работе [4] исследованиям точность математической аппроксимации подробностей горнотехнических объектов обеспечивается точностью инструментов, методикой съёмки и расстоянием между пикетами, расположенными вдоль явно выраженных элементов объекта моделирования не более 7 м. Данная точность необходима для обеспечения точности подсчета объемов и правильности геометрического построения конфигурации борта. Основываясь на полученных результатах исследований, была разработана и апробирована на производстве методика наблюдений за деформациями методом лазерного сканирования с использованием электронного роботизированного тахеометра Trimble S6. Поскольку наблюдения за деформациями требуют более точного определения геометрии исследуемого участка, расстояние между снимаемыми точками было уменьшено до трех метров.

Суть наблюдений сводится к координатной привязке и сканированию участка исследований (зоны деформаций) с достаточной для обеспечения адекватности моделирования плотностью наблюдений. Периодичность сканирования определяется исходя из стадии деформационных процессов. По результатам каждой серии сканирования рассчитывается трехмерная модель исследуемого участка. Поскольку координаты участка известны, то при совмещении моделей нескольких серий наблюдений можно проследить динамику развития оползневых процессов. На модели выбирается несколько перпендикулярных борту профильных линий, по которым оценивается скорости и величины смещений. Кроме того по результатам моделирования рассчитывается объем (м³) деформаций между исходной серией и последующими наблюдениями.

Методика безотражательных наблюдений за деформирующимися участками бортов карьеров опробована в промышленных условиях на Сибайском и Учалинском карьерах (Башкирия).

Применение методики на Сибайском карьере (рис. 1) позволило уточнить схему деформирования массива (рис.2).



Рисунок 1 – Участок моделирования

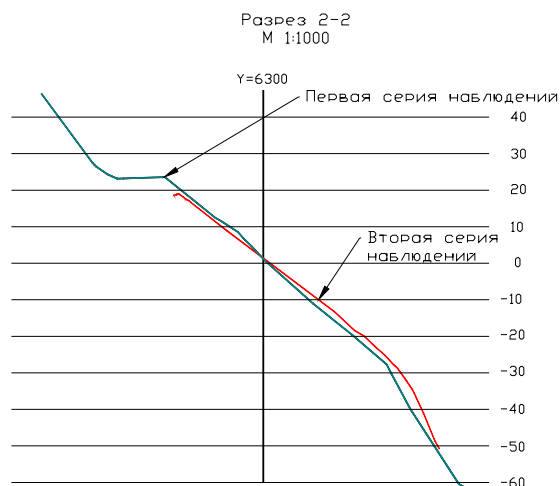


Рисунок 2 – Сравнение 2-х серий наблюдений

Анализ результатов лазерного сканирования показал, что деформации уступа проходили по плавной поверхности скольжения с образованием просадок в верхней и выпиранием горной массы в нижней части уступа.

Методика безотражательных наблюдений внедрена в комплексную систему мониторинга на Учалинском карьере (рис.3) и дополняет классическую систему наблюдений по реперам.

Сходимость результатов безотражательных наблюдений с результатами классического мониторинга позволяет сделать выводы о возможности их внедрения в производственный процесс как самостоятельных наблюдений (рис.4).



Рисунок 3 – Участок моделирования

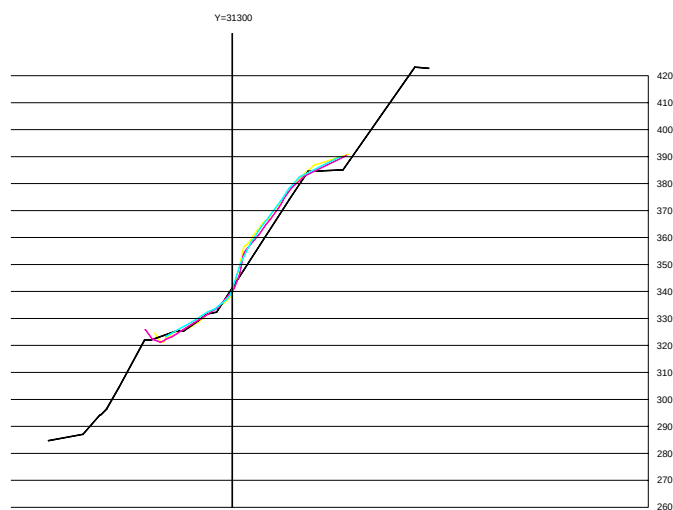


Рисунок 4 – Сравнение шести серий наблюдений

Результаты лазерного сканирования показали что основные деформации в виде обрушений и частичного разрушения берм безопасности произошли после подработки систем скрытых трещин. Дальнейшего развития деформационных процессов не происходило, что подтверждается также наблюдениями по реперам, заложенным вдоль деформирующегося участка.

Проведенные исследования показали, что методы лазерного сканирования, при определенных условиях, позволяют получить достоверную информацию о состоянии деформирующегося участка борта. Все наблюдения с помощью лазерного сканирования по возможности дублировались традиционными наблюдениями по реперам, что позволило оценить адекватность результатов.

Во всех случаях, на основе сходимости результатов подтверждаются закономерности развития деформационных процессов, а именно:

1. Сибайский карьер – проседание поверхности со смещением реперов в сторону карьера и выпиранием нижней части оползня;
2. Учалинский карьер – деформации стабилизировались.

Таким образом, применение методов лазерного сканирования является одним из наиболее эффективных и безопасных способов проведения инструментальных наблюдений на деформирующихся участках бортов карьеров и отвалов. Внедрение в системы мониторинга трехмерных лазерных сканеров существенно повышает скорость съемки и точность моделирования.

Полноценное освоение недр невозможно без теоретической проработки возможности выемки и эффективных систем мониторинга, позволяющих установить и предупредить опасные деформации на ранней стадии.

Соловьев А.А., Зобнин В.И. Схемы выемки законтурных запасов руды на карьерах // Известия вузов. Горный журнал. – 2007. - № 5.

Правила обеспечения устойчивости откосов на угольных разрезах / Гос. НИИ горной геомеханики и маркшейдерского дела. – Утв. Госгортехнадзором РФ 16.03.1998. – СПб., 1998. – 208 с.

Туринцев Ю.И. Разработка, исследование и внедрение инженерных методов управления и способов контроля устойчивости бортов меднорудных карьеров / Дисс. ... доктора техн. наук. - Л.: ЛГИ. 1975.

Кольцов П.В. Совершенствование методов компьютерного моделирования горнотехнических объектов для маркшейдерского обеспечения открытых горных работ. Диссертация ... к.т.н. – Екатеринбург.: ГОУ ВПО УГТУ. 2006.

Аннотация

Предложена методика наблюдений за деформациями бортов карьеров и отвалов с применением лазерного сканирования. Проведено сравнение результатов традиционных наблюдений и измерений по предлагаемой методике. Рассмотрено практическое внедрение на промышленных объектах.

Abstract

The application of laser scanning for shooting procedure of open-pit mines' edges and spoil dumps deformations is offered. The results of traditional observations and measurements obtained with the help of the offered technique are compared. Practical implementation on industrial objects is considered.

Ключевые слова: открытые работы, уступы и борта карьера, углы откосов, геомеханическая ситуация, деформации, мониторинг, лазерное сканирование, промышленная безопасность.

Key words: open works, benches and edges of open-pit mines, gradient of slope, geomechanical situation, deformation, monitoring, laser scanning, industrial safety.

ПО «БЕЛОРУССКИЙ АВТОМОБИЛЬНЫЙ ЗАВОД» - ГОРНОМУ ПРОИЗВОДСТВУ

О компании

Участникам конференции представлять Белорусский автомобильный завод, наверное, не нужно: напомним только, что предприятие основано в 1948 году, с 1958 года БелАЗ выпускает большегрузные карьерные самосвалы, а с 90-х годов прошлого столетия – и другие специализированные машины, предназначенные для транспортировки горной массы при добыче полезных ископаемых открытым и подземным способом. Согласно государственной программе создания в Беларуси крупных концернов на базе ведущих промышленных предприятий в состав ПО «БелАЗ» сегодня входят: Белорусский автомобильный завод в городе Жодино, автомобильный и вагоностроительный заводы в городе Могилеве, механический завод в городе Старые Дороги и станкостроительный завод в городе Пинске.

Продукция

По сферам применения в горном производстве выпускаемую БелАЗом серийную продукцию можно условно разделить на семь основных групп

- карьерные самосвалы грузоподъемностью 30, 45 и 55 тонн;

в классе грузоподъемности 30 тонн уже насчитывается 5 модификаций самосвалов серии БелАЗ-7540, которые в сумме имеют 56 различных исполнений и комплектаций.

в классе грузоподъемности 45 тонн насчитывается 5 модификаций, которые имеют 70 различных исполнений и комплектаций.

в классе грузоподъемности 55-60 тонн самосвалов серии БелАЗ-7555 насчитывается 4 модификации, которые имеют 46 различных исполнений и комплектаций.

- карьерные самосвалы грузоподъемностью 90 тонн;

самосвалы серии БелАЗ-75570, насчитывают 9 исполнений.

- карьерные самосвалы грузоподъемностью 110-160, 220 тонн;

В настоящий момент в классе грузоподъемности 110-136 тонн имеется модификации и 85 их исполнений.

Завершены приемочные испытания самосвала БелАЗ-75171 грузоподъемностью 154-160 тонн.

самосвал БелАЗ-7530 грузоподъемностью 220 тонн. Две модификации самосвала имеют 26 различных исполнений.

- карьерные самосвалы грузоподъемностью 320-360 тонн;

самосвалы серии БелАЗ-7560 насчитывают ____ исполнений.

- машины для обслуживания горно-транспортных работ: погрузчики, бульдозеры, тягачи-буксировщики, поливооросительные машины;

- машины для подземных работ: самосвалы подземные, погрузочно-доставочные машины, транспортные средства для перевозки людей;

- грузовой подвижной состав: вагоны-хoppers и люковые полувагоны.

Разработка новой техники

Совершенствования конструкции серийно выпускаемых машин и разработка техники нового поколения осуществляется на собственной конструкторско-исследовательской базе Белорусского автомобильного завода. Созданный в 2005 году научно-технический центр предприятия объединил в своем составе управление главного конструктора ОАО «БелАЗ», отдел подземной и строительно-дорожной техники, осуществляющий конструкторское сопровождение производства на филиале в г. Могилев, экспериментальный цех и испытательную лабораторию с испытательным полигоном. С образованием НТЦ БелАЗ стал обладателем одним из самых современных законченных циклов по разработке новой продукции в машиностроительной отрасли РБ и СНГ.

Только за последнее время на БелАЗе были разработаны и изготовлены опытно-промышленные партии:

- 90-тонных карьерных самосвалов БелАЗ-75570 с ГМП 6+1;

- 45-тонных карьерных самосвалов БелАЗ-75450 с увеличенным до 600

тыс. км. пробега ресурсом эксплуатации;

320-тонных карьерных самосвалов БелАЗ-75600.

Первая промышленная партия этих машин успешно работает на карьерах ОАО «УК «Кузбассразрезуголь». На базе основных узлов 320-тонника разработан карьерный самосвал БелАЗ-75601 грузоподъемностью 360 тонн. Первый образец 360-тонника был выпущен к юбилею управления главного конструктора, который предприятие отпраздновало 23 апреля 2010 года.

В числе новых разработок БелАЗа - и 160-тонный самосвал БелАЗ-75170, изготовлены также образцы 50-тонного подземного самосвала БелАЗ-75810 и 9-тонной подземной погрузочно-доставочной машины МоАЗ-4055, самосвала повышенной проходимости МоАЗ-75054 грузоподъемностью 25 тонн с новым интерьером кабины, карьерного самосвала БелАЗ-75310 грузоподъемностью 240 тонн, карьерного самосвала с дистанционным управлением БелАЗ-75137.

Кроме того, номенклатурный ряд продукции предприятия в последние два года расширен благодаря разработке и постановке на производство:

- новых модификаций 30-тонных самосвалов БелАЗ-7540С с двигателями совместного производства Тутаевского и Минского моторных заводов, а также двигателями компании Cummins БелАЗ-7540К;
- новых модификаций самосвалов серий БелАЗ-7513 и БелАЗ-7530 грузоподъемностью соответственно 130 и 220 тонн с двигателями компании MTU и ЭМТ переменного тока различных исполнений;
- новых моделей тягачей-буксировщиков БелАЗ-74470, БелАЗ-7455В, БелАЗ-74131, БелАЗ-74306 для обеспечения буксировки карьерных самосвалов грузоподъемностью от 30 до 360 тонн;
- новой модификации 150-тонного тяжеловоза для нужд металлургических предприятий;
- вагонов-хопперов и полувагонов люковых для перевозки минеральных удобрений и сыпучих, пакетированных, штучных грузов грузоподъемностью 70,5 и 70 т.

Развитие производства

Хорошо понимая, что только продукция высокого качества может помочь предприятию еще более укрепить его позиции на мировом рынке, БелАЗ в настоящее время осуществляет третью за последнее десятилетие реконструкцию действующего производства. В ходе первых двух была проведена реконструкция производственной базы на основе гибких технологий по всем технологическим переделам, конструкторско-исследовательской базы с испытательным комплексом и полигоном и модернизация вошедшего в состав предприятия литейного производства, расположенного в г. Могилеве. Успешная реализация проекта позволила значительно сократить сроки разработки и постановки на производство новой продукции, повысить технический уровень выпускаемой техники и экспортный потенциал предприятия в целом. В соответствии с Программой инвестиционного развития предприятия на 2011-2015 годы предусматривается организация серийного производства ряда новых изделий:

- нового поколения карьерных самосвалов грузоподъемностью 32 тонны с увеличенным ресурсом эксплуатации;
- гидромеханических коробок передач планетарного типа и карьерных самосвалов с ГМП грузоподъемностью 60 и 90 тонн;
- карьерных самосвалов грузоподъемностью 240 тонн в дизель-троллейвозном исполнении;
- карьерных самосвалов грузоподъемностью 90-360 тонн с ЭМТ переменного тока;
- многодисковых маслоохлаждаемых тормозов (ММОТ) для основных моделей самосвалов и спецтехники грузоподъемностью 30...90 тонн.
- специального транспорта для выполнения технологических и дорожно-строительных работ, погрузочно-транспортных комплексов для работ в стесненных условиях шахт и туннелей, современного грузового подвижного состава;
- оборудования для строительной отрасли, в том числе бетононасосов и гидравлической распределительно-раздаточной стрелы и др.,

а также соответствующее развитие производственных мощностей.

Научно-техническим центром в настоящее время ведется разработка конструкции карьерного самосвала серии БелАЗ-7571 грузоподъемностью 420-450 тонн, представляющего новый класс карьерных самосвалов в линейке продукции ОАО БелАЗ. БелАЗ-7571 имеет колесную формулу 4Х4 с двойной ошиновкой на каждой оси, с шинами 59/80R63. В его конструкции предусмотрена установка двух ведущих мостов и 2-х силовых дизель-генераторов мощностью 2300-2500 л.с.

Главным в своей работе БелАЗ всегда считал планомерное и последовательное удовлетворения запросов потребителей нашей техники, со многими из которых нас связывает давнее и плодотворное сотрудничество. И от сегодняшнего научного форума, как и от проводимых на БелАЗе ежегодных научно-практических конференций, мы ждем новых пожеланий горняков, определения новых направлений нашей дальнейшей деятельности.

К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ БОРТОВ НА УГОЛЬНЫХ РАЗРЕЗАХ ПРИ КОМБИНИРОВАННОЙ ОТРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Быкадоров А.И., к.т.н, старший научный сотрудник лаборатории устойчивости бортов

Иванова Е.В., старший инженер лаборатории сдвижения горных пород

*Научно-исследовательский институт горной геомеханики и маркшейдерского дела –
Межотраслевой научный центр ВНИМИ (Сибирский филиал), г.Прокопьевск*

В докладе рассмотрены процессы сдвижения массива горных пород при подработке подземными горными работами угольных разрезов и приведены основные критерии оценки устойчивости откосов бортов в условиях комбинированной отработки угольных месторождений

Устойчивое развитие угольной промышленности Кузбасса и, в частности, Прокопьевско-Киселевского района связано с наращиванием концентрации горных работ на отрабатываемых месторождениях угледобывающих районов с развитой инфраструктурой. Это обстоятельство предопределяет увеличение количества участков месторождений, отрабатываемых по комбинированной открыто-подземной технологии.

При совместном ведении подземных и открытых работ возможны три варианта развития горных работ.

Открытые работы производятся раньше подземных горных работ.

Открытые горные работы производятся одновременно с подземными работами.

Открытые горные работы производятся после проведения подземных работ.

При развитии горных работ по первому варианту влияние подземных работ на открытые горные выработки отсутствует. В тоже время, при втором и третьем варианте требуется комплексное решение задачи по безопасному ведению горных работ.

Ведение открытых горных работ в зоне влияния подземных работ должно осуществляться таким образом, чтобы свести к минимуму осложнения, обусловленные деформациями и сдвижением породного массива от подземных разработок. При этом наибольшую опасность представляют внезапные локальные обрушения с образованием провалов и оседаний поверхности. Наиболее существенную часть мероприятий по обеспечению безопасности ведения открытых горных работ составляют прогноз влияния процессов сдвижения, а также выявление положений и состояния пустот, наблюдения за состоянием массива, позволяющие заблаговременно определить степень развития деформаций и параметры устойчивости откосов бортов разрезов.

Определяющими факторами при оценке параметров устойчивости откосов ботов и их элементов являются физико-механические свойства пород и структурно-тектоническое строение массива.

При этом основное влияние на устойчивость бортов карьеров оказывают трещины тектонического и техногенного характера большого протяжения (более 10м), падающие в направлении наклона борта, развитые главным образом по сланцеватости или параллельно зонам разломов и тектоническим нарушениям, а также ориентированные под острым углом к направлению наибольшего ослабления прочности массива. Вследствие незначительности сцепления по трещинам, по контактам литологических разностей пород и дизъюнктивным нарушениям, ориентированных по падению в сторону выработанного пространства, устойчивость борта в целом по этим поверхностям ослабления при их подрезке горными выработками обеспечивается лишь в тех случаях, когда силы трения, возникающие в массиве, не превышают сил по этим поверхностям.

Влияние трещин большого протяжения (крупные разломы и дизъюнктивные нарушения) на общую устойчивость высоких бортов сказывается во всех случаях, независимо от того, имеет ли место подрезка их горными выработками или нет.

Ориентировка в пространстве ступенчато расположенных трещин отдельности не влияет на устойчивость бортов в целом, так как при этом предельное состояние возникает не по двухмерной поверхности скольжения, а занимает целую зону, в которой отдельные блоки пород, ограниченные трещинами, приобретают вращательное перемещение, при котором создаются условия бокового распора. Условия, необходимые для такого перемещения, зависят от формы блоков, их размеров, прочности и от ширины зоны, охваченной предельным напряжением.

Таким образом, на величину сцепления в массиве и, как следствие, на устойчивость бортов влияет степень трещиноватости пород, размер и форма элементарных структурных блоков, направление и угол падения контактов слоев и плоскостей ослабления. Величина сцепления в образцах отдельных разновидностей пород в десятки раз превышает сцепление в массиве. Поэтому при определении свойств пород в массиве полученные в лабораторных условиях значения сцепления характеризуются так называемым коэффициентом структурного ослабления λ_0 .

В процессе ведения очистных подземных горных работ происходит сдвижение горных пород налегающей толщи, что в свою очередь приводит к перераспределению и увеличению напряжений в массиве, изменению прочностных свойств подрабатываемого массива, разрушению сплошности слоев пород и межслоевых связей, образованию на дневной поверхности, откосах борта трещин, уступов и провалов. В результате влияния указанных процессов возможны деформации приоткосной части бортов и отвалов в виде подвижек, осыпей и оползней. Таким образом, в ходе прогнозирования степени влияния подработки на прибортовой массив необходимо учитывать особенности развития процессов сдвижения и изменения структурного строения массива горных пород.

Характер сдвижения массива горных пород и земной поверхности определяется, прежде всего, глубиной ведения горных работ, составом и свойствами вмещающих пород, применяемыми способами управления кровлей и системами разработок. Наиболее существенное отличие в характере проявления процесса сдвижения наблюдается в зависимости от углов падения вмещающих пород и их тектонической нарушенности [1].

При отработке выемочных участков полей шахт, по мере подвигания забоев в подрабатываемом массиве, происходит процесс расслоения толщи на отдельные слои мощностью от 1,0 до 3,0 и более метров с проявлением межслоевых сдвигов за счет искривления слоев при изгибе и за счет их сползания по плоскостям напластования. Одновременно происходит процесс формирования нормально-секущих трещин. Таким образом, при отработке пластов вышележащая толща пород деформируется в виде блоков, разделенных трещинами. Размеры блоков по мере удаления слоев массива от отрабатываемых пластов увеличиваются, а величина раскрытия трещин соответственно уменьшается.

В результате чего, во-первых, изменяется коэффициент структурного ослабления массива λ , используемый в расчетах устойчивости откосов бортов при определении расчетных показателей физико-механических свойств - сцепления пород в массиве. Во-вторых, происходит изменение количества и направления существующих естественных поверхностей ослабления по контактам слоев и образование новых по трещинам разрыва.

Изменение указанных параметров в результате подземной подработки открытых горных выработок можно оценить с достаточной степенью достоверности по основным критериям оценки процессов сдвижения – оседания, наклоны, горизонтальные сдвижения и деформации.

Прогнозные распределения оседаний при отработке лав могут быть использованы для оценки возможных деформаций бортов и уступов в зоне подработки.

Прогнозные значения кривизны и горизонтальных деформаций могут быть использованы для оценки зон формирования и местоположения трещин и заколов в пределах рабочих уступов и бортов в целом, на основе чего можно оценить степень изменения структурно-тектонического строения массива.

ЛИТЕРАТУРА

Ягунов А.С. Закономерности сдвижения горных пород в Кузбассе. – СПб., 2000. – 304с. (Минэнерго РФ. Гос. НИИ горн. геомех. и маркшейд. дела – Межотраслевой науч. центр ВНИМИ).

ПОВЫШЕНИЕ СПЕЦИАЛЬНЫХ СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ЗА СЧЕТ ВВЕДЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ НАПЛАВКИ В КАЧЕСТВЕ ЭЛЕМЕНТА МОДИФИКАТОРА УЛЬТРАМЕЛКОДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ Al_2O_3 .

Радченко М.В., Князьков К.В., Смирнов А.Н.

*Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова
Кузбасский государственный технический университет*

Увеличение срока службы деталей машин, за счет повышения твердости и износостойкости наплавленных слоев.

Longer service life of machine parts, by increasing the hardness and wear resistance of clad layers.

Детали машин горнодобывающего оборудования в период эксплуатации подвергаются высоким нагрузкам. Исследование повреждений поверхностей втулок, ковшей, натяжных роликов и других деталей выполненное сотрудниками АлтГТУ им. Ползунова и Кузбасского центра сварки и контроля на разрезах, обогащательных фабриках и предприятиях по ремонту горнодобывающего оборудования Кузбасса показывают, что характер повреждения деталей машин разнообразен. Наиболее характерные повреждения представлены на фото. Наиболее характерные повреждения представлены на рис. 1, 2, 3 и 4.



Рис.1. Изношенный зуб ковша ЭКГ-15
(восстановление наплавкой электродами Т-590)

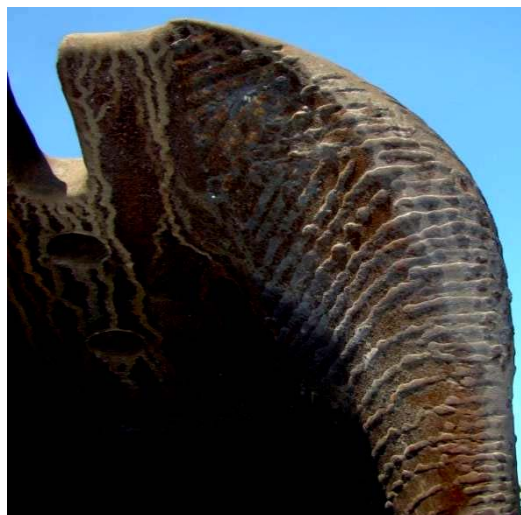


Рис. 2 Защитная наплавка сеткой РДН способом используемый при защите поверхностей контактирующих с породой



Рис. 3 Втулка бронзовая ковша экскаватора ЭКГ-10
изношенная вследствие адгезионного износа



Рис. 4 Изношенное в результате ударных нагрузок
колесо, ведущее экскаватора ЭКГ-5

Период нормальной эксплуатации длится до некоторой критической величины износа поверхности деталей, после достижения, которой происходит ее ускоренное разрушение. Причем критическая величина износа поверхности деталей, после которой начинается ее ускоренное разрушение, зависит от особенностей конструкции, физико-механических свойств металлов, характера нагрузок и условий эксплуатации. Поэтому срок службы деталей машин в значительной степени зависит от уровня физико-механических свойств их поверхности.

Известны достижения в области создания новых материалов с особыми физико-механическими свойствами, полученные в исследовательских лабораториях мира, а также Российских, таких как Московский институт сталей и сплавов, ФГУП «Прометей», МГТУ им. Баумана, Томский политехнический университет способами порошковой металлургии, ионной имплантации и др., на основе уникальных свойств ультрамелкодисперсных частиц. Однако представленные выше способы наиболее пригодны при изготовлении деталей машин и малоприменимы при ремонте оборудования в условиях ремонтных предприятий.

Наиболее применимыми способами восстановления поверхностей деталей машин в условиях ремонта оборудования, как известно, являются способы сварки (наплавки) и родственные сварочным технологии. Существующие способы восстановления деталей машин, такие как наплавка, металлизация, напыление и др. достигли некоторого предела. Исследования, представленные в настоящей работе, показывают перспективность способа повышения специальных свойств покрытий, за счет введения в процессе наплавки ультрамелкодисперсных частиц Al_2O_3 .

С целью изменения условий кристаллизации поверхностного слоя, в процессе наплавки вводили порошок Al_2O_3 [1], основные характеристики которого представлены в таблице 1.

Таблица 1
Основные характеристики порошка Al_2O_3

№ п/п	Наименование показателя	Норма для марок
		Марка А
1	2	3
1	Внешний вид	Высокодисперсный порошок белого цвета
2	Структура кристалла	Бемит
3	Размер кристаллитов, Å, не более	1000
4	Массовая доля примесей (в пересчете на прокаленное вещество), %, не более: диоксид кремния (SiO_2), оксид железа (Fe_2O_3), оксид натрия (Na_2O)	0,05 0,05 0,05
5	Дисперсный состав частиц по фракциям, %: 1÷5 мкм 5÷10 мкм 10÷20 мкм >20 мкм	40 45 15 0
6	Удельная специфическая поверхность, m^2/g , в пределах	10 ÷ 400

Состояние порошка керамики Al_2O_3 перед применением исследовалось методом просвечивающей электронной микроскопии с помощью угольных реплик в лаборатории физики металлов Томского архитектурно-строительного университета под руководством д.т.н. профессора Э.В. Козлова. Просмотр угольных реплик, на которые осаждались исследуемые порошки, осуществлялся на электронном микроскопе ЭМ-125 при ускоряющем напряжении 125 кВ и рабочих увеличениях в колонне микроскопа от 25000 до 80000 крат.

Измерение размеров частиц проводилось по методу случайных секущих. Было измерено ~500 частиц. Средний размер частиц определялся по гистограмме (распределению частиц по размерам), представленной на рис.5.

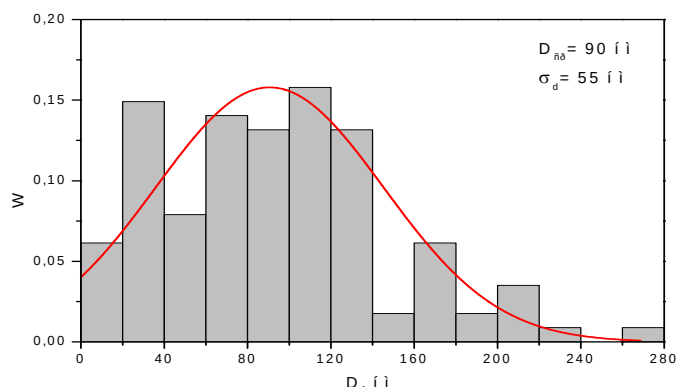


Рис. 5. Гистограмма распределения частиц AL_2O_3 по размерам

Установлено, что средний размер частиц ($\langle D \rangle = 90$ нм) не является наиболее вероятным значением. Как следует из распределения, наиболее вероятными значениями являются интервалы значений 20–40 нм и 100–120 нм. Обнаружено, что количество частиц, имеющих размеры <20 нм, составляет ~6%.

Плазменно-порошковая наплавка смеси порошков стандартного наплавочного материала марки ПС-12НВК выполнялась на образец из стали 20 на установке УПН – 303. Структура наплавленного металла представлена на рис. 6 а) и б).

Структура наплавленного металла смеси стандартного материала ПС-12НВК с добавлением 1,5% вес. ультрамелкодисперсного порошка Al_2O_3 представлена на рис. 7 а) и б).

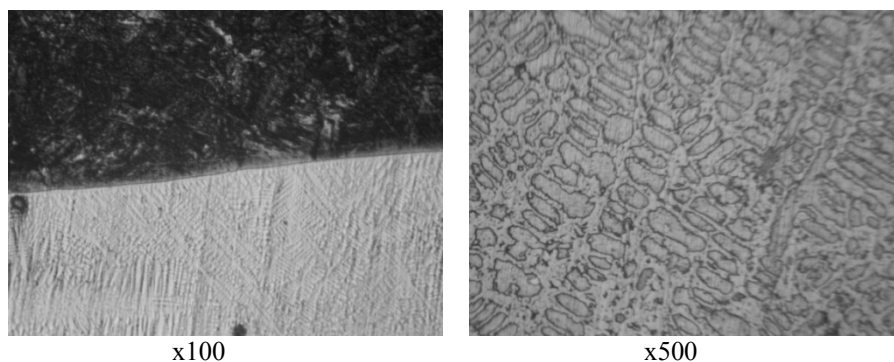


Рис. 6 Структура стандартного образца слоя плазменно-порошковой наплавки смеси ПС-12НВК

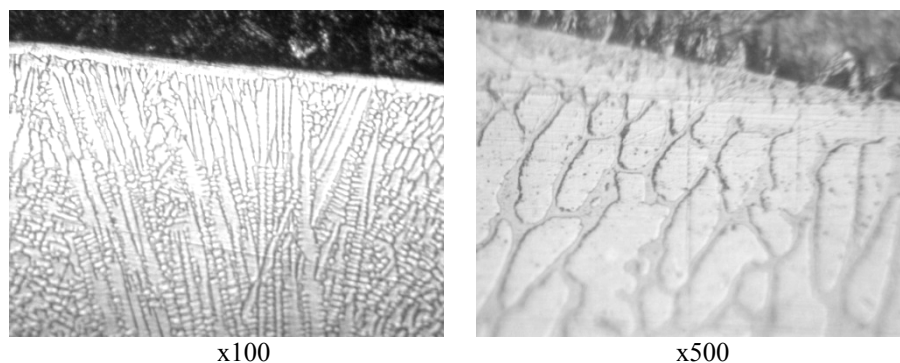


Рис. 7. Структура стандартного образца слоя плазменно-порошковой наплавки смеси ПС-12НВК с добавлением 1,5% вес. Ультрамелкодисперсного порошка Al_2O_3

Измерение твердости поверхности образцов показали, что введение порошка Al_2O_3 снижает твердость относительно стандартной наплавки, имеющей твердость 62-64HRC до 57-59HRC.

С целью определения характера изменения структуры и свойств антифрикционного сплава ПГ-19М-01 при введении ультрамелкодисперсного порошка Al_2O_3 способом плазменно-порошковой наплавки наплавляли слой бронзы стандартного состава, структура, которого представлена на рис. 8

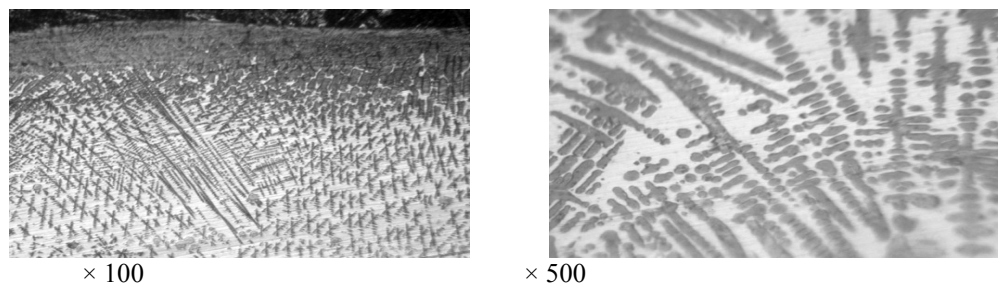


Рис. 8. Структура слоя плазменно-порошковой наплавки материала ПГ-19М-01

Микротвердость наплавленного слоя составляет $H_{\square 50} = 229 - 236 \text{ кгс/мм}^2$. Измерение микротвердости наплавленного металла проводилось с использованием микротвердомера ПМТ-3, нагрузкой 50 гс в соответствии с ГОСТ 9450.

С целью изменения условий кристаллизации слоя бронзы, в процессе наплавки (режимы наплавки не изменялись) в низкотемпературную (хвостовую) часть ванны расплавленного антифрикционного сплава вводили порошок Al_2O_3 [3].

При наплавке образцов вводили Al_2O_3 в качестве модификатора. На рис. 9 представлены изменения структуры слоя в результате введения в расплав 1,5% ультрамелкодисперсных частиц Al_2O_3 .

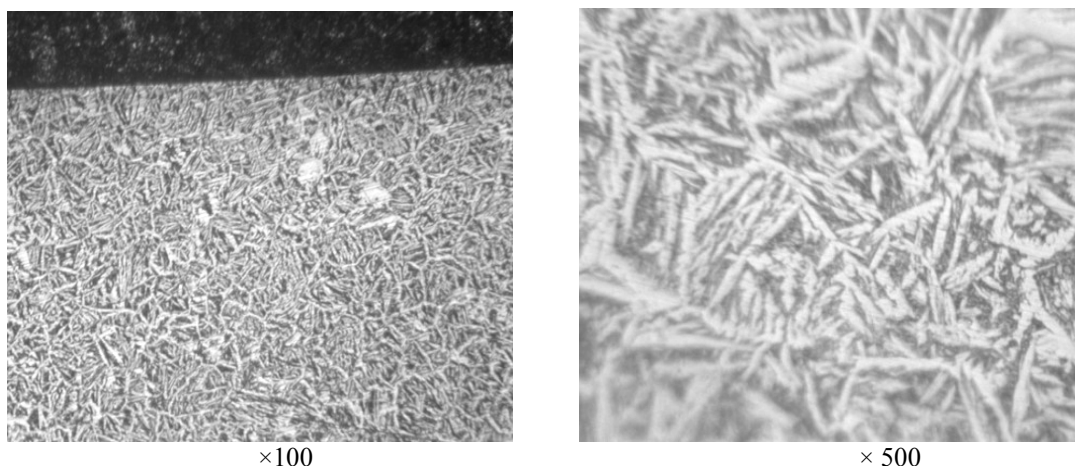


Рис. 9. Изменения структуры слоя выполненного способом плазменно-порошковой наплавки материалом ПГ-19М-01 в результате введения 1,5% ультрамелкодисперсных частиц Al_2O_3

Микротвердость поверхности составляет: светлая фаза $H_{\square 50} = 549-746$ кгс/мм², темная фаза $H_{\square 50} = 500-524$ кгс/мм².

В ходе экспериментальных работ концентрация частиц Al_2O_3 увеличивалась, однако твердость поверхности наплавленных слоев существенно не изменялась. Исследован слой плазменно-порошковой наплавки материала ПГ-19М-01 полученного в результате введения в качестве модификатора 15% частиц Al_2O_3 .

Для установления характера распределения частиц Al_2O_3 выполнена сканирующая электронная микроскопия образца размерами $2 \times 5 \times 0,1$ мм поверхность, которого подготовлена электрохимическим травлением с использованием растрового электронного микроскопа JSM-7500FA. Данные ультрамикротвердометрии получены на оборудовании Нано-Центра Томского политехнического университета Двилисом Э.С.

На рис. 6 а) представлен участок поверхности образца и рис. 10 б) спектрограммы распределения элементного состава образца

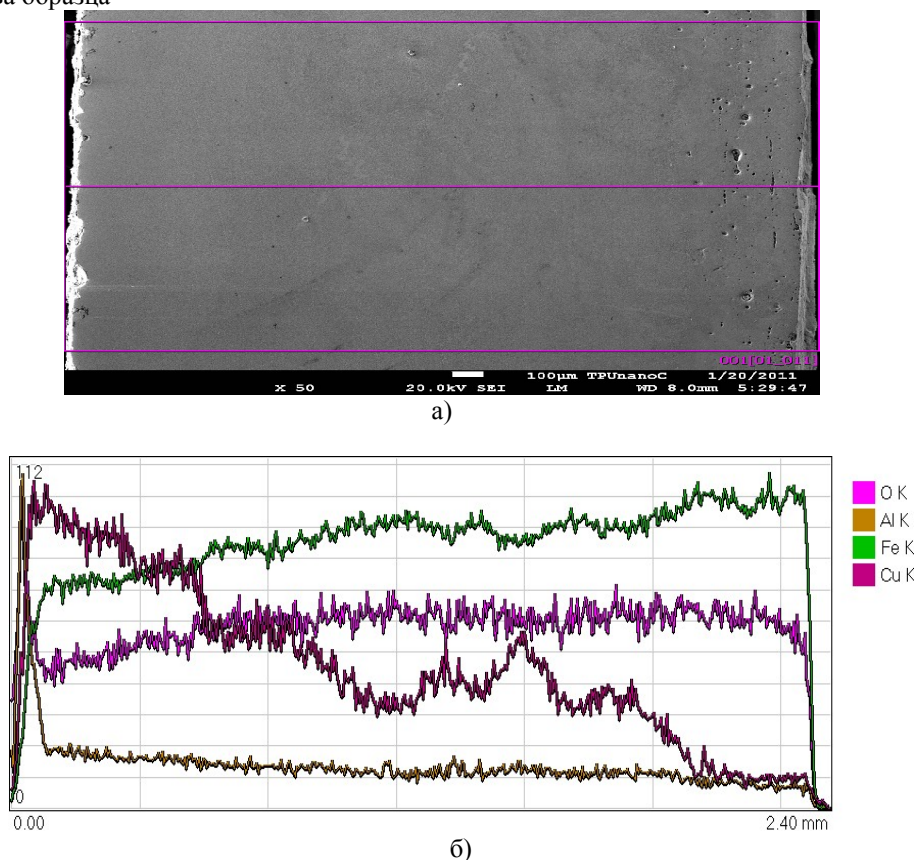


Рис. 10. а) Поверхность образца,
б) спектрограмма, распределения элементов в исследуемой плоскости образца

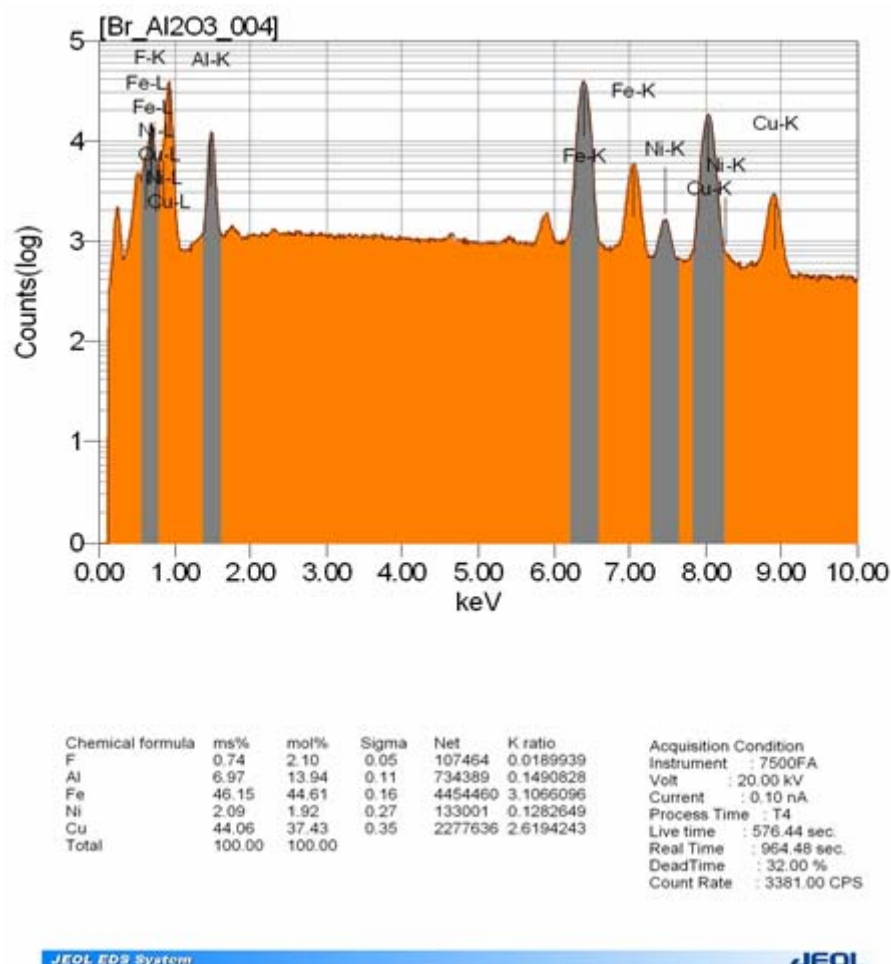


Рис. 11. Количественный элементный состав в исследуемой плоскости образца

На основании данных о распределении элементов и их количестве в исследуемом образце можно предполагать, что частицы Al_2O_3 распределены относительно равномерно. С целью определения микротвердости слоя бронзы модифицированной введением 15% ультрамелкодисперсных частиц Al_2O_3 провели исследование шлифов в виде тонких пленок вырезанных в поперечном сечении образца, после электрохимического травления. Результаты измерения микротвердости поверхности наплавленных образцов представлены ниже.

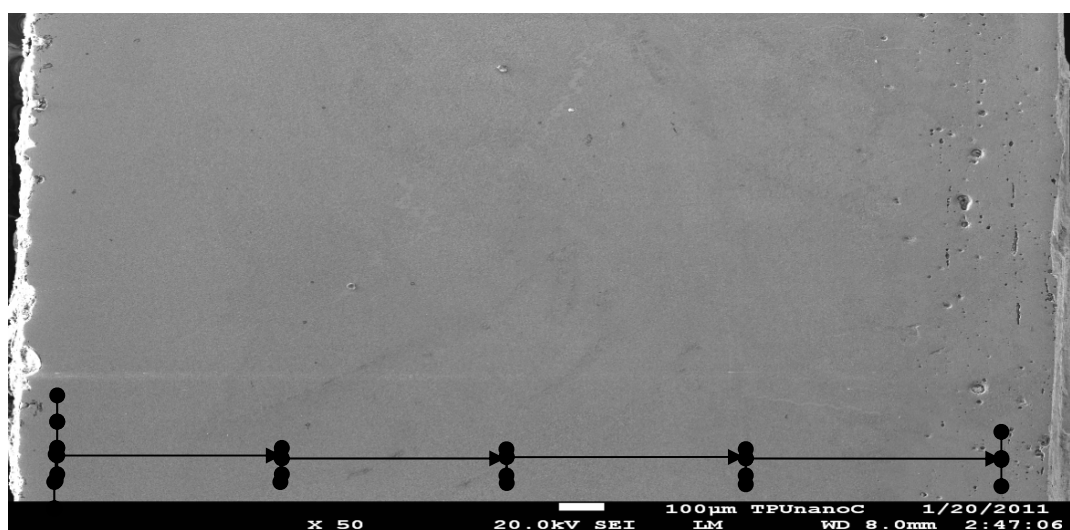


Рис.12. Поверхность пленки и схема измерения ультрамикротвердости

* Принятые обозначения

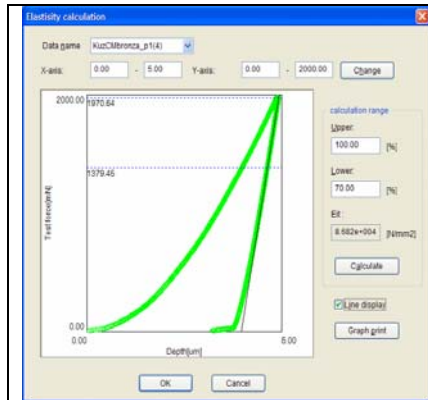
SEQ	Номер измерения
Fmax	Максимальная нагрузка измерения

HV* Твёрдость по Виккерсу ($= 0.0924 \cdot \text{Hit}$)

Average Среднее арифметическое значение по всем измерениям

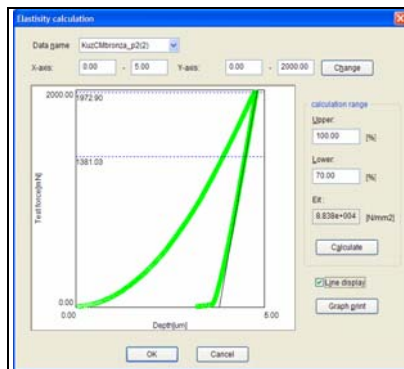
Результаты измерений ультрамикротвердости на участках 1 – 5 рис. 12 соответственно, представлены ниже

1.



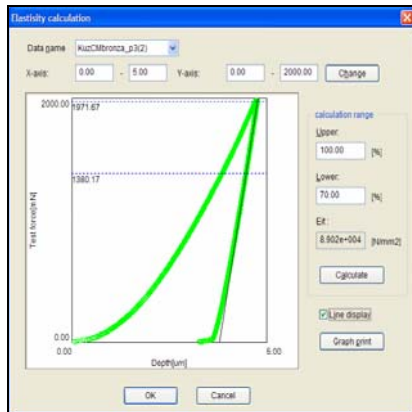
1.SEQ	Fmax [mN]	HV*
1	1968,78	28,066
2	1970,43	423,581
3	1968,92	40,599
4	1970,64	428,034
5	1969,61	413,155
6	1973,3	440,482
Average	1970,28	295,653

2.



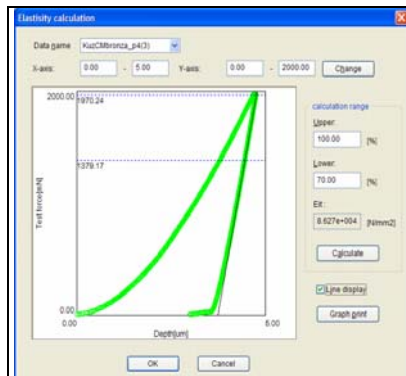
2.SEQ	Fmax [mN]	HV*
1	1972,9	485,618
2	1972,9	461,459
3	1970,65	470,913
Average	1972,15	472,663

3.

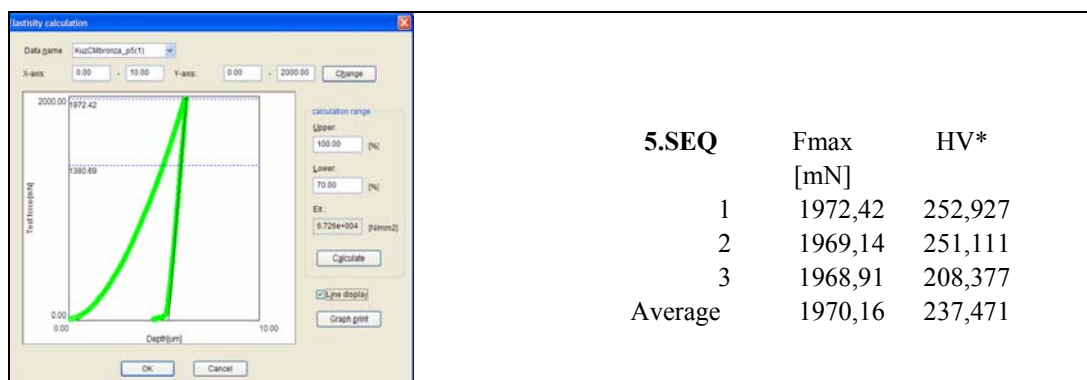


3.SEQ	Fmax [mN]	HV*
1	1969,42	493,115
2	1971,67	465,183
3	1970,45	510,8
Average	1970,51	489,7

4.



4.SEQ	Fmax [mN]	HV*
1	1972,7	487,273
2	1974,54	529,351
3	1970,24	473,94
Average	1972,49	496,855



Наличие включений в зоне сплавления вероятно связано с условиями кристаллизации наплавляемого слоя.

Выводы:

1. Показана возможность модификации слоя бронзы в процессе плазменно-порошковой наплавки ультрамелкодисперсными частицами Al_2O_3 .
2. Результатом модификации является изменение структуры бронзы и значительное повышение твердости наплавленного слоя.
3. Для управления процессом образования структуры и свойствами наплавленного металла необходимо проведение дополнительных исследований *.

ЛИТЕРАТУРА

1. ТУ 2133-001-76634032-2006. Аллюминия оксигидроксид (бемит). – М.: АЛЮМ-Э, 2006. – 18с.
2. Авраамов Ю.С., Шиганов И.Н., Шляпин А.Д. Сварка и модификация поверхности металлических композиционных материалов. – М.: ГИНФО, 2002. -120 с.
3. Соболев В.В., Шпалыгин И.С. Химические и физические свойства окислов. М.: Наука, 1993. 254 с.

УДК 622.512

ДИНАМИКА ЗАТОПЛЕНИЯ ЛИКВИДИРУЕМЫХ ШАХТ КУЗБАССА

П. М. Ларичкин, О. А. Ягунова**, Л. П. Фадеева****

**н.с., к.т.н., СФ ОАО ВНИМИ, г. Прокопьевск; **инж. 3 кат., к.т.н.,
ООО Сибгеопроект, г. Кемерово; ***ст. инж., СФ ОАО ВНИМИ, г. Прокопьевск.*

Аннотация: Приведены метод и результаты анализа динамики процесса затопления ликвидированных шахт Кузбасса.

The method and results of the analysis of dynamics process of flooding the liquidated mines of Kuzbas are resulted.

Основной способ ликвидации шахт Кузбасса – самозатопление. Исследование динамики этого процесса проведено по 15 шахтам, на которых велись регулярные замеры уровня затопления от начала до проектных отметок. Для анализа динамики из всех записей замеров по каждой шахте выделены участки активного процесса затопления шахт (от начальной глубины шахты и до поверхностного дренажного слоя) [1].

Каждая шахта имеет свою глубину и продолжительность активного процесса затопления. Поэтому сопоставление рассматриваемого процесса по всем шахтам произведено в нормированных величинах, то есть глубина h_n и время t_n активного процесса затопления по каждой шахте приведены к интервалу $[0;1]$.

Активный процесс затопления в нормированных величинах в среднем по всем шахтам описывается компактной зависимостью:

$$h_n = 2t_n - t_n^2$$

(1)

Корреляционное отношение аппроксимации составляет 0.82. Выражение (1) можно рассматривать как типовую кривую активного процесса затопления шахт Кузбасса в нормированных величинах глубины и времени.

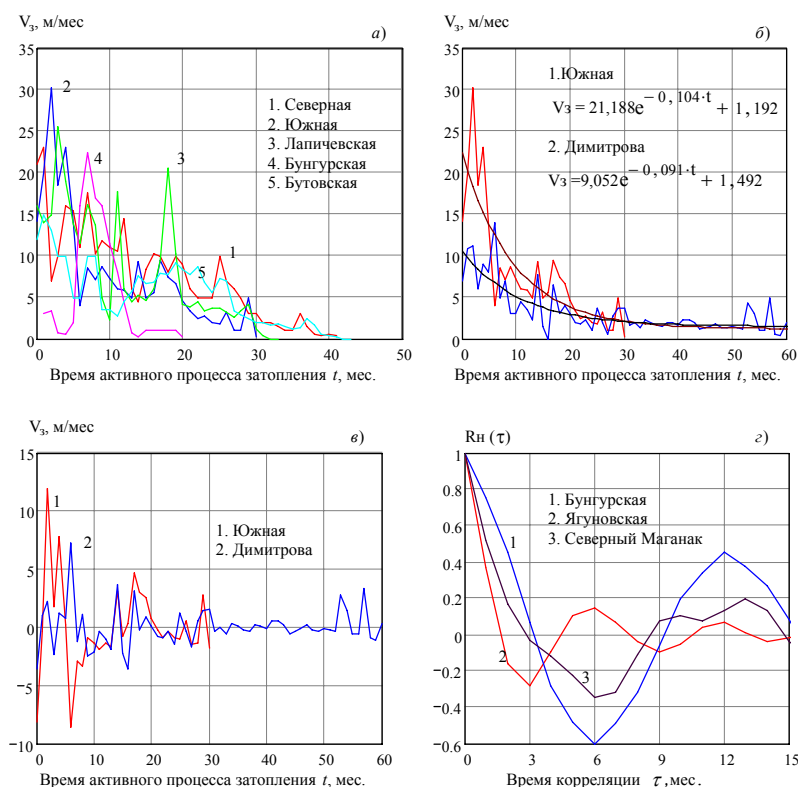


Рис.1. Динамика процесса затопления ликвидированных шахт Кузбасса:

Динамика затопления шахт отражается в скорости затопления. На рис.1а приведены скорости активного процесса затопления нескольких шахт. На всех шахтах скорости во времени имеют колебательный затухающий характер. Дисперсия этих колебаний значительна.

а) скорости активного процесса затопления группы шахт; б) временной тренд скорости затопления шахт; в) колебания скорости затопления после устранения временного тренда; г) автокорреляционные функции скорости активного процесса затопления.

Статистические характеристики скорости затопления приведены в табл.1. Наибольшая величина максимальных скоростей затопления наблюдалась на шахтах Ягуновская, Волкова, Нагорная.

Если на шахте Нагорная максимальная скорость затопления была в самом начале ликвидации шахты, то на шахте Ягуновская она наблюдалась на пятый месяц от начала ликвидации (апрель 1998 г.), а на шахте Волкова – спустя 11 месяцев от начала (июнь 2001 г.). Эти величины определили высокие значения дисперсии колебаний скорости затопления на данных шахтах.

Приведенный в табл.1. коэффициент корреляции характеризует линейную зависимость скорости от времени затопления. Однако снижение скорости во времени активного процесса затопления шахт носит экспоненциальный характер (затухающий временной тренд). Пример приведен на рис. 1б.

Временной тренд описывается зависимостью

$$V_3 = ae^{-bt} + c ;$$

(2)

Для каждой шахты определены коэффициенты а, b, с по методу наименьших квадратов.

Устранив временной тренд, получим колебательный процесс скорости относительно нулевой средней (рис.1в.). Устранение временного тренда по каждой шахте снижает общую дисперсию колебаний скорости от 0,2% (шахта Северный Маганак) до 79,7% (ш. Нагорная).

Таблица 1.

Шахта	Статистические характеристики скорости затопления				
	Максимальная, м/мес.	Средняя м/мес.	Дисперсия (м/мес.) ²	Стандартное отклонение м/мес.	Коэффициент корреляции
1. Северная	23	7,48	31,39	5,6	- 0,87
2. Южная	30,3	7,85	47,17	6,87	- 0,78
3. Лапичевская	25,5	8,05	43,83	6,62	- 0,76
4. Бунгурская	22,5	5,56	46,79	6,84	- 0,32
5. Бутовская	15	5,28	14,45	3,8	- 0,81
6. Волкова	53	7,69	108,08	10,4	- 0,4
7. Ягуновская	61	11,06	252,6	15,89	- 0,6
8. Анжерская	16	2,76	6,4	2,53	- 0,69
9. Красный Углекоп	12,9	3,39	8,86	2,98	- 0,24
10.Димитрова	14	3,03	7,69	2,77	- 0,65
11. ш/у Кольчугинское	23,4	4,61	22,12	4,7	- 0,5
12. Красный Кузбасс	9,3	3,05	5,22	2,29	- 0,65
13. Бирюлинская	17,8	6,74	24,78	4,98	- 0,83
14. Нагорная	45	4,98	82,19	9,07	- 0,54
15. Северный Маганак	26	5,63	42,49	6,52	- 0,26

Колебания скорости затопления относительно нулевой средней (остаточные колебания скорости затопления V_0) можно считать стационарной случайной функцией. Согласно эргодическому свойству вероятностные характеристики стационарных случайных функций можно определять по одной реализации достаточной длины [2]. Выявление случайных и неслучайных составляющих в остаточных колебаниях скорости затопления и оценки соотношений между ними произведено по автокорреляционным функциям для каждой шахты. В общем случае автокорреляционная функция имеет вид:

$$R(\tau) = \frac{1}{T - \tau} \int_0^{T-\tau} V_0(t) V_0(t + \tau) dt$$

(3)

где T - продолжительность активного процесса затопления, мес.; τ - параметр корреляции, мес.

Поскольку замеры затопления производились дискретно, то интеграл в выражении (3) заменяем конечной суммой. Автокорреляционная функция для m значений τ , равных $0, 1, \dots, m$, мес. будет иметь вид:

$$R(\tau) = \frac{1}{T - \tau} \sum_{i=1}^{T-\tau} V_0(t_i) V_0(t_{i+\tau})$$

(4)

При $\tau = 0$ автокорреляционная функция равна дисперсии остаточных колебаний скорости затопления V_0 . Для удобства её анализа вычислим нормированные корреляционные функции по формуле:

$$R_n(\tau) = R(\tau) / R(0)$$

(5)

На рис.1г приведены типичные нормированные корреляционные функции остаточных колебаний скорости активного процесса затопления шахт.

В общем случае корреляционную функцию можно представить в виде:

$$R_n(\tau) = \sum_{i=1}^n D_i \exp(-\alpha_i \tau) + \sum_{j=1}^m D_j \cos(\beta_j \tau) + \sum_{k=1}^z D_k \exp(-\alpha_k \tau) \cos(\beta_k \tau);$$

(6) где первая сумма элементарных функций представляет случайную составляющую исследуемой скорости V_0 , вторая сумма – чисто периодические колебания и третья сумма – смешанную составляющую (затухающие колебания определенной частоты).

Произведена аппроксимация нормированных корреляционных функций $R_n(\tau)$ элементами выражения (6).
Для шахты Нагорная имеем:

$$R_n(\tau) = 0.14 \cos(0.5\tau) + 0.04 \cos(1.6\tau) + 0.82e^{-0.82\tau}$$

(7)

Анализ выражения (7) показывает, что 82% остаточной дисперсии обусловлено случайными колебаниями и 18% – не случайными (периодическими с круговой частотой 0,5 и 1,6 1/мес.). Случайная составляющая имеет значительный коэффициент затухания $\alpha = 0,8$, что свидетельствует об отсутствии корреляционной зависимости между интервалами наблюдений процесса затопления во времени.

По круговым частотам β не случайных составляющих определим периоды колебаний:

$$T_k = 2\pi / \beta; \quad T_{k1} = 2\pi / 0,5 = 12,5 \text{ мес.}; \quad T_{k2} = 2\pi / 1,6 = 3,9 \text{ мес.}$$

Это значит, что ежегодные весенние паводки и сезонные осадки оказывают влияние на колебания скорости затопления шахт. Для большинства шахт рассчитанные корреляционные функции удовлетворительно аппроксимируются выражением:

$$R_n(\tau) = D_1 e^{-\alpha_1 \tau} + D_2 \cos(\beta_2 \tau) + D_3 \cos(\beta_3 \tau)$$

(8)

Параметры аппроксимации приведены в табл. 2, анализ которой показывает, что от 40 до 87% (среднее 68,8%) дисперсии скорости затопления шахт вызваны случайными колебаниями с большим коэффициентом затухания α_1 .

Таблица 2.

Шахта	Параметры аппроксимации корреляционной функции					
	D_1	α_1	D_2	β_2	D_3	β_3
1. Северная	0,85	-5	0,1	1,6	0,05	2,3
2. Южная	0,7	-3	0,2	0,51	0,1	1,9
3. Лапичевская	0,6	-5	0,25	0,55	0,15	1,67
4. Бутовская	0,5	-0,9	0,4	0,29	0,1	1,1
5. Волкова	0,75	-3	0,2	0,45	0,05	2,3
6. Анжерская	0,87	-0,9	0,08	0,26	0,05	1,4
7. Красный Углекоп	0,7	-1	0,25	0,45	0,05	2,3
8. Димитрова	0,65	-4	0,25	0,5	0,1	1,6
9. ш/у Кольчугинское	0,82	-3,9	0,1	0,6	0,08	1,75
10. Красный Кузбасс	0,6	-3	0,3	0,55	0,1	2,3
11. Бирюлинская	0,4	-2	0,5	0,51	0,1	2,09
12. Нагорная	0,82	-0,8	0,14	0,5	0,04	1,6

На неслучайные периодические колебания с круговыми частотами 0,45 – 0,6 1/мес. (среднее 0,51 1/мес.), обусловленными весенними паводками, приходится в среднем 22,3% дисперсии колебаний скорости затопления шахт. Исключение составляют шахты Анжерская и Бутовская где в корреляционных функциях наблюдаются неслучайные колебания с двухгодичным периодом. Если на ш. Анжерская их доля в общей дисперсии колебаний всего 8%, то на ш. Бутовская она составляет 40%. Периодические колебания с частотами 1,1 – 2,3 1/мес. (среднее 1,84 1/мес.) обусловлены сезонными изменениями водопритока в шахты и составляют в среднем 8,9% от общей дисперсии остаточных колебаний скорости затопления шахт.

Нормированные корреляционные функции скорости затопления шахт Бунгурская, Ягуновская и Северный Маганак аппроксимируются выражением:

$$R_n(\tau) = D_1 e^{-\alpha_1 \tau} + D_2 e^{-\alpha_2 \tau} \cos(\beta_2 \tau) + D_3 \cos(\beta_3 \tau)$$

(9)

На ш. Ягуновская дисперсия колебаний скорости затопления формируется в основном периодическими затухающими колебаниями с полугодовым периодом (55%) и случайными колебаниями (43%). А 2% дисперсии приходится на сезонные колебания скорости затопления. На шахте Бунгурская дисперсия колебаний скорости

затопления на 80% сформирована затухающими периодическими колебаниями с годичным периодом, на 18% случайными колебаниями и 2% - сезонным влиянием. Шахта затоплена на 70% в весенне-летний период. На ш. Северный Маганак аналогичные доли дисперсии составляют: 55%, 37% и 8%.

Полагая, что динамика водопритока в действующие шахты аналогична рассмотренным, то при разработке технических решений по водоотливу можно использовать результаты приведенных исследований.

Литература:

Руководство по проведению мониторинга подземных вод и прогнозу изменения гидрогеологических условий при затоплении ликвидированных шахт Кузбасса. СФ ВНИМИ. Кемерово, 2008. – 76 с.

Вентцель Е.С. Теория вероятностей. Наука, М., 1964. -- 576 с.

УДК 622.33.013.3

О ПРИМЕНИМОСТИ ТЕОРИИ ХАББЕРТА ДЛЯ ОЦЕНКИ ПРЕДЕЛЬНЫХ ОБЪЕМОВ ДОБЫЧИ УГЛЯ В КУЗНЕЦКОМ УГОЛЬНОМ БАССЕЙНЕ

В.Н. Опарин, директор ИГД СО РАН, член-корр. РАН

А.А. Ордин, зав. лаб. подземной разработки угольных месторождений, д.т.н.

Институт горного дела СО РАН, Красный пр., 54, 630091, г.Новосибирск

В основе теории К. Хабберта лежат достаточно простые предпосылки, суть которых заключается в следующем [1]. В начале эксплуатации нефтяного месторождения объемы добычи нефти в первый период незначительны, так как количество эксплуатационных скважин пока еще невелико и недостаточно развита необходимая инфраструктура (сеть дорог и нефтепроводов, склады, мастерские и др.). Со временем объемы добычи нефти в регионе возрастают и в определенный момент времени достигают своего пика. Далее, по мере истощения запасов нефти, объемы ее добычи неуклонно падают. Таким образом, суммарный объем добычи нефти имеет вид логистической кривой от времени, первая производная от которой представляет собой «колоколообразную» зависимость годовых темпов изменения добычи (рис.1).

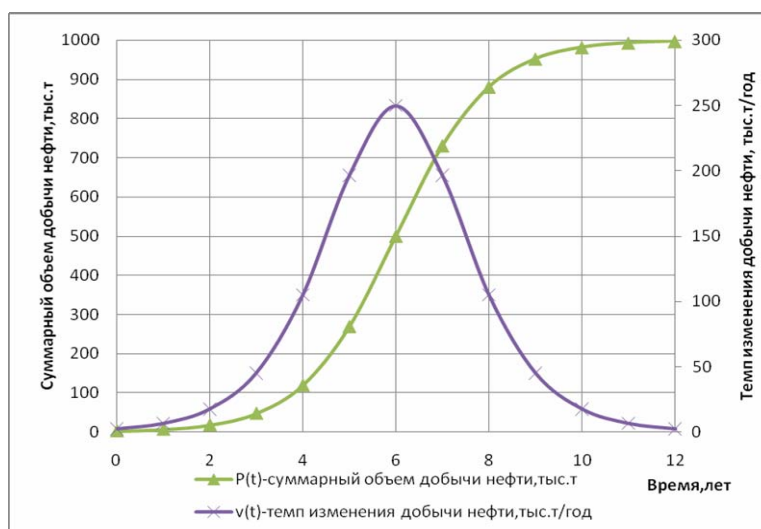


Рис. 1. Логистическая и «колоколообразная» кривые Хабберта для прогнозирования нефтедобычи

К. Хабберт использовал данный подход для предсказания пика добычи нефти в континентальной части США в 1965-1970 гг. Как известно, пик добычи нефти в США был достигнут в 1971 г., а затем произошел спад нефтедобычи. Успешное предсказание этого спада нефтедобычи послужило причиной известности применения циклов Хабберта в мире. Однако, дальнейшее предсказание пика нефтедобычи в 1995-2000 гг., выполненное К.Хаббертом в 90-е годы, не оправдалось – спада нефтедобычи в 2000 г. в мире не произошло. По этой причине использование теории Хабберта для предсказания пика добычи полезных ископаемых является, по мнению многих исследователей, спорным.

Тем не менее, в 2010 г. американские исследователи Т. Пацек из Техасского университета и Г. Крофт из Калифорнийского колледжа, основываясь на циклах Хабберта, утверждали, что дальнейший рост угледобычи в мире невозможен [2]. В настоящее время в мире добывается около 7 млрд. т угля и увеличение добычи угля до 8 млрд.т, по мнению Т. Пацека, является мечтой. Основным аргументом при этом является не истощение мировых

запасов угля, а трудность их освоения. Разработка новых угольных месторождений в труднодоступных местах, например, к северу от хребта Брукс на Аляске проблематична в связи с большими вложениями инвестиций в инфраструктуру угольных разработок (строительство морских терминалов для отгрузки угля, сети железных и автомобильных дорог, обогатительных фабрик и т.д.). С похожими проблемами логистики сталкивается Россия при освоении труднодоступных угольных месторождений Сибири, а также Китай и другие страны.

В то же время существуют противоположные мнения экспертов угледобывающей отрасли и экономистов. Эти мнения, прежде всего, связаны с достаточно большим объемом разведанных запасов угля. Так, только в США разведанных запасов угля 260 млрд. т хватит более чем на 200 лет при современном уровне добычи угля около 1,0 млрд.т. Россия занимает второе место в мире после США по запасам угля. Разведанные запасы угля по состоянию на 2010 г. составляют 193,3 млрд.т, а прогнозные ресурсы – 3816,7 млрд.т. При существующем объеме добычи угля в России 320 млн.т/год этих запасов угля хватит более чем на 500 лет.

Таким образом, в настоящее время существует два взгляда к оценке перспектив развития угледобывающей промышленности в мире: 1) пессимистический, основанный на циклах Хабберта и труднодоступности новых угольных месторождений, 2) оптимистический, основанный на значительных разведанных запасах угля и современных тенденциях интенсивного роста объемов угледобычи и производительности труда шахтеров.

Статистический анализ [5-8] показывает, что в последние годы объемы добычи угля в Кузбассе, также как и в мире, стремительно возрастают (табл.). Так, с 1995 по 2010 гг. объем добычи угля на шахтах и разрезах Кузбасса вырос в два раза: с 93.5 до 185 млн. т/год. Анализ ежегодных темпов изменения добычи угля на шахтах и разрезах Кузбасса в период с 1995 по 2010 гг. позволяет построить графики этих зависимостей, приведенные на рис.2. Как видно, реальная зависимость от времени годовых темпов добычи угля в Кузбассе носит циклический, колебательный характер и весьма далека от «колоколообразной» кривой Хабберта.

Таким образом, реальная динамика изменения темпов добычи угля в Кузбассе не дает оснований для применения «колоколообразных» зависимостей темпов изменения добычи угля в бассейне и, соответственно, теории Хабберта в том виде, в каком она была предложена для прогнозирования объемов нефтедобычи.

С аналогичными проблемами оценки перспективы развития угольной отрасли столкнулась Администрация Кемеровской области в 2009 г., когда была поставлена фундаментальная задача обоснования предельных объемов добычи угля в Кузнецком угольном бассейне с учетом основных ограничивающих факторов: технологических, сейсмических, транспортных, экологических, энергетических, демографических. Эта задача поставлена в настоящее время перед институтами СО РАН.

С целью определения предельных объемов добычи угля на шахтах и разрезах Кузбасса предлагается два вида моделей: дискретная многовариантная и динамическая лаговая модели.

В рамках стандартных общепринятых моделей нелинейного программирования общая постановка задачи экономической оценки стратегии развития открытых и подземных горных работ на существующих и строящихся предприятиях в бассейне заключается в максимизации суммарного чистого дисконтированного дохода за расчетный период T в дискретной форме:

$$\sum_{t=1}^T \left(\sum_{i=1}^{N_p^D} \frac{F_{ii}^P(A_{ii}^P)}{(1+E)^t} + \sum_{i=1}^{N_o^D} \frac{F_{ii}^O(A_{ii}^O)}{(1+E)^t} + \sum_{i=1}^{N_p^N} \frac{F_{ii}^P(A_{ii}^P)}{(1+E)^t} + \sum_{i=1}^{N_o^N} \frac{F_{ii}^O(A_{ii}^O)}{(1+E)^t} \right) \rightarrow \max, \quad (1)$$

при выполнении ограничений по факторам: геомеханическим ($j = 1$), геотехнологическим ($j = 2$), транспортным ($j=3$), экологическим ($j = 4$), энергетическим ($j = 5$), социальным ($j=6$), сейсмическим ($j=7$), а также по ежегодным инвестиционным ограничениям на капитальное строительство и реконструкцию шахт и разрезов:

$$\sum_{i=1}^{N_p} A_{ii}^P + \sum_{i=1}^{N_o} A_{ii}^O \leq A_{jt}(K_{jt}) \quad j = \overline{1,7} \quad t = \overline{1,T} \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^7 K_{jt} \leq K_t, \quad t = \overline{1,T} \quad (3)$$

где $N_p^D, N_o^D, N_p^N, N_o^N$ – соответственно количество действующих и новых строящихся шахт и разрезов в бассейне в расчетный период, $F(A)$ – функциональные зависимости чистого дисконтированного дохода от объема добычи угля на действующих и новых шахтах и разрезах, K_{jt}, K_t – соответственно планируемые суммарные инвестиции по j -му фактору в t -й год и действующие ограничения в t -й год на капиталовложения по бассейну.

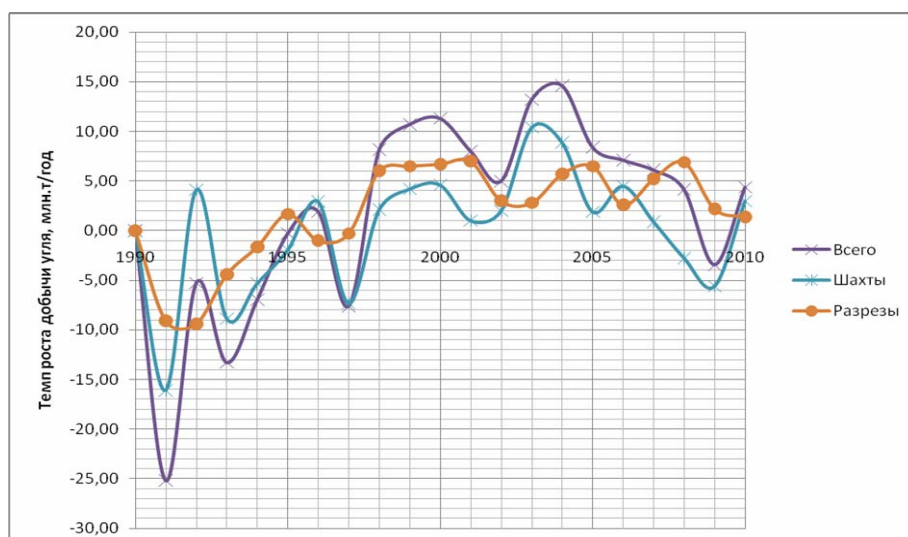


Рис. 2. Циклическая динамика темпов изменения годовых объемов добычи угля в Кузбассе

Спецификой постановки задачи здесь является представление ограничений (2,3) в нежесткой форме, то есть ограничения на проектные мощности шахт и разрезов могут в той или иной мере сниматься в зависимости от вложения инвестиций на их преодоление, например, на расширение пропускных способностей железнодорожных станций, на уменьшение экологических проблем и т.д.

Решение задачи (1) с учетом ограничений (2, 3) предусматривает выполнение проектных работ по расчету и технико-экономической оценке вариантов расширения угледобычи как на новых участках месторождений, так и на действующих шахтах и разрезах.

В настоящее время в Кузбассе действуют 55 шахт и 41 угольный разрез. Общие балансовые запасы угля на действующих горнодобывающих предприятиях по состоянию на 2006 г. составляют 12,7 млрд.т, из них 8,5 млрд.т на шахтах и 4,2 млрд.т – на разрезах.

Если представить, что для каждого горнодобывающего предприятия требуется рассмотреть как минимум 3-5 вариантов его развития (ликвидация предприятия, снижение производственной мощности, сохранение существующей мощности и хотя бы два варианта реконструкции с расширением производственной мощности), то решение задачи (9) полным перебором потребует рассмотрения более 8 миллиардов вариантов: $965 = 8153726976$. Технически, на современных компьютерах такой расчет возможен, но для решения задачи необходимо предварительно выполнить проектные работы по всем 96 предприятиям в многовариантной постановке. Это практически неосуществимо, так как потребуются весьма значительные расходы на проектирование такой детальной генеральной схемы развития угледобывающих предприятий в бассейне, в чем частные собственники шахт и разрезов мало заинтересованы.

Таким образом, решить поставленную задачу обоснования предельных объемов добычи угля в бассейне только на действующих предприятиях в дискретной форме, в виде многовариантного проектирования и многопараметрической оптимизации, практически, невозможно. И этот пессимистический вывод следует даже без учета возможного строительства новых шахт и разрезов.

Для решения поставленной задачи предлагается использовать разработанные в ИГД СО РАН лаговые модели оптимизации проектной мощности горнодобывающего предприятия [3-7]. В основе этой методики находится обоснование оптимальной проектной мощности шахты по критерию максимума чистого дисконтированного дохода (ЧДД или NPV – Net Present Value) за срок службы (горизонта) шахты с учетом экономического ущерба от «замораживания» инвестиций в период ее строительства.

На наш взгляд, все закономерности лагового моделирования для оптимизации проектной мощности шахты, изложенные в работах [3-5], можно перенести и на угольный бассейн, если вместо проектной мощности отдельной шахты или разреза использовать суммарные оптимизируемые объемы добычи угля подземным и открытым способами. В таком случае, можно построить аналогичные асимптотические кривые оптимальных объемов добычи угля подземным и открытым способами в бассейне от запасов угля [7].

Рассмотрим эту же задачу в укрупненной форме, в лаговой постановке. Представим строительный лаг в зависимости от планируемых объемов добычи угля (V) и скорости строительства или темпов (δV_i) ввода производственных мощностей горнодобывающих предприятий в виде:

$$T_i(V_i) = \tau_i V_i = \frac{V_i}{\delta V_i}, \quad (i = 1, 2) \quad (4)$$

где t_i – среднее время, необходимое для ввода в эксплуатацию единичной производственной мощности горнодобывающего предприятия, лет/млн.т, δV_i – средний темп годового роста добычи угля в бассейне соответственно при подземном и открытом способах разработки, млн.т/год.

Будем использовать в качестве критерия оптимальности максимум чистого дисконтированного дохода в зависимости от двух переменных: суммарных оптимизируемых объемов добычи угля подземным (V_p) и открытым (V_o) способами в бассейне. Целевая функция в динамической лаговой постановке выглядит следующим образом:

$$P(V_p, V_o) = \frac{(s_p - c_p)V_p}{E(1+E)^{\frac{V_p}{\delta V_p}}} - r_p \delta V_p \left(1 - (1+E)^{-\frac{V_p}{\delta V_p}} \right) + \frac{(s_o - c_o)V_o}{E(1+E)^{\frac{V_o}{\delta V_o}}} - r_o \delta V_o \left(1 - (1+E)^{-\frac{V_o}{\delta V_o}} \right) \rightarrow \max,$$

(5)

при ограничениях:

$$V_p + V_o \leq V_j(K_j), \quad (j = 1, \dots, 7)$$

где V_p, V_o – оптимизируемые объемы добычи угля соответственно на разрезах и шахтах; s_p, s_o – средние оптовые цены на угля соответственно по разрезам и шахтам, c_p, c_o – средние себестоимости добычи угля (без реновационных отчислений) соответственно по разрезам и шахтам; r_p, r_o – удельные капиталовложения на строительство горнодобывающих предприятий соответственно по шахтам и разрезам; $\delta V_p, \delta V_o$ – средние темпы изменения годовых объемов добычи угля на разрезам и шахтах;

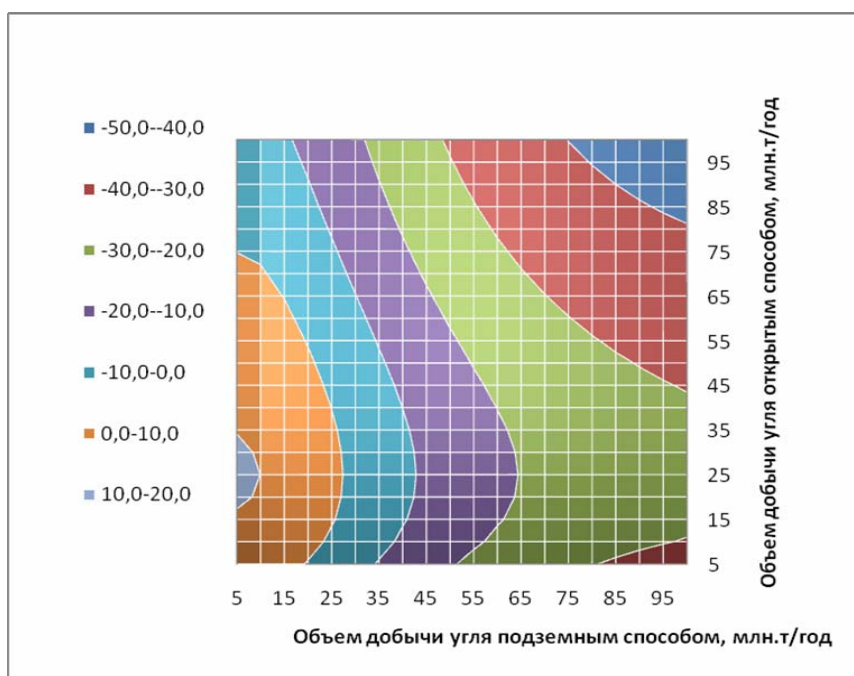


Рис. 3. Изолинии чистого дисконтированного дохода (млрд.руб.) от предельных приращений объемов добычи угля подземным и открытым способами в Кузбассе

$V_j(K_j)$ – «нежесткие» ограничения по объемам добычи угля в зависимости от планируемых инвестиций (K_j) на их преодоление (по транспортным, экологическим и другим ограничениям).

Задача (5) относится к классу динамических нелинейных задач с лаговыми переменными и «нежесткими» ограничениями. Как видно, по структуре целевая функция представляет собой разновидность показательной функции вида:

$y = ax / b^{c+dx}$, имеющей максимум в точке: $x = 1/(d \ln b)$ [3]. Для решения задачи даже в таком общем виде требуется наличие значительной базы исходной горно-геологической, технической, экономической, экологической и другой информации по бассейну. Фактически же, задачу (11) следует в дальнейшем детализировать в виде более сложного функционала, зависящего от конкретных параметров планируемых объектов строительства, с предварительной проектной проработкой альтернативных вариантов (строительства предприятий на новых месторождения или их реконструкции на действующих участках), с расчетами по целесообразности расширения пропускных способностей действующих железнодорожных станций и узлов, с прогнозными оценками экологических и демографических ограничений и др.

Для построения карты изолиний чистого дисконтированного дохода (5) нами проведена статистическая обработка фактических технико-экономических показателей добычи угля на 55 шахтах и 41 разрезе Кузбасса в период с 1995 по 2010 гг. Результаты решения задачи численными методами показаны на рис.2. Анализ решения задачи показывает, что целевая функция (5) имеет максимум относительно прироста добычи угля подземным и открытым способами, которые составляют: подземным способом - до $5 \div 10$ млн.т/год, открытым способом - до $20 \div 30$ млн.т/год.

Таким образом, предельный оптимальный прирост объема добычи угля в Кузбассе составляет 25-40 млн.т/год. Учитывая современный уровень добычи угля в бассейне (185 млн.т/год) общий предельный объем добычи угля открытым и подземным способами, по нашим предварительным расчетам, не должен превышать 210-225 млн.т/год. Безусловно, полученное решение предельного объема добычи угля в Кузбассе является ориентировочным, его необходимо в дальнейшем конкретизировать с учетом действия основных ограничений. Логично предположить, что введение в расчет ограничений может только снизить полученные значения предельных объемов добычи угля в Кузбассе.

Таким образом, логистическая кривая, использованная К. Хаббертом в осях координат «суммарная нефтедобыча - время» с ее экспоненциальным развитием в начале эксплуатации нефтяного месторождения и характерным насыщением при исчерпании ресурсов, в принципе, может описывать динамику развития добычи полезных ископаемых для любых месторождений, в том числе и для угольных бассейнов. Однако, статистический анализ реальной динамики изменения темпов добычи угля в Кузбассе не дает оснований для применения «колоколообразных» зависимостей темпов изменения добычи угля в бассейне и, соответственно, теории Хабберта в том виде, в каком она была предложена для прогнозирования объемов нефтедобычи. Фактическая динамика изменения годовых объемов добычи угля в Кузбассе подземным и открытым способами носит циклический, колебательный характер.

Для решения фундаментальной стратегической задачи оптимизации развития добычи угля в бассейне рекомендуется использовать лаговые модели, отличающиеся от стандартных критериев оптимальности учетом влияния инвестиционного периода на рентабельность производства. В результате лагового моделирования нами доказано существование асимптотической зависимости оптимальных объемов добычи угля подземным и открытым способами от запасов угля в Кузбассе. В результате решения задачи безусловной лаговой оптимизации определены, в первом приближении, предельные объемы добычи угля в Кузбассе подземным и открытым способами (210-225 млн.т/год), при которых целевая функция чистого дисконтированного дохода с учетом экономического ущерба от «замораживания» инвестиций в период строительства шахт и разрезов достигает максимума.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Hubbert, M. King. (1956) Nuclear Energy and the Fossil Fuels. Представлено на весенней конференции Южного отделения Американского института нефти, отель Плаза, Сан Антонио, Техас, Март 7-8-9, 1956.

Интернет: <http://www.inopressa.ru/nytimes/2010/09/30/15:56:00/coal>.

Опарин В.Н., Ордин А.А. О теории Хабберта и предельных объемах добычи угля в Кузнецком угольном бассейне. ФТПРПИ, № 2, Новосибирск, 2011.с.121-135.

Ордин А.А. Динамические модели оптимизации проектной мощности рудника. - Новосибирск: ИГД СО РАН, 1991.

Ордин А.А., Клишин В.И. Оптимизация технологических параметров горнодобывающих предприятий на основе лаговых моделей. - Новосибирск: Наука, 2009.

Курленя М.В., Ордин А.А. Об убывающей предельной эффективности разработки месторождений полезных ископаемых // ФТПРПИ. 1998. - № 4.

Ордин А.А. К оценке предельных объемов добычи руды в Кузбассе на основе лагового моделирования / Сб. трудов XII Международной научно-практической конференции «Энергетическая безопасность России: новые подходы к развитию угольной промышленности». - Кемерово, 2010.

Косов В.В., Лившиц В.Н., Шахназаров А.Г. и др. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов. - М.: Экономика, 2000.

Капутин Ю.Е. Информационные технологии и экономическая оценка горных проектов.- Санкт-Петербург: Недра, 2008.

АННОТАЦИЯ

Приведены сведения о теории Хабберта и сделан анализ возможности ее применения для описания динамики добычи угля в Кузбассе. Изложена методика обоснования предельных объемов добычи угля в бассейне на основе лагового моделирования. Приведены предварительные результаты оценки предельных объемов добычи угля в Кузбассе по критерию максимума чистого дисконтированного дохода в постановке динамической задачи безусловной оптимизации.

Теория Хабберта, асимптота, логистическая кривая, предельные объемы добычи угля, оптимизация, проектная мощность, чистый дисконтированный доход

ABSTRACT

The information about K.Hubbert theory and analysis of the possibility of its using for description coal mining dynamic in Kuzbass are made. The methods of the motivation of the limiting volumes of coal mining in basin on base lag-time modeling are looking here. The preliminary results of the estimation of limiting coal mining in Kuzbass by criterion of the maximum NPV are given in lag-time modeling as task of unconditional optimization.

Hubbert theory, asymptote, logistical curve, limiting volume of coal mining, optimization, design capacity, net present value

УДК 622.33.013.3

К ОЦЕНКЕ ПРЕДЕЛЬНЫХ ОБЪЕМОВ ДОБЫЧИ УГЛЯ В КУЗБАССЕ НА ОСНОВЕ ЛАГОВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

А. А. Ордин, Институт горного дела СО РАН, г. Новосибирск

Аннотация

В статье изложена постановка задачи лагового моделирования предельно-оптимальных объемов добычи угля в Кузбассе. В качестве критерия оптимальности поставленной задачи используется максимум чистого дисконтированного дохода с учетом экономического ущерба от замораживания инвестиций в период строительства шахты. Изложена концепция убывающей предельной эффективности отработки месторождений полезных ископаемых. Приведены основные результаты лагового моделирования предельно-оптимальных объемов добычи угля в Кузбассе подземным и открытым способом.

Ключевые слова: лаговое моделирование, максимум чистого дисконтированного дохода, горнодобывающее предприятие, объем добычи угля, подземный и открытый способы добычи угля.

Общая постановка задачи

Общие геологические запасы угля в Кузбассе весьма значительны и до разведанной глубины 600 м составляют 218 млрд.т. На Государственном балансе в настоящее время находится 57,0 млрд.т углей, в том числе 42,8 млрд.т коксующихся углей, из них 25,4 млрд.т дефицитных марок. На действующих шахтах и разрезах Кузбасса балансовые запасы угля категорий А, В, С1 составляют 12,8 млрд.т, в том числе энергетических углей – 7,8 млрд.т и коксующихся – 5,0 млрд.т. В том числе балансовые запасы угля на действующих шахтах составляют 8,507 млрд. т, на разрезах – 4,285 млрд.т. Извлекаемые промышленные запасы угля на шахтах Кузбасса по данным Росинформугля составляют в 2,738 млрд. т [1-3].

За период 2004-2008 гг. по итогам конкурсов и аукционов выданы лицензии и предоставлено право добычи угля недропользователям на 81 новых участках угольных месторождений с прогнозными ресурсами 8 млрд.т, из которых около 3 млрд.т пригодно для добычи открытым способом. По предварительным проектным проработкам на этих участках в период 2015-2020 гг. планируется ввести в эксплуатацию горнодобывающие предприятия общей производственной мощностью около 100 млн.т/год, из них открытым способом будет добываться 38 млн.т/год.

Однако, начиная с августа 2008 г. в связи с мировым кризисом и уменьшением поставок коксующихся углей в металлургическую промышленность отпускные цены на уголь резко падают при одновременном увеличении себестоимости добычи угля (рис.1). С августа по декабрь 2008 г. средняя себестоимость добычи угля в Кузбассе выросла на 9,5%, цена угля снизилась на 65%, а прибыль уменьшилась на 480%! В результате кризиса ряд горнодобывающих предприятий в Кузбассе становятся нерентабельными и объемы добычи угля с сентября 2008 г. сокращаются.

Тем не менее, во второй половине 2009 г. происходит стабильный подъем экономических показателей добычи угля в Кузбассе. Общий объем добычи угля в 2009 г. достиг 181,3 млн.т, что всего на 3 млн.т меньше чем в 2008 г.

В разработанной стратегии социально-экономического развития Кемеровской области [4-5] намечено развития добычи угля в Кузбассе до 250-270 млн.т/год в 2025-2030 гг. Существующие технологии и разведанные запасы угля на новых участках месторождений, в принципе, позволяют развить угледобычу до этих значений. Однако, указанный объем добычи угля недостаточно обоснован экономически и остается неясным, каковы же должны быть допустимые предельные объемы добычи угля в Кузбассе, при которых соблюдаются наиболее важные ограничения (технологические, транспортные, экологические и др.). Такая задача поставлена Администрацией Кемеровской области и для ее решения разработана программа СО РАН научного и технологического обеспечения социально-экономического развития Кемеровской области», утвержденная постановлением Президиума СО РАН и Администрацией Кемеровской области от 03.02.2009 г.

Для решения поставленной задачи предлагается использовать разработанные в ИГД СО РАН лаговые модели оптимизации проектной мощности горнодобывающего предприятия [6-7]. В основе этой методики находится обоснование оптимальной проектной мощности шахты по критерию максимума чистого дисконтированного дохода (ЧДД, за рубежом этот критерий называется NPV – Net Present Value) за срок службы

(горизонта) шахты с учетом экономического ущерба от замораживания инвестиций в период ее строительства [8-9].

Основные закономерности и подходы к решению задачи

Существующие методы оценки эффективности инвестиций [8] основаны на анализе чистого дисконтированного дохода (NPV), получаемого предприятием за расчетный период (Т), обычно принимаемый равным 15-20 лет:

$$P = \sum_{t=1}^T \frac{p_t A_t}{(1+E)^t} = \sum_{t=1}^T \frac{(s_t - c_t^* - k) A_t}{(1+E)^t}, \quad (1)$$

где p_t – удельный чистый дисконтированный доход, получаемый предприятием в t -ом году, определяемый разностью между оптовой ценой (s_t) продукции, себестоимостью (c_t^*) производства без реновационных отчислений и удельными капиталовложениями (k), A_t – объем производства в t -ом году, E – норма дисконта.

Недостатком такой постановки является отсутствие в модели (1) лагового фактора, оценивающего экономический ущерб от замораживания инвестиций в период строительства предприятия. Так как предприятие начинает эксплуатироваться не в первый год, а после окончания строительства, то необходимо сдвинуть на этот период оценку эффективности дисконтированного дохода, то есть ввести в нижний предел суммирования критерия (1) строительный лаг. Результатом такого сдвига является перенос в будущее и снижение за счет эффекта дисконтирования будущих доходов предприятия. Таким образом, строительный лаг учитывается подстановкой в формулу (1) функциональной зависимости срока строительства от мощности предприятия $T_c(A)$:

$$P(A) = \sum_{t=T_c(A)+1}^{T_c(A)+T} \frac{p_t A_t}{(1+E)^t} = \frac{pA}{E} \left((1+E)^{-T_c(A)} - (1+E)^{-(T_c(A)+T)} \right) = \frac{pA}{E(1+E)^{T_c(A)}} \left(1 - (1+E)^{-T} \right) \quad (2)$$

Нашими исследованиями [6-7] доказано, что учет в модели лагового фактора оказывает существенное влияние не только на значение чистого дисконтированного дохода, но и непосредственно на объем производства. Действительно, замечаем, что при использовании линейного строительного лага типа ($T_c(A) = T_0 + \tau A$) функция (2)

приводится к стандартной показательной зависимости вида: $y = ax / b^{c+dx}$, имеющей максимум относительно аргумента в точке: $x = 1/(d \ln b)$ и точку перегиба кривой: $x = 2/(d \ln b)$. Применительно к нашей задаче, предельно-оптимальный объем производства продукции, при котором зависимость (2) достигает максимума, определяется по формуле:

$$A_{\lim} = \frac{1}{\tau \ln(1+E)} \quad (3)$$

Кроме того, спецификой оценки NPV для горнодобывающих предприятий является ограниченность их эксплуатации вследствие исчерпания запасов полезных ископаемых. Поэтому при оценке экономической эффективности горнодобывающих предприятий следует использовать переменный период расчета, учитывающий ограниченный срок службы шахты. Таким образом, для оценки чистого дисконтированного дохода горнодобывающих предприятий с учетом ограниченного срока их службы и экономического ущерба от замораживания инвестиций в период строительства следует в формуле (1) использовать переменные нижний и верхний пределы суммирования:

$$P(A) = \sum_{t=T_c(A)+1}^{T_c(A)+Q/A} \frac{p_t A_t}{(1+E)^t} = \frac{pA}{E} \left((1+E)^{-T_c(A)} - (1+E)^{-(T_c(A)+\frac{Q}{A})} \right) \rightarrow \max, \quad (4)$$

где Q – балансовые запасы угля на горизонте (этаже, панели) шахты.

Численное решение этой задачи показывает, что введение в модель NPV переменного срока службы шахты, связанного с исчерпанием запасов полезных ископаемых, существенно снижает ее оптимальную мощность по сравнению с решением этой же задачи с постоянным периодом расчета [6-7]. При этом зависимость оптимальной проектной мощности шахты от запасов угля является нелинейной и асимптотической (рис.1).

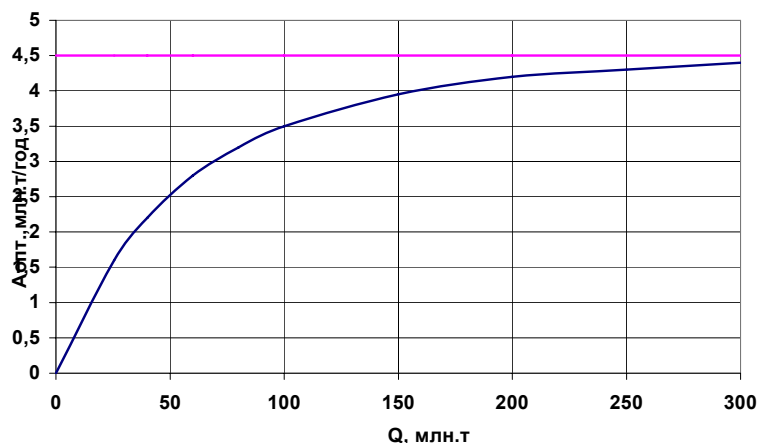


Рис. 2. Нелинейная асимптотическая зависимость оптимальной проектной мощности шахты от запасов угля

Иначе говоря, при бесконечно больших запасах угля в шахтном поле проектная мощность шахты имеет конечное, предельно-оптимальное значение. Приближенные зависимости оптимальной проектной мощности шахты и срока ее службы от запасов угля в шахтном поле соответственно имеют вид гиперболической и линейной функций:

$$A_o \approx \frac{1}{\tau \ln(1+E)} - \frac{1}{aQ + \tau \ln(1+E)}; T \approx Q\tau \ln(1+E) + a^{-1}(\tau \ln(1+E))^2$$

В этом заключается существенное отличие решения поставленной нами задачи от известной формулы Тейлора, предложенной им в 1977 г. после результатов статистической обработки ряда проектов рудников:

$$A = 5\sqrt[4]{Q^3} \text{ и } T = 0.24\sqrt{Q}, \quad (5)$$

в соответствии с которой при бесконечно больших запасах полезного ископаемого проектная мощность шахты возрастает до бесконечности [9].

Существование асимптотической зависимости оптимальной проектной мощности шахты от запасов угля в шахтном поле позволило нам в 1998 г. сформулировать общий закон убывающей предельной эффективности разработки месторождений полезных ископаемых [10]. Суть этого закона заключается в том, что с увеличением запасов угля, вовлекаемых в разработку, предельная эффективность эксплуатации месторождения или предельная отдача ресурсов, определяемая скоростью исчерпания запасов, стремится к нулю (рис.2):

$$U = \frac{\partial A_o(Q)}{\partial Q} \rightarrow 0$$

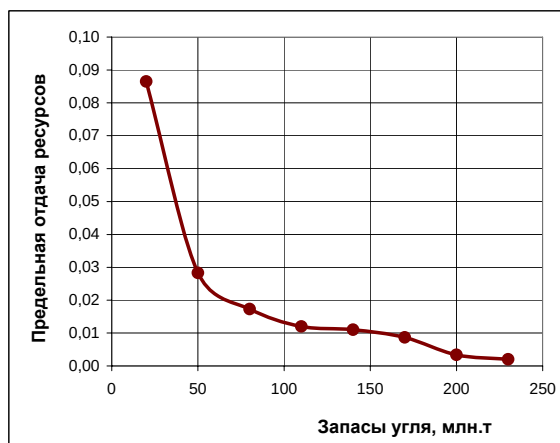


Рис. 3. Закон убывающей предельной эффективности разработки месторождений полезных ископаемых

Исследования по оптимизации объемов добычи угля в бассейне проводились экономистами, в основном, в 70-80-е годы прошлого столетия. В этой области нужно отметить работы А. С. Астахова, В. Н. Богачева, Э. И. Гойзмана, Н. В. Дронова, Л. А. Козлова, Д. М. Казакевича, Л. В. Канторовича, В. Н. Лившица, Д. К. Русанова и

ряда других экономистов [11-18]. В этих работах обычно использовалась статическая, линейная постановка задачи, для решения которой применялись хорошо разработанные методы линейного программирования [18].

Угольный бассейн можно рассматривать как большую систему (БС), то есть как иерархически сложную систему, обладающую многочисленными технологическими объектами с резко выраженными динамическими и случайными характеристиками.

Однако, несмотря на всю сложность постановки и решения динамической задачи оптимизации объемов добычи угля в бассейне, анализируя полученные нами ранее результаты в области оптимизации проектной мощности шахты [6-7], можно предположить, что угольный бассейн, в целом, обладает аналогичными свойствами и закономерностями. Действительно, учитывая в модели лаговый фактор, то есть объективные задержки во времени, вызванные периодами строительства новых или реконструкции действующих шахт и разрезов, получаем существование аналогичной асимптотической зависимости объемов добычи угля в бассейне от вовлекаемых в разработку запасов. Таким образом, задача заключается в определении предельно-оптимальных объемов добычи угля в бассейне открытым и подземным способами по условию максимума чистого дисконтированного дохода в зависимости от оптимизируемых объемов добычи угля подземным (V_p) и открытым (V_o) способами.

Математическая постановка и решение задачи

В общем виде целевая функция оптимизации объемов добычи угля в угольном бассейне открытым и подземным способами в укрупненной динамической постановке заключается в максимизации чистого дисконтированного дохода:

$$P(V_p, V_o) = \sum_{t=T_p(V_p)+1}^{T_p(V_p)+\frac{Q_p}{V_p}} \frac{(s_{pt} - c_{pt}^* - k_{pt})V_p}{(1+E)^t} - \sum_{t=0}^{T_p(V_p)} \frac{r_{pt}V_p}{(1+E)^t} + \sum_{t=T_o(V_o)+1}^{T_o(V_o)+\frac{Q_o}{V_o}} \frac{(s_{ot} - c_{ot}^* - k_{ot})V_o}{(1+E)^t} - \sum_{t=0}^{T_o(V_o)} \frac{r_{ot}V_o}{(1+E)^t} \rightarrow \max \quad (6)$$

при ограничениях:

$$V_p + V_o \leq V_j(K_j), \quad (j = 1, \dots, 6)$$

где Q_p, Q_o – балансовые запасы угля на реконструируемых предприятиях и новых участках месторождений, вводимых в эксплуатацию, соответственно по шахтам и разрезам, s_{pt}, s_{ot} – средние оптовые цены на угля соответственно по разрезам и шахтам в виде трендовых зависимостей от времени, c_{pt}^*, c_{ot}^* – средние себестоимости добычи угля (без реновационных отчислений) соответственно по шахтам и разрезам в t -й год, k_{pt}, k_{ot} – удельные капиталовложения в t -й год на поддержание производственных мощностей шахт и разрезов в период эксплуатации, r_{pt}, r_{ot} – удельные капиталовложения в t -й год на строительство горнодобывающих предприятий соответственно по шахтам и разрезам, $T_p(V_p), T_o(V_o)$ – строительные лаги на шахтах и разрезах в зависимости от планируемых объемов добычи угля и скорости строительства предприятий, $V_j(K_j)$ – «нежесткие» ограничения по объемам добычи угля в зависимости от планируемых инвестиций (K_j) на их преодоление по факторам: геомеханическим ($j = 1$), геотехнологическим ($j = 2$), транспортным ($j = 3$), экологическим ($j = 4$), энергетическим ($j = 5$), демографическим ($j=6$).

Задача (6) относится к классу динамических, нелинейных, трендовых задач с лаговыми переменными и «нежесткими» ограничениями. Для решения задачи даже в таком общем виде требуется наличие значительной базы исходной горно-геологической, технической, экономической, экологической и др. информации по бассейну. Фактически же задачу (6) следует в дальнейшем детализировать в виде более сложного функционала, зависящего от конкретных параметров планируемых объектов строительства, с предварительной проектной проработкой альтернативных вариантов (строительства предприятий на новых месторождения или их реконструкции на действующих участках), с расчетами по целесообразности расширения пропускных способностей действующих железнодорожных станций и узлов, с прогнозными оценками экологических и демографических ограничений и др.

Представим целевую функцию (6) в виде частного критерия оптимальности – валовой дисконтированной прибыли, получаемой от строительства и эксплуатации новых и существующих шахт и разрезов. Используем формулу суммы геометрической прогрессии, и, переходя к предельным значениям запасов угля ($Q \rightarrow \infty$), получаем целевую функцию в виде:

$$P(V_i) = \sum_{t=T_i(V_i)+1}^{T_i(V_i)+\frac{Q_i}{V_i}} \frac{(s_{it} - c_{it})V_i}{(1+E)^t} = \frac{(s_i - c_i)V_i}{E} \left((1+E)^{-T_i(V_i)} - (1+E)^{-\left(T_i(V_i)+\frac{Q_i}{V_i}\right)} \right) \rightarrow \frac{(s_i - c_i)V_i}{E(1+E)^{T_i(V_i)}}, \quad (i=1,2)$$

(7)

где i – индекс способа разработки ($i = 1$ – подземный способ, $i = 2$ – открытый способ).

Представим строительный лаг в этой задаче в зависимости от планируемых объемов добычи угля (V) и скорости (dV/dt) строительства или темпов ввода производственных мощностей горнодобывающих предприятий:

$$T_i(V_i) = \frac{V_i}{\partial V_i / \partial t} = \tau_i V_i = \frac{V_i}{\delta V_i}, \quad (i=1,2) \quad (8)$$

где τ_i – среднее время, необходимое для ввода в эксплуатацию единичной производственной мощности горнодобывающего предприятия, лет/млн.т, δV_i – средний темп годового роста добычи угля в бассейне соответственно при подземном и открытом способах разработки, млн.т/год².

Подставляя (8) в формулу (7), получаем критерий оптимальности в виде показательной зависимости:

$$P(V_i) = \frac{(s_i - c_i)V_i}{E(1+E)^{\tau_i V_i}} = \frac{(s_i - c_i)V_i}{E(1+E)^{\frac{V_i}{\delta V_i}}} \rightarrow \max, (i=1,2) \quad (9)$$

Учтем в целевой функции (7) полученную зависимость (9) и ограничения на предельные объемы добычи угля представим в виде равенств:

$$P(V_1, V_2) = \frac{(s_1 - c_1)V_1}{E(1+E)^{\frac{V_1}{\delta V_1}}} + \frac{(s_2 - c_2)V_2}{E(1+E)^{\frac{V_2}{\delta V_2}}} \rightarrow \max, \quad (10)$$

при условиях:

$$V_1 + V_2 - V_j(K_j) = 0 \quad (j=1, \dots, 6)$$

Преобразуем целевую функцию (10) в эквивалентную задачу безусловной оптимизации с введением множителей Лагранжа. Тогда целевая функция для оценки предельно-оптимальных объемов добычи угля открытым и подземным способами в бассейне заключается в максимизации зависимости дисконтированной суммарной прибыли вида:

$$P(V_1, V_2, \lambda_j) = \frac{(s_1 - c_1)V_1}{E(1+E)^{\frac{V_1}{\delta V_1}}} + \frac{(s_2 - c_2)V_2}{E(1+E)^{\frac{V_2}{\delta V_2}}} - \lambda_j(V_1 + V_2 - V_j(K_j)) \rightarrow \max, (j=1, \dots, 6) \quad (11)$$

где λ_j – неизвестные множители Лагранжа.

Решение задачи (11) в аналитической форме заключается в определении частных производных по объемам добычи угля и множителям Лагранжа, составлении и решении системы уравнений вида:

$$\frac{\partial P}{\partial V_1} = 0, \quad \frac{\partial P}{\partial V_2} = 0, \quad \frac{\partial P}{\partial \lambda_j} = 0, \quad (j=1, \dots, 6)$$

Для первоначального анализа функции (11) определим стационарные точки ее экстремума как задачи безусловной максимизации, то есть без учета действия ограничений. Определяя частные производные этой функции при $\lambda_j=0$, и, решая полученные уравнения, получаем аналитические решения задачи для предельно-оптимальных объемов добычи угля в бассейне подземным и открытым способами:

$$V_i = \frac{1}{\tau_i \ln(1+E)} = \frac{\partial V_i}{\ln(1+E)}, \quad (i=1,2) \quad (12)$$

Для решения задачи в таблице 1 приведены статистические данные об объемах добычи угля подземным и открытым способами в Кузбассе в период с 1990 по 2009 гг. Среднегодовой темп роста добычи угля в Кузбассе за последние 11 лет составляет: 3,68 млн.т/год – подземным способом – с доверительным интервалом 2,5 при уровне надежности 95% и стандартной ошибкой 1,12; 4,31 млн.т/год – открытым способом – с доверительным интервалом 1,16 при уровне надежности 95% и стандартной ошибкой 0,52; 7,90 млн.т/год – суммарный средний ежегодный прирост добычи угля по бассейну – с доверительным интервалом 2,23 при уровне надежности 95% и стандартной ошибкой 1,0.

Статистическая обработка фактических средних технико-экономических показателей добычи угля на 51 шахте и 46 разрезах Кузбасса в 2008 г. определяет следующие значения математических ожиданий: отпускная цена угля составляет: на разрезах 1150,9 руб./т, на шахтах 1533,8 руб./т, себестоимость добычи угля – на разрезах 742,5 руб./т, на шахтах 1125,5 руб./т.

При использовании нормы дисконта для угольной промышленности ($E=0,13$) и темпов прироста добычи угля в Кузбассе (см.табл.1), получаем по формуле (12) значения предельно-оптимальных объемов добычи угля: при подземном способе – 25,4 млн.т/год, при открытом способе – 38,4 млн.т/год, всего – 63,8 млн.т/год.

Таблица 1

Годы	Объем добычи угля, млн.т/год			Темп роста добычи угля, млн.т/год ²		
	подземным способом	открытым способом	Всего	подземным способом	открытым способом	Всего
1990	76,657	67,903	144,56	0	0	0
1991	60,548	58,828	119,376	-16,11	-9,08	-25,184
1992	64,659	49,441	114,1	4,11	-9,39	-5,276
1993	55,781	45,024	100,805	-8,88	-4,42	-13,295
1994	50,444	43,397	93,841	-5,34	-1,63	-6,964
1995	48,476	45,068	93,544	-1,97	1,67	-0,297
1996	51,398	44,061	95,459	2,92	-1,01	1,915
1997	44,081	43,776	87,857	-7,32	-0,28	-7,602
1998	46,2	49,8	96,0	2,12	6,02	8,143
1999	50,4	56,3	106,7	4,20	6,50	10,7
2000	55,0	63,0	118,0	4,60	6,70	11,3
2001	56,0	70,0	126,0	1,00	7,00	8,0
2002	58,0	73,0	131,0	2,00	3,00	5,0
2003	68,4	75,8	144,2	10,40	2,80	13,2
2004	77,3	81,5	158,8	8,90	5,70	14,6
2005	79,2	88,0	167,2	1,90	6,50	8,4
2006	83,7	90,6	174,3	4,50	2,60	7,1
2007	84,6	95,8	180,4	0,90	5,20	6,1
2008	81,83	102,71	184,54	-2,77	6,91	4,14
2009	88,27	95,46	183,73	-0,81	6,44	-7,25
Среднегодовой темп (δV_i) роста добычи угля (с 1998 по 2009), млн.т/год				3,682	4,307	7,989
Среднее время ($\tau_i = 1/\delta V_i$) для ввода производственной мощности горнодобывающего предприятия, лет/млн.т				0,272	0,232	0,125

Скорректируем полученное решение с учетом инвестиций на строительство новых и реконструкцию действующих горнодобывающих предприятий. Решение задачи (7) с учетом инвестиций получено численными методами путем максимизации целевой функции ЧДД вида:

$$P(V_i) = \frac{(s_i - c_i)V_i}{E(1+E)^{\tau_i V_i}} - \frac{r_i}{\tau_i} \left(1 - (1+E)^{-\tau_i V_i}\right) = \frac{(s_i - c_i)V_i}{E(1+E)^{\frac{V_i}{\partial V_i}}} - r_i \partial V_i \left(1 - (1+E)^{-\frac{V_i}{\partial V_i}}\right) \rightarrow \max, (i=1,2)$$

(13)

Результаты решения задачи (13) приведены на рис.3, на котором показаны графики зависимости ЧДД от запасов угля, вовлекаемых в разработку открытым и подземным способами в бассейне.

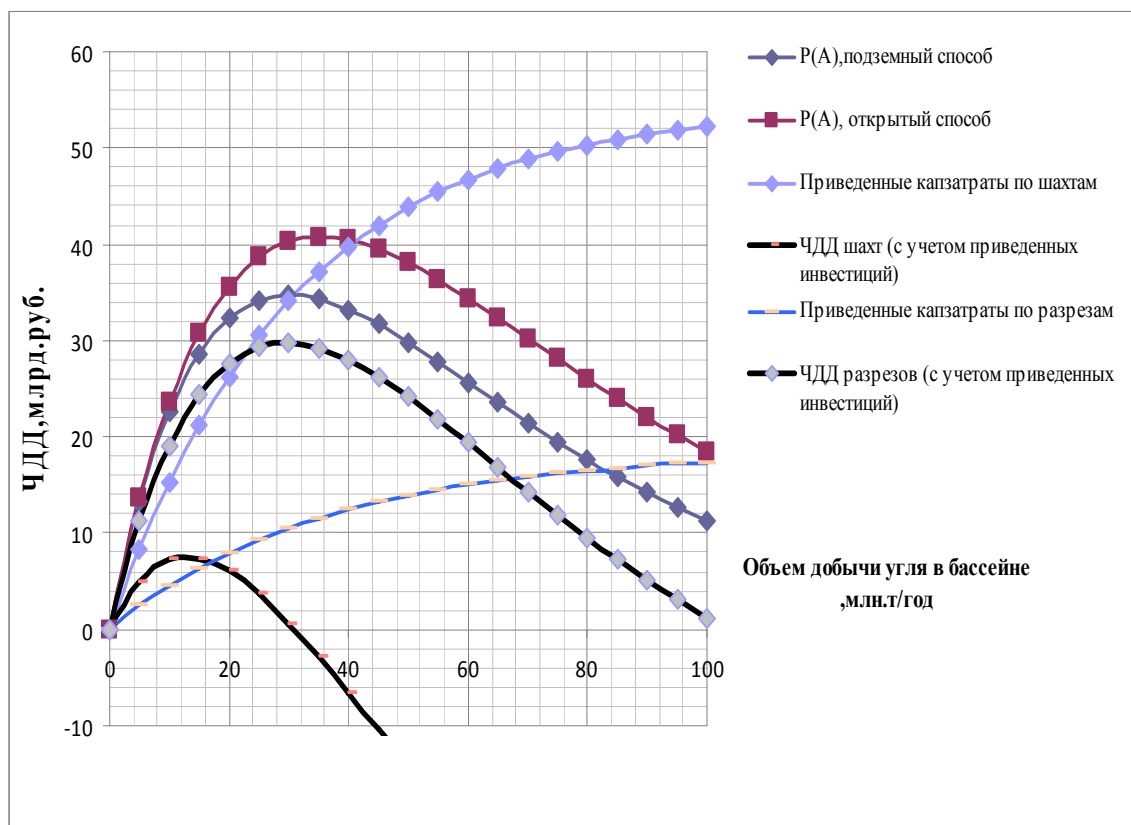


Рис.3. Зависимости ЧДД от объемов добычи угля в Кузбассе

Обсуждение результатов

В статье изложены основные методические подходы и предварительные решения задачи оценки предельных объемов добычи угля в Кузбассе на основе лагового моделирования.

На основе обработки статистики по шахтам и разрезам Кузбасса за последние 11 лет, получены аналитические решения предельно-оптимальных объемов добычи угля при которых достигается максимум суммарной дисконтированной прибыли: при подземном способе – 25,4 млн.т/год, при открытом способе – 38,4 млн.т/год, всего – 63,8 млн.т/год.

Анализ решения задачи показывает, что инвестиции в строительство горнодобывающих предприятий существенно снижают полученные значения оптимальных объемов добычи угля: подземным способом до 10-15 млн.т/год, открытым способом - до 25-30 млн.т/год.

Таким образом, общий предельный прирост объема добычи угля в Кузбассе подземным и открытым способами по нашим расчетам составляет 35-45 млн.т/год. Учитывая современный уровень добычи угля в бассейне (180 млн.т/год) общий предельный объем добычи угля открытым и подземным способами по нашим предварительным расчетам не должен превышать 215-225 млн.т/год.

ЛИТЕРАТУРА

Сырьевой комплекс России. Информационно-аналитический центр «Минерал». М.: 2009.

Государственный баланс запасов полезных ископаемых Российской Федерации на 01.01.2001. - Вып. 91. Уголь. - Т. VII. - Сибирский федеральный округ. Часть 1. Новосибирская и Кемеровская области. Алтайский край. Республика Алтай. - М., 2001. - 490 с.

Угольная промышленность Российской Федерации в 2004 г. Статистический сборник. - М.: Росинформуголь, 2004.т. 1. - 86 с.

Энергетическая стратегия России на период до 2020 г. Распоряжение Правительства РФ № 1234-р от 28.08.2003 г.

Стратегия социально-экономического развития Кемеровской области на долгосрочную перспективу. Центр стратегических разработок «Северо-Запад». Санкт-Петербург, 2007.

Ордин А.А. Динамические модели оптимизации проектной мощности шахты. Новосибирск: ИГД СО РАН, 1991. -160 с.

Ордин А.А., Клишин В.И. Оптимизация технологических параметров горнодобывающих предприятий на основе лаговых моделей. Новосибирск: Наука, 2009. - 166 с.

Косов В.В., Лившиц В.Н., Шахназаров А.Г. и др. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов. М., Экономика, 2000. - 422 с.

Капутин Ю.Е. Информационные технологии и экономическая оценка горных проектов. Санкт-Петербург, Недра, 2008. - 492 с.

Курленя М.В., Ордин А.А. Об убывающей предельной эффективности разработки месторождений полезных ископаемых. Новосибирск, «ФТПРПИ», № 4, 1998.

Астахов А.С. Экономическая оценка запасов полезных ископаемых. М.: Недра, -1981.

Богачев В.Н. О горной ренте и оценке месторождения сырья и топлива. М.: Вопросы экономики, 1976, № 9.

Лившиц В.Н. Оптимизация при перспективном планировании и проектировании. М.: Экономика, 1984. – 1984.

Гойзман Э.И., Коренев В.Г. Оптимизация планирования в угольной промышленности. М.: Наука, 1984.

Козлов Л.А. Оптимальное планирование развития и размещения отраслей промышленности. М.: Наука, 1970.

Казакевич, Д.М., Крепкая Л.Д., Филимонов Е.И. Оптимизация развития и размещения угледобывающей промышленности. Новосибирск, Наука, 1975.

Русанов Д.К. Экономическая оценка минеральных ресурсов. М.: Недра, 1987.

Канторович Л.В., Горстко А.Б. Оптимальные решения в экономике. М.: Наука, 1972.

ОПТИМИЗАЦИЯ ТОПЛИВНОГО БАЛАНСА ЭНЕРГЕТИКИ КАК ОСНОВА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

***В.А.Саркисян, доктор технических наук, исполнительный директор
ОАО «ЦНИЭУголь»***

Аварии и техногенные катастрофы, постоянно повторяющиеся в последние годы, обычно объясняются различными причинами: износом оборудования, природными аномалиями, «человеческим фактором» и т.д. Однако большинство крупных аварий является следствием системных сбоев в самом топливно-энергетическом комплексе (ТЭК), проявившихся в условиях снижения надежности отдельных элементов системы, а также отсутствием централизованного управления единым топливно-энергетическим и народно-хозяйственным комплексом страны.

Топливо-энергетический комплекс (ТЭК) в целом и отдельные отрасли – газовая, нефтяная, угольная, электроэнергетика (тепловая, атомная, гидроэнергетика) и др., развиваются на основе не всегда очевидных внутренних и внешних связей, определяемых потребностью страны (региона) в конечных энергоресурсах и экспорта (внешние связи) и возможностью их удовлетворения как собственным производством, так и за счет импорта (внешние связи).

На развитие топливно-энергетического комплекса существенное влияние оказывают такие факторы, как политические реалии, сырьевая база, технические, технологические и финансовые возможности, экономическая эффективность использования и др.

В условиях глобализации, развития транспорта и усиления межконтинентальных торговых связей существенно изменилась роль факторов, влияющих на формирование топливно-энергетического баланса (ТЭБ). Выбор первичных энергоносителей определяется не только сырьевой базой и добывными возможностями стран-потребителей, но и предложениями на мировом рынке.

При использовании для транспортировки энергоносителей (угля, нефти и нефтепродуктов и газа в сжиженном состоянии) судов класса Capesize дедвейтом 100 – 150 тыс. т и выше стоимость морских поставок от экспортеров на Европейский и Тихоокеанский рынки не составляет трудности и существенно не влияет на стоимость перевозок.

Формирование ТЭБ в развитых странах регулируется в основном экономическими методами на государственном уровне – установлением предельных цен на отдельные энергоносители, таможенными и иными налогами и сборами, обеспечивающими паритет цен с учетом энергетической ценности.

В электроэнергетике уголь является основным энергоносителем. В 2010 г., по данным МЭА, уголь в топливном балансе электростанций составил 41% [1], в отдельных странах (ЮАР, Польша, КНР, Австралия и др.) превысил 75%, при этом сокращение собственной добычи компенсировалось импортом.

Россия коренным образом отличается от многих стран мира в силу территориальных, природно-климатических, демографических особенностей и геополитического положения.

Обладая мощной сырьевой базой (в недрах России сосредоточено 19% мировых запасов каменного угля, 6,3% запасов нефти, 23,4% запасов природного газа), страна не только полностью обеспечена собственными ресурсами, но и является одним солидных и ответственных партнеров на рынках энергоресурсов. В силу своего территориального положения между Европой и быстроразвивающимся Азиатско-Тихоокеанским регионом и имея выход как в европейский, так и в Азиатско-Тихоокеанский рынок, российский энергетический бизнес планирует активно работать на этих стремительно развивающихся рынках.

Из стран «Большой восьмерки» Россия является наиболее обеспеченной собственными энергоносителями. Уровень обеспеченности (отношение добычи к потреблению) в России составляет 1,9 крат, в том числе по нефти – 3,4 крат, по газу – 1,4 крат, по углю – 1,6 крат. Кроме России, из стран «восьмерки» только в Канаде производство первичных энергоносителей превышает потребление (обеспеченность – 1,5 крат, по энергоносителям соответственно 1,4, 1,7 и 1,5 крат). Остальные страны «Большой восьмерки» энергодефицитные (по данным [2] в обработке автора).

Структура экономики России характеризуется высокой долей энергоемких производств (более 60% промышленности) и относительно малой долей сферы услуг, имеющей низкую энергоемкость. Кроме того, экспорт энергоносителей составляет одну из основных статей бюджета страны.

Наличие ресурсов первичных энергоносителей дало возможность выбора энергоносителя, обеспечивающего наименьшие затраты как при его производстве (добыче), так и при его использовании, и как следствие – концентрация добычи энергоносителей на крупных и гигантских месторождениях, расположенных в восточных районах.

В настоящее время практически вся добыча газа сосредоточена в Ямало-Ненецком АО (более 92%), нефти – в Ханты-Мансийском АО, угля – на юге Сибирского ФО в Кузнецком (57,3%) и Канско-Ачинском (12,6%) бассейнах.

В то же время, несмотря на существенное развитие энергоемких производств в восточных районах, основное потребление энергоносителей сосредоточено в европейских районах России.

Освоение гигантских месторождений – Оренбургское, Медвежье, Уренгойское, Ямбургское и др., созданная в период плановой экономики мощная Единая система газоснабжения, охватывающая практически всю европейскую часть страны, Урал, Тюменскую область и юг Западной Сибири и ориентированная на поставки газа в Европу, обусловила преобладание в балансе топлив природного газа – около 61%, доля нефти и нефтепродуктов – 24%, угля – 15%.

Опережающее развитие добычи и транспортировки газа в 80-е годы предопределило массовый перевод электростанций на природный газ, так как только электростанции были способны принять крупные объемы временно не распределенного газа, обусловленные отставанием развития более эффективных направлений его использования. Перевод электростанций считался временной мерой и проводился с их минимальной реконструкцией – сооружение подводящего газопровода, газораспределительной станции (ГРС) и заменой или установкой горелочных устройств, при этом сохранение проектных топлива было обязательным [3]. До последнего времени в России почти не было электростанций, спроектированных на использование газа – парогазовых (ПГУ) и газотурбинных (ГТУ). В настоящее время мощность ПГУ-КЭС составляет 0,4% установленной мощности тепловых электростанций, ПГУ-ТЭЦ – 2,2%, ГТУ – 1,3% [4].

Перевод паросиловых энергоблоков с других энергоносителей на газ привело к незначительному улучшению технологических показателей. КПД котлоагрегатов повысился в зависимости от качества угля не более, чем на 10%, примерно также снизился удельный расход топлива на квт-час отпускаемой (с учетом затрат на собственные нужды) электроэнергии (таблица 1).

Таблица 1 Технологические показатели выработки электроэнергии при замещении газом других топлив

	Кузнецкий	Канско-Ачинский	Подмосковный	Мазут	Газ
Калорийность, ккал на кг (куб. м)	5262	3642	2092	9452	7974
%% к газу	66,0%	45,7%	26,2%	118,5%	100,0%
Полезное тепловыделение ккал на кг (куб. м)	63,2%	43,2%	23,5%	113,5%	100,0%
КПД котла (газ – 100%)	95,8%	94,7%	89,5%	95,8%	100,0%
Полезное тепловыделение на т у.т.	95,8%	94,7%	89,6%	95,8%	100,0%
Удельный расход, г у.т. на квт-ч	108,9%	110,4%	111,4%	103,8%	100,0%

В настоящее время на электростанциях в европейской части страны и Урале, где проживает около 82% населения России, газ является преобладающим видом топлива. По данным (2) в 2008 – 2010 гг. доля газа в целом

по России составила 70%. В Европейских районах, включая Уральский ФО, доля газа на электростанциях достигла 86%, нефте топлива – менее 2%, угля и прочих видов топлива – около 12%. В Центральном ФО в балансе топлив на электростанциях газ составляет 93,5%, уголь – 5,6%, в Приволжском – 94,5% и 2,7% соответственно.

Монозависимость российской экономики и энергетики от природного газа является одной из основных проблем в сфере энергетической безопасности.

Основной причиной такой зависимости явилось отсутствие единой государственной ценовой политики.

В период плановой экономики цены на первичные энергоносители регулировались на государственном уровне, строго контролировалось использование топлив и конечных энергоресурсов.

Переход к свободному рынку привел к росту цен, массовым неплатежам и т.д. В качестве меры, направленной на сдерживание роста цен в энергетике, начиная с 1996 г. продукции естественных монополий (газ, электроэнергия, тарифы на железнодорожные перевозки) находятся под жестким контролем государственных органов – Федеральной энергетической комиссии, преобразованной в дальнейшем в Федеральную службу по тарифам – (ФСТ). Эта политика – установление цен на уровне текущих затрат без учета необходимости развития по отношению к газу и электроэнергии при сохранении свободных цен и другие энергоносители, оправданная в период экономического спада, не была вовремя скорректирована и сохранялась до 2004 – 2006 гг.

Длительная консервация цен на газ практически до 2002 – 2005 гг. в рублевом эквиваленте, несмотря на дефолт 1998 г., привела практически к ликвидации рынка первичных энергоносителей в зоне ЕСГ. Отрасли находились в разных экономических условиях. Цены на мазут ориентированы на мировой, прежде всего, европейский рынок. Поставки угля начали падать из-за несоответствия цены потребительским свойствам.

В цене угля существенную долю составляют регулируемые железнодорожные тарифы.

В настоящее время в цене угля у потребителя в европейской части страны и на Урале транспортная составляющая достигает 45% цены угля у потребителя.

До середины 2009 г. уголь (в пересчете на условное топливо) был дороже газа.

В электроэнергетике за это время практически не проводились работы не только по реконструкции, но и по поддержанию угольных хозяйств на газотопливных электростанциях.

Другим фактором, сдерживающим использование угля, является привязка котельно-печного оборудования к конкретным маркам углей, в основном бурых. Электростанции размещались вблизи угледобывающих предприятий. В настоящее время из-за истощения запасов и (или) нерентабельности добычи многие из этих предприятий закрылись и электростанции лишились проектных марок угля. Привязка к определенным маркам угля снизила возможность маневренности использования твердых топлив. В настоящее время лишь единичные электростанции работают на углях проектных марок и в основном используют смеси углей различных марок. Так, на Рязанскую ГРЭС уголь поставляется от 6 – 8 угледобывающих предприятий.

Используемые в России энергетические угли – Кузнецкие, Интинские, Канско-Ачинские – по качеству существенно ниже, чем в угледобывающих странах, по калорийности, влажности и зольности. Это приводит к неоправданному росту железнодорожных перевозок и затратам на золоудаление.

В России калорийность используемых на электростанциях углей в среднем составляет 4000 ккал на кг (от 2500 до 5000 ккал на кг), в Европе – 6500 ккал на кг, в США – 5610, в ЮАР и Замбии – 5600 – 6100, в Австралии, Китае, Индонезии, Японии и Новой Зеландии – 5600 – 6200 ккал на кг (по данным [2] в обработке автора).

В настоящее время наметилась тенденция постепенного перехода от разовых поставок к долгосрочным договорам с угледобывающими предприятиями по поставкам угля и снижению использования импортируемого угля из Казахстана с заменой его Кузнецкими углями (в 2010 г. было импортировано около 29 млн. т энергетического угля, в основном для электростанций Урала и Западной Сибири).

Рост цен газа, а также выход на рынок независимых производителей, реализующих газ по более высоким ценам, привел к увеличению использования угля на электростанциях.

За 2010 г. по данным ЦДУ ТЭК поставка угля на Череповецкую ГРЭС возросла в 6,5 раз, со 110 до 714 тыс. т (в т.ч. Интинского угля – с 20 до 714 тыс. т), на Каширскую ГРЭС – в 1,7 раза, с 466,7 до 797,5 тыс. т, на Рязанскую ГРЭС – в 3 раза, с 632 до 1897,6 тыс. т, на ТЭЦ-22 Мосэнерго – в 1,4 раза с 309,8 до 434,6 тыс. т и т.д.

В целом поставки Интинского угля на электростанции увеличились в 1,3 раза, с 9 до 11,6 млн. т, Канско-Ачинского – в 1,2 раза, с 33,6 до 39,8 млн. т.

Несмотря на опережающий рост цен на газ, соотношение цен между газом и углем в России пока не достигло мирового уровня. По оценке автора, в настоящее время это соотношение цен в России порядка 0,8, в Польше, например, 0,54, в Великобритании – 0,46 [1].

Увеличение использования угля на энергоемких производствах, наряду с развитием малой и распределенной энергетики на местных энергоносителях, в современных условиях необходимо для обеспечения энергетической безопасности.

Энергетический комплекс России с высокой концентрацией производства рассчитан на крупных потребителей энергии и централизованное управление, что в условиях свободной экономической деятельности затруднено.

Газ при несомненных положительных качествах обладает одним крупным недостатком – жесткой привязкой к газотранспортным системам, при этом практически невозможно создание резервов непосредственно у потребителей. При этом газ практически из одного источника транспортируется на расстояние 3,5 – 4 тыс. км, пересекая при этом крупные водные преграды (реки Обь, Кама, Волга и др.), поэтому при крупных авариях

восстановление систем затруднительно. При этом возникает риск оставить без топлива целые районы, что особо опасно в период зимних минимумов температур.

Увеличение доли угля как топлива прежде всего на электростанциях и котельных является одним из основных направлений повышения энергетической безопасности России и обсуждается на разных уровнях.

В проводимых ОАО «Газпром» в 2000 – 2002 гг. исследованиях было изучено около 30 теплоэлектростанций, на которых возможно замещение газа углем [3].

В Стратегии социально-экономического развития Кемеровской области до 2025 года [5], принятой Законом Кемеровской области от 11 июля 2008 г. № 74-ОЗ, показана возможность перевода на уголь 27 электростанций, что позволит увеличить потребление угля на внутреннем рынке на 13 – 15 млн. т в год. Однако на практике эта проблема не всегда экономически и технологически обоснована

Срок эксплуатации большинства электростанций более 30 лет. Энергоагрегаты с удельным износом более 83%, которые можно считать непригодными к дальнейшей эксплуатации, «АйТи Энерджи Аналитика» [6] составляют 51%.

При переводе угольных электростанций на газ в период «газовой паузы», угольное хозяйство было частично демонтировано, сохранившееся же требует затрат на восстановление из-за физического или морального старения. Затраты по возврату электростанций на твердое топливо в среднем оцениваются в 7 долларов США за кВт [5]. По автору, возврат крупных ТЭС на уголь оценивается около 1 млрд. руб. в ценах 2000 г. [3]. Кроме того, ТЭЦ, построенные более 40 лет назад на окраинах крупных городов, оказались в зонах плотной застройки, поэтому при возврате на уголь потребуются значительные затраты на экологические мероприятия.

Возврат на уголь приведет к увеличению затрат, не связанных с топливом.

Экспертная оценка показала, что при возврате газоугольной электростанции с сохранившимся угольным хозяйством и системой золоудаления на уголь эти затраты могут вырасти на 10 – 15 % в основном за счет роста фонда оплаты труда на 15 – 18%, расходов по содержанию оборудования на 6 – 10%, общестанционных расходов на 28 – 33%, водоотведения и др.

Этот рост затрат должен быть компенсирован за счет топливной составляющей – паритетного соотношения цен угля и газа. В зависимости от конкретных условий цена 1 т у.т. угля не должна превышать 55% стоимости эквивалентного количества газа.

С другой стороны, установленная цена газа должна стимулировать замену паросиловых энергоблоков парогазовыми, обеспечив существенную экономию газа. Современные парогазовые установки поставляются в блочно-комплектном исполнении, срок монтажа на новой площадке – до 36 мес., на площадках существующих ТЭС – не более 2 лет с поэтапным вводом мощностей. Так, при сооружении ПГУ-200 фирмы Siemens (компонуются 2 турбинами V.64.3A мощностью 64 МВт и котлом-утилизатором 73 МВт) первый пусковой комплекс – турбина V.64.3A со всеми общестанционными сооружениями вводится через 13 мес. [7].

Возврат угольных электростанций европейской части России на проектные топлива или их перевод на использование других марок углей приемлем лишь как временная мера.

Увеличение доли использования угля как основного топлива, с нашей точки зрения, может быть достигнуто при поэтапной замене морально и физически устаревших энергоблоков парогазовыми установками (конденсационными и теплофикационными) или сооружением современных угольных энергоблоков мощностью 330 и 660 МВт на суперсверхкритических параметрах пара, угольных блоков на сверхкритических параметрах пара электрической мощностью 660 и 900 – 1000 МВт, ПГУ с газификацией углей. На энергоблоках мощностью 200 – 800 МВт с достаточным парковым ресурсом целесообразно внедрение современных технологий газоочистки по улавливанию SO₂, NO_x, золовых частиц и т.д.

Экономические предпосылки для этого имеются и учитываются в инвестиционных проектах энергокомпаний. Так, в конце 2010 г. был введен энергоблок 330 МВт на Каширской ГРЭС, намечено сооружение энергоблоков нового поколения: угольного блока электрической мощностью 330 МВт на сверхкритических параметрах пара на ТЭЦ-22 Мосэнерго, энергоблока мощностью 330 МВт с ЦКС на СКД параметрах пара на Новочеркасской ГРЭС, опытно-промышленной ПГУ с газификацией углей электрической мощностью 200 МВт с коэффициентом полезного действия 50 – 52% на ТЭЦ-17 Мосэнерго, и 20 МВт на Закамской ТЭЦ [8].

По всей вероятности, в ближайшей и среднесрочной перспективе сохранится регулирование цен на продукцию естественных монополий – газ и железнодорожные тарифы. Роль государственного регулирования в этих условиях – добиться паритетного соотношения цен на основные энергоносители – газ и уголь.

Это позволит по экологическим параметрам и эффективности (с учетом роста цен газа) снизить разницу между газовой и угольной генерацией.

В целом эти мероприятия учтены в Генеральной схеме размещения объектов электроэнергетики до 2020 года, одобренной распоряжением Правительства Российской Федерации от 22 февраля 2008 г. № 215-р [9], и в основном одобренной 3 июня 2010 г. на заседании Правительства Российской Федерации новой редакции Генеральной схемы до 2030 года [8].

Наряду с широким развитием малой и распределенной энергетики с оптимальным использованием местных энергоносителей (торфа, отходов лесного и агропромышленного комплекса) и возобновляемых источников энергии (ВИЭ), возможно существенное повышение надежности энергоснабжения.

Потребность электроэнергетики в угольном топливе в 2020 г. увеличится с 146 млн. т (2008 г.) до 193 – 213 млн. т при росте потребности в газе со 181 до 212 – 228 млрд. куб. м.

Дальнейшее развитие угольной энергетики нуждается в государственной поддержке. В первую очередь, это развитие инфраструктуры железнодорожного транспорта: сооружение железных дорог в перспективных угледобывающих районах, сохранение льготных железнодорожных тарифов на перевозку угля. Следует также рассмотреть целесообразность создания «угольных маршрутов» из Кузбасса на Урал и в европейские районы страны с минимальным переформированием в пути следования (аналогично введенным С.Ю. Витте в конце 19 века порядком перевозки зерна из Сибири).

Энергетика в России является жизнеобеспечивающей отраслью, и на государственном уровне следует внедрить комплекс организационных и экономических механизмов, обеспечивающих создание экономического механизма гармоничного развития отраслей ТЭК, включая малую и распределенную энергетику, привлечение инвестиций, государственные гарантии на кредиты, создание льготных налоговых условий и др.

Развитие энергетики может стать локомотивом экономики, стимулом развития машиностроительного, горно-металлургического комплекса, транспорта и социальной сферы.

Литература

World coal association, 2011.: <http://www.worldcoal.org>

BP Statistical Review of World Energy, , June 2011:

http://www.bp.com/assets/bp_internet/globalbp/globalbp_uk_english/reports_and_publication.

Функционирование и развитие электроэнергетики Российской Федерации в 2009. Информационно-аналитический доклад. Москва : ЗАО «АПБЭ», 2010. вып. 5.

Жученко И.А., Саркисян В.А. Оптимизация использования газа в топливном балансе электростанций. Проблемы экономики газовой промышленности: Москва : Газойл пресс, 2001.

Стратегия социально-экономического развития Кемеровской области до 2025 года Фонд "Центр Стратегических разработок "Северо-Запад". Санкт-Петербург - Кемерово:

http://www.ako.ru/PRESS/MESS/TEXT/doktrina/str25_rus.pdf, 2007 - 2008 .

Пшеничников С., Монахова Е. Страна изношенных турбин: Компания «АйТи Энерджи Аналитика»: <http://news.babr.ru/?IDE=83146>, 2011 г.

Саркисян В.А. Эффективность создания генерирующих мощностей на низконапорном газе. Материалы Всероссийской научно-практической конференции "Проблемы и перспективы комплексного использования низконапорного газа в устойчивом развитии социальной сферы газодобывающих регионов. Надым : ИРЦ ОАО "Газпром", 2003.

Кожуховский И.С. Генеральная схема размещения объектов электроэнергетики до 2030 г. Доклад на 2-й международной конференции «Российская электроэнергетика: финансирование и инвестиции». Москва ноябрь 2010 г.: <http://www.e-apbe.ru/scheme/>,

Генеральная схема размещения объектов электроэнергетики до 2020 года. Одобрена распоряжением Правительства Российской Федерации от 22 февраля 2008 г. № 215-р. 2008.

Международный симпозиум «Углеродная химия и экология Кузбасса»



Материалы докладов

**Кемерово
22-24 сентября 2011 г.**

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

О СОСТОЯНИИ ОСНОВНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ РАЗВИТИЯ УГЛЕХИМИИ В КУЗБАССЕ

***З.Р. Исмагилов, д.х.н., проф., директор Института углехимии
и химического материаловедения СО РАН, 650000 Россия, Кемерово, Советский пр. 18***

В советский период научное сопровождение развития угольной отрасли было возложено, в основном, на отраслевые научно-исследовательские институты, которые сегодня в новых политико-экономических условиях минимизировали научную деятельность и переориентировались на проектно-изыскательские работы. В настоящее время в России нет ни одного крупного института, обеспечивающего научное сопровождение инновационного развития угольной промышленности и углехимии. Это существенно ограничивает конкурентоспособность отечественных предприятий, делает их зависимыми от импортных технологий и техники.

Кузбасс - богатый коксующимися и энергетическими углями регион России, и в ближайшие десятилетия он будет работать как главная угольная база страны. Для научного обеспечения и успешного решения стоящих перед Кемеровской областью проблем Российская академия наук, её Сибирское отделение и Администрация Кемеровской области приняли решение об усилении работы Кемеровского научного центра СО РАН. Постановлением Президиума РАН № 47 от 09 марта 2010 г. на базе химических подразделений Института угля и углехимии СО РАН и Кемеровского филиала Института химии твердого тела и механохимии СО РАН создан Институт углехимии и химического материаловедения СО РАН (ИУХМ СО РАН). Основные научные направления Института определены как глубокая переработка угля, углехимия и химия углеродных материалов, композитов и наноструктур. С августа 2010 г. – именно в этом месяце начал свою работу Институт – Дирекция и Ученый совет Института, с участием руководства Президиума КеМНЦ СО РАН, наметили меры по усилению кадрового состава научных сотрудников, определили главные векторы фундаментальных и прикладных исследований в утвержденных для Института рамках основных научных направлений, а также провели ряд других необходимых мероприятий, обеспечивающих эффективное функционирование нового научного учреждения.

Надо отметить, что Кузбасс на сегодняшний день, является монопрофильным регионом по сырью, имеет узкую специализацию промышленности, в регионе явно преобладает экспорт сырья, что обуславливает наличие значительных затрат на перевозку, фактически, пустой породы и воды. Кроме того, имеется и целый спектр экологических проблем, как в населенных пунктах, так и в местах добычи угля. Поэтому основным подходом в инновационном развитии угольной промышленности должна быть разработка энергоэффективных и экологически чистых технологий глубокой переработки углей, включающая решение следующих задач:

- переход от экспорта первичных сырьевых ресурсов к экспорту продуктов их глубокой переработки;
- освоение технологий глубокой переработки угля с производством уникальной дорогостоящей малотоннажной продукции и производством востребованной многотоннажной продукции;
- восстановление и развитие научного и кадрового потенциала Кузбасса в области углехимии.

Для своей внутренней работы мы классифицировали технологии переработки углей на следующие группы:

- термические методы (полукоксование, коксование) с получением металлургического кокса, полукокса, бездымного топлива, пека, жидких продуктов и полупродуктов, сорбентов;
- химические методы (модификация, экстракция, терморазложение, окисление, гидрирование) с получением моторного топлива, гуматов, восков, жирных, ароматических и алифатических кислот, сульфогелей, пеков;
- газификация (подземная газификация, газификация в реакторах) с получением топливного газа, синтез-газа, жидких химических полупродуктов, моторного топлива;
- химическая переработка шахтного метана с получением бензола, водорода, углеродных наноматериалов;
- утилизация золы с целью извлечения редкоземельных металлов и производства стройматериалов, дорожного покрытия.

Если говорить о сегодняшней ситуации по использованию угля, то в России это, главным образом, энергетическая переработка угля, т.е. получение тепла и электроэнергии. Сегодня во всём мире идёт переоснащение предприятий по переработке угля по так называемой схеме комбинированного цикла с внутренней газификацией. Это означает организацию экологически чистого сжигания топлива, основанного на том, что сначала твёрдое топливо газифицируется, далее летучие (газообразные) продукты сжигаются на газовой турбине, а всё избыточное тепло используется на паровой турбине. Таким образом, достигается максимальное использование теплотворной способности угля с минимальным количеством выбросов в окружающую среду.

Что касается нетрадиционного использования угля, то во многих странах имеется большое количество производств, направленных на получение метанола, диметилового эфира, олефинов, синтез-газа, гликолей, бензола и других веществ. Например, большое количество подобных производств сейчас работает в Китае и, более того, в ближайшие годы намечается строительство новых предприятий с еще большей производительностью, и, в принципе, ситуация, складывающаяся в КНР, отражает ситуацию во всём мире.

Одной из проблем, стоящей сегодня перед углехимиками, является обеспечение металлургических предприятий высококачественным коксом. Эта проблема на сегодняшний день осложняется дефицитом коксующихся углей. И здесь встаёт вопрос выбора - импортировать коксующиеся угли из зарубежных стран или разработать специальные методы, позволяющие снизить долю коксующихся углей в шихте.

Другой проблемой является получение адсорбентов, потребность в которых, по оценкам специалистов, составляет по РФ около 1 млн. тонн в год. Эта проблема особенно актуальна для Кузбасса, где качество питьевой воды зачастую находится ниже санитарной нормы.

Добыча, очистка, обогащение, утилизация угольного метана – еще одно направление, требующее внимания. В настоящее время метан из угольных пластов практически не используется, несмотря на то, что его ресурсы в Кузбассе оцениваются в объеме 13 трлн. куб. м. В то же время уже существуют различные методы утилизации метана. Например, путём каталитического разложения можно получать чистый водород и углеродные нановолокна, находящие применение в автомобильной промышленности, электронике и авиации. А путём селективного превращения метана в присутствии специальных катализаторов возможно получение ароматических углеводородов и чистого водорода.

В Институте разрабатываются способы активации органического вещества углей посредством применения различных физико-химических методов воздействия, например, озонирование, активация в низкотемпературной плазме в окислительных и восстановительных газовых средах, механоактивация, алкилирование и др. Целью использования данных методов модифицирования является регулирование реакционной способности углей в процессах их термической и химической переработки. В частности, разработан способ жидкофазного озонирования углей с получением на основе их органического вещества ценных алифатических и ароматических кислот – сырья для производства флокулянтов, полиэфирных смол, защитных покрытий и т.д. Использование предварительных механоактивации углей и окисления в кислородной плазме дает возможность значительно увеличивать адсорбционные характеристики получаемых из углей адсорбентов. Озонирование химических продуктов коксования, к примеру, каменноугольной смолы, позволяет существенно понизить канцерогенность и токсичность продуктов на ее основе, способствует увеличению выхода каменноугольного пека; обработка озоном сырого бензола ведет к снижению в его составе нежелательных примесей непредельных и сернистых соединений.

Целая лаборатория Института ведет разработку схемы комплексной переработки углей методами алкилирования и экстракции, позволяющей получать широкий спектр ценных химических продуктов для использования в сельском хозяйстве и промышленности. Одной из таких разработок является получение гуминовых препаратов из бурых и окисленных каменных углей. Угольные гуминовые вещества могут использоваться в сельском хозяйстве, повышая урожайность культур на 20-30 %, в промышленности, фармацевтике, а также для рекультивации нарушенных земель и очистки сточных вод. Из бурых углей можно извлечь так называемый горный воск, который находит применение в машиностроении, в качестве поверхностно-активных веществ, пластификаторов, полиролей и биологически активных веществ.

В области углеродных материалов в Институте ведутся разработки носителей катализаторов электродов для топливных элементов, которые являются перспективным источником энергии для широкого круга потребителей. Углеродный материал является носителем активного металла электрода топливного элемента, и повышение качества углеродного материала позволяет улучшить каталитические свойства и снизить содержание благородных металлов, используемых при изготовлении электродов. Сотрудниками института разработан и запатентован способ получения наноструктурного углеродного материала, названного «KEMERIT», из широкого спектра исходного сырья, включая и уголь. Этот материал имеет высокие удельную поверхность (до 3500 м²/г) и объём микропор (до 2 см³/г). С использованием материала KEMERIT был изготовлен топливный элемент, вольт-амперные характеристики которого оказались выше, чем у топливного элемента, изготовленного на одном из традиционных носителей. Этот же материал можно применять для изготовления суперконденсаторов. Суперконденсаторы используются в качестве перезаряжаемого источника постоянного тока как альтернатива литий-ионным аккумуляторам. Объем конденсатора заполняется углеродным материалом, в порах находится электролит. Электрическая ёмкость такого конденсатора может достигать нескольких сотен фарад.

Уникальная работа проведена в Институте по синтезу полимерных структур, которые могут быть использованы в топливных элементах. Металлополимерные нанокомпозиты, полученные из фенолов каменноугольной смолы, по своим электрическим характеристикам превосходят традиционные электролиты в топливных элементах. Изготовлен опытный образец топливного элемента с получением электрического тока. Высокая каталитическая активность нанокомпозитов сохраняется на протяжении не менее 5000 реакционных циклов.

В рамках работ по государственному контракту в Институте отработаны условия получения непрерывного углеродного волокна из каменноугольных продуктов. Это волокно является основой для изготовления конструкционных материалов нового поколения, обладающих повышенной прочностью и термостойкостью и пригодных для эксплуатации в экстремальных условиях. В рамках другого государственного контракта отработаны процессы получения термопластического связующего из каменноугольных продуктов в углерод-углеродных композитах. Образцы композитного материала, полученного на основе этого связующего, обладают прочностью на 40% выше, чем у образцов из промышленного сырья.

Как видно из представленного материала проблемы стоят серьезные и решить их можно только сообща. Большие надежды возлагаются на совместные работы с ВУЗами Кузбасса – КемГУ, КузГТУ, СибГИУ и другие. На стадии согласования находятся проекты создания с этими ВУЗами совместных научно-образовательных центров. С

тем, чтобы сохранить и преумножить имеющийся в Новокузнецке потенциал по коксохимии ведется подготовительная работа для открытия в СибГИУ лаборатории Института с перспективой развития ее до филиала Института. В настоящее время 6 профессоров и 5 доцентов ИУХМ СО РАН преподают в КузГТУ и КемГУ. В дальнейшем планируется активизировать деловые контакты с профильными факультетами и кафедрами ВУЗов, запустить постоянно действующую программу дипломирования студентов в лабораториях Института.

Большая поддержка оказывается всему КемНЦ СО РАН, и Институту в том числе, со стороны Администрации Кемеровской области. В апреле этого года на Коллегии Администрации Кемеровской области была рассмотрена и утверждена Стратегия развития химического комплекса Кемеровской области на период до 2025 года, в составе которой особое внимание уделено и вопросам глубокой переработки углей. В связи с этим дирекция Института будет работать с тем, что бы деятельность Института полностью соответствовала принятой Стратегии. Кроме того, в области действуют и специальные программы поддержки ученых, включая и молодежные программы. И конечно, реализация Программы Научного и технологического обеспечения социально-экономического развития Кемеровской области, утвержденной Президиумом СО РАН и Коллегией Администрации Кемеровской области 2,5 года назад, главная цель которой – научное обеспечение перевода Кузбасса с сырьевого пути развития на инновационный. И поскольку, как уже говорилось, Кузбасс – это угольный регион, то углехимия здесь занимает особое положение на пути превращения Кузбасса в ведущий российский технологический центр глубокой переработки природного сырья.

ПОЛУКОКСОВАНИЕ УГЛЕЙ В КУЗБАССЕ: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ

**В.С. Медяник, к.т.н., директор ООО «Завод полукоксования»,
г. Ленинск-Кузнецкий, факс: (8-256) 3-04-29, e-mail: mlipolukoks@mail.ru**

Процесс полукоксования углей (среднетемпературный пиролиз) является наиболее адаптивным в ряду технологий глубокой переработки углей. У него технически выгодный температурный интервал, он экономически менее затратен (по сравнению с высокотемпературным коксованием), он более привлекателен с точки зрения получения широкого спектра кондиционных химических продуктов с высокой добавленной стоимостью. На рис. 1 продемонстрированы основные температурные интервалы переработки углей от механического измельчения (0°C) до сжигания при температуре выше 1500°C.

Следует отметить, что процессы полукоксования и гидрогенизации позволяют получить моторные топлива, фенолы, адсорбенты широкого профиля, пиридановые основания, прекурсоры лекарственных препаратов и многие другие высокоценные химические продукты. В подтверждение этого на рис.2. приведены фрагменты исторического аспекта глубокой переработки углей в Кузбассе.

Получение академиком Н. Зелинским в 1916 г. жидких горючих фракций перегонкой сапромикситов можно считать отправной, «стартовой» датой глубокой переработки углей.

После открытия в 20-х годах XX века месторождения Барзасских сапропелитов ученые Москвы, Харькова, Томска в режиме полукоксования получили моторные топлива для тракторов и автомобилей. С одной тонны угля выгоняли почти 50 кг бензина, 80 кг керосина, большое количество дегтя. Не нужно быть современным экономистом, чтобы понять явную экономическую эффективность глубокой переработки в то время. В 30-х годах в Кузбассе уже работал сапропелитовый завод.



Рис. 1. Основные температурные интервалы переработки углей.

Завод стал опытным гидрогенизационным в 1938 г., когда в Германии был куплен патент стоимостью 50 млн. марок на способ получения искусственного жидкого топлива гидрированием угля. В конце 30х годов было достигнуто 90% ожижение угля в расчете на органическую массу, из полукоксовой смолы получали бензин-73 (117 т), лигроин (24 т), фенолы (5 т). В это время в Германии работало несколько заводов, которые производили сотни тысяч тонн моторного топлива из угля. Во время войны завод был перепрофилирован на производство толуола. Именно в это время (1943 г.) был сооружен завод полукоксования в г. Ленинск-Кузнецкий проектной мощностью 5 тыс. т полукокса. Фактически завод не справился с запланированными показателями, вместо 5 тыс. т производил 1,5 тыс. т горючего, которое оказалось непригодным к употреблению из-за его способности к осмолению. В докладе председателя Госплана СССР Н.А.Вознесенского (1946 г.) отмечалось: "Завод не может выполнить возложенного на него задания по выпуску моторного топлива, важнейший отход - полукокс становится основным продуктом завода, но он не имеет своего круга потребителей, а просто сжигать полукокс нерационально из-за его высокой стоимости".

Переработка углей – исторический аспект

- 1916 г – академик Н. Д. Зелинский: опыты с перегонкой сапромикситов, получение горючих жидких фракций
 - 1926-1929 гг – открыто месторождение Барзасских сапропелитов
- ```

graph LR
 A[1 т угля] --> B[41 кг бензина]
 A --> C[78 кг керосина]
 A --> D[деготь]

```
- Институты Москвы, Харькова, Томска
- 1932 г – первая установка полукоксования г. Кемерово (сапропелитовый завод)
  - 1934 г – куплен патент Германии по гидрированию угля
  - 1939 г – опытный гидрогенизационный завод ---117 т бензина  
24 т лигроина  
5 т фенолов
  - 1941 г прекращение работ по гидрогенизации угля, перевод на производство толуола (тринитротолуола)
  - 1943 г – строительство завода полукоксования, г. Ленинск-Кузнецкий  
проектная мощность 5 тыс. т моторных топлив (бензин, керосин, лигроин),  
основной отход – полукокс (120 тыс. т)  
фактически произведено: не более 1,5 тыс. т некачественного топлива
  - 1946 г – из доклада Председателя Госплана СССР «... завод (полукоксования) не может выполнить возложенного задания по выпуску моторного топлива ... отход производства полукокс не имеет определенного круга потребителей, сжигать полукокс нерационально, его производство убыточно ... прекратить строительство новых заводов полукоксования. ... »
  - до 1990 г – многочисленные реорганизации, прекращение деятельности
  - 1993 г – образование ФГУП «Завод полукоксования»
  - 1999 г - создание НПЦ глубокой переработки углей СО РАН
  - 2002 г - научно-практическая конференция «Проблемы глубокой переработки углей Кузбасса: состояние и перспективы»

Рис. 2. Этапы глубокой переработки углей в Кузбассе.

В последующие годы завод продолжал выпускать полукокс, мазут, битум, шпалопропиточное масло. Подвергался нескольким реорганизациям и к 1993 году представлял из себя полуразрушенное, в течение нескольких лет не функционирующее производство: оборудование разукomплектовано, здания приведены в негодность, отсутствовали водо- и теплоснабжение, электрокоммуникации.

Мы стали восстанавливать завод не с целью возобновить производство ИЖТ, а наладить выпуск карбонизированных продуктов, найти реальный рыночный сегмент полукоксу и его модификациям, освоить технологии переработки смол полукоксования, внедрить передовые наукоемкие технологии.

ООО «Завод полукоксования» - это единственное предприятие в России выпускающий полукокс. Благодаря высоким качественным характеристикам продукция предприятия успешно используется в цветной металлургии, производстве ферросплавов, активированных углей и ряда других отраслей промышленности.

В последнее время завод динамично развивается, активно преодолевая последствия спада, порожденного мировым финансовым кризисом. Так, выручка предприятия по итогам 2010 г. выросла в 2 раза по сравнению с 2009 г. По итогам первого полугодия текущего года по отношению к аналогичному периоду прошлого года: производство полукокса марки П-2 увеличилось на 42%, карбюризатора – на 47 %, масла каменноугольного – на 66%.

В 2010 г. три инвестиционных проекта завода полукоксования вошли в комплексный инвестиционный план модернизации и социально-экономического развития моногорода Ленинска-Кузнецкого. В рамках данных проектов на реконструкцию основного производства и на техническое перевооружение котельной предприятием уже было инвестировано более 10 млн. руб.

Следует отметить, что данные инвестиции способствовали созданию в 2011 г. 8-ми новых рабочих мест на предприятии.



Вагонперегрузчик

Открытый склад

Угольная башня 255 т/ч

Перегрузочный конвейер

Уголь ДКОМ 2,1 млн т/год

Воздух 225 тыс. м³/ч

Уголь

Блок газификаторов 63 шт.

Газ

Сорбенты 126 т/ч

Полукокс

Склад готовой продукции

Обратная вода

На сжигание в ТЭС

Производство метанола

Производство водорода

Энергоблок для обеспечения собственного производства

Котел-утилизатор

циклон

скруббер

Паровая турбина

Эл. генератор

Пар

на технологию

Конденсатор

тепловая энергия (горячая вода)

обратная вода

1292 млн кВт/ч

2474 тыс. Гкал/год

На рис. 3 приведена принципиальная схема энерготехнологического комплекса, которая является собой сто процентную модернизацию существующего производства. Однако без помощи академической науки нам, производителям, будет трудно говорить о реальном инновационном развитии углехимии в Кузбассе. Недавняя встреча академика А. Конторовича председателя Президиума КемНЦ СО РАН и директора Института углехимии и химического материаловедения СО РАН профессора З. Р. Исмагилова с депутатом ГД РФ, председателем наблюдательного совета промышленно-металлургического холдинга Б. Зубицким наглядное тому подтверждение. Следует отметить, что начиная с 1999 г. до 2005 г. завод представлял свою площадку ученым СО РАН для внедрения их разработок в производство. Был создан Научно-производственный центр глубокой переработки углей СО РАН с участием ведущих академических институтов Сибирского отделения: Института угля и углехимии, Объединенного института катализа, Новосибирского института органической химии, Института теплофизики, Института химии и химической технологии. Первыми проектами в портфеле Центра стали следующие научные разработки: производство активированных углей, изготовление и внедрение нового вида малодымного топлива на основе угля и полукокса, производство брикетированного и гранулированного топлива для коммунально-бытовых целей, технология переработки смолы полукоксования, демонстрационные установки по сжиганию низкосортного топлива и производству жидких углеводородов, другие проекты.

К сожалению, финансовый кризис, акционирование завода и другие объективные причины не позволили продолжить деятельность научно-производственного центра.

Я хочу выразить личную благодарность академикам Н. Добрецову, В. Пармону, Г. Толстикову; членам-корреспондентам РАН Г. Грицко, С. Алексеенко, профессорам Б. Кузнецову, А. Глушкову за активную помощь заводу в то нелёгкое время, поддержку и личное участие в судьбе нашего уникального предприятия по глубокой переработке угля. Создание Института углехимии и химического материаловедения СО РАН во главе с профессором З. Исмаиловым, углехимиком с мировым именем, а так же активная позиция академика А. Конторовича в части формирования инновационного углехимического направления в Кузбассе, становлении Угленаукограда – все эти события являются гарантом реального функционирования малотоннажной углехимии в самом ближайшем будущем.

Мы были бы признательны ученым в разработке и внедрении на площадке завода полукоксования следующих инновационных проектов:

- производство активированных углей;
- разработка малодымного топлива;
- производство брикетированного и гранулированного топлива;
- технология переработки смол полукоксования;
- сжигание низкосортного топлива;
- водоугольные технологии;
- производство жидких углеводородов;
- получение широкого спектра хим. продуктов (фенолы, пиридиновые основания, бензол, нафталин и т.д.);
- создание прекурсоров лекарственных препаратов;
- каталитическое сжигание, индукционные канальные печи и другие проекты.

Для разработки наукоемких технологий по комплексной энерготехнологической и энергохимической переработки углей, где производятся высокоценные продукты для металлургии, химии, фармакологии и т.п. необходимо в ряде случаев строительство опытных и опытно-промышленных установок. На наш взгляд строительство таких установок можно осуществлять не только на промплощадке ООО «Завода полукоксования», но и на ГП «Полифлок», ГП «Сибирский сорбент» (г.Ленинск-Кузнецкий).

## **ВЛИЯНИЕ АЛКИЛИРОВАНИЯ БУРОГО УГЛЯ И ТОРФА НА СОСТАВ И СВОЙСТВА ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ**

*К.х.н., С.И. Жеребцов, д.х.н., проф. З.Р. Исмаилов*

*Институт углехимии и химического материаловедения СО РАН, Кемерово*

*E-mail: [sizh@yandex.ru](mailto:sizh@yandex.ru)*

Селективное О-алкилирование, как один из путей модифицирования органической массы твердых горючих ископаемых (ТГИ), используется для увеличения выходов восков и смол из торфа и бурых углей [1, 2]. Алкилирование углей спиртами в условиях кислотного катализа приводит к модифицированию угольного вещества, что сказывается на увеличении количества экстрагируемых веществ, изменении их группового состава [3, 4].

В настоящее время проявляется повышенный интерес к гуминовым кислотам, которые благодаря своему полифункциональному составу и физико-химическим свойствам могут послужить основой разнообразных практически важных препаратов. В связи с этим исследование их химического состава и свойств в различных процессах является актуальной задачей.

Гуминовые вещества содержатся в больших количествах (до 70% на daf) в бурых углях, окисленных и выветрившихся каменных углях низкой стадии метаморфизма. Причина интереса к гуминовым веществам – наличие у них разнообразных специфических свойств, открывающих возможности их широкого практического использования во многих областях. Наибольшее внимание в настоящее время привлекает возможность создания на основе гуминовых веществ следующих препаратов :

- биостимуляторов для сельского хозяйства (как для растениеводства, так и для животноводства);
- комплексных гуматных удобрений и материалов для рекультивации земель;
- сорбционных и ионообменных материалов, которые представляют практический интерес в качестве сорбентов металлов из сточных вод, при дезактивации радиоактивных вод, для извлечения металлов из бедных руд; возможно приготовление очень широкого класса новых высокоактивных недорогих ионитов;
- реагентов для регулирования реологических свойств водных суспензий и растворов (для бурения скважин, производства керамики, приготовления водоугольного топлива - ВУТ);
- красителей для древесины, картона и технической бумаги.
- реагентов для производства аккумуляторов
- пеногасителей
- составов для литейного производства и сырых формовочных смесей
- составов для производство асфальта, битума и композитных материалов
- составов для жидких и консистентных смазок

- красок и промышленных покрытий
- типографских красок
- косметических и лекарственных средств
- 

#### *Происхождение и строение гуминовых веществ*

Гуминовыми веществами (ГВ) называют продукты, извлекаемые из торфа, почвы и углей водными растворами щелочей, а также нерастворимый гумин. Определение природных гуминовых веществ впервые было дано Свен-Оденом, и скорректировано Г. Л. Стадниковым [5]. Гуминовые вещества представляют собой аморфные образования неясной структуры от светло- до темно-бурого цвета, образующиеся в природе при разложении растительного материала, не растворимые в бензоле и обнаруживающие ясно выраженное сродство к воде.

Роль ГВ в природе многогранна и велика. По оценкам почвоведов, в биосфере в целом содержится углерода только в гуминовых кислотах порядка  $6 \times 10^{11}$  т, тогда как количество «живого» углерода —  $7 \times 10^{11}$  т [6].

Согласно принятой классификации, гуминовые вещества (ГВ) торфов и углей подразделяют в соответствии с их растворимостью. При обработке торфов и углей щелочью (NaOH) в раствор переходят гуматы - натриевые соли ГВ. При подкислении раствора в осадок выпадают гуминовые кислоты (ГК). Часть ГВ, оставшаяся в растворе, т.е. растворимая в слабых кислотах и воде называется фульвокислотами (ФК). Растворимая в этиловом спирте часть ГК называют гиматомелановыми кислотами (ГмК). Остаток ГК, не растворимый ни в воде, ни в слабых кислотах, ни в спирте, называют гумусовыми кислотами (ГумК). ГК и ФК - наиболее подвижная и реакционноспособная часть гуминовых веществ, активно участвующая в природных химических процессах [6-9].

В. Е. Раковским [10] различные точки зрения при рассмотрении роли отдельных составляющих в синтезе ГВ объединены в четыре группы.

Первая группа исследователей рассматривает гуминовые вещества как продукты превращения лигнина. Эта теория развивалась Г. Л. Стадниковым, получившим в лабораторных условиях из лигнина гуминоподобные вещества. Наряду с лигнином в схему образования включались и протеины. Балансовые опыты и разработанные тонкие методы выделения ГВ не подтверждали правомочность предложенных гипотез. ГК образуется больше, чем имеется лигнина, кроме того, они образуются и из растений, не содержащих лигнин.

Согласно другому взгляду особое значение в синтезе ГК играют вещества ароматической природы: фенолы, дубильные вещества и другие соединения ароматической природы. ГК содержат в своем ядре ароматические структуры разной степени конденсации. Схемы образования ГК из полифенолов и дубильных веществ предложены М.М. Кононовой и С.С. Драгуновым [11, 12].

Основную роль в механизме синтеза ГК углеводному комплексу отводит третья группа исследователей. Предполагается, что углеводы прямого участия в синтезе ГК не принимают, а являются лишь материалом для микробиологического «передела». На первой стадии образуются циклические соединения, или протогумины, в живом растении под действием его ферментов, на второй стадии после отмирания растения под действием микроорганизмов из протогуминов образуются мономеры ароматических структур, которые в дальнейшем в результате реакций конденсации образуют макромолекулы гуминовых кислот [6, 12].

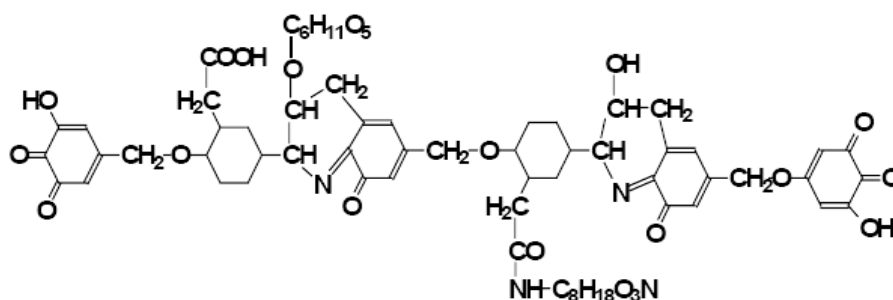


Рис. 1. Строение молекулы ГК почв по Драгунову [12]

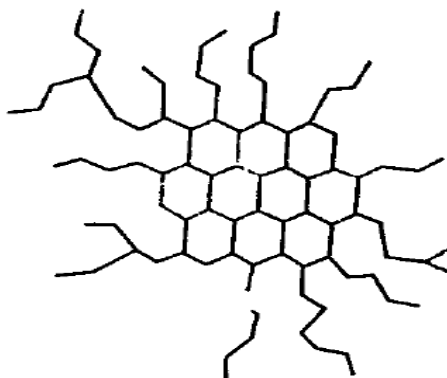
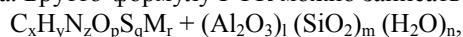


Рис. 2. Строение ГК угля по Касаточкину [8].

Согласно четвертому мнению гуминовые вещества образуются из любого исходного органического вещества. При этом скорость накопления ГК зависит от биохимической устойчивости составляющих растений и состава среды, которая может как ускорять, так и тормозить скорость процесса образования ГК. Например, сфагновые мхи содержат значительное количество фенолов-антисептиков, которые сдерживают распад растений и накопление ГК. Указывается, что гумификация растений в значительной мере может катализироваться минеральными компонентами, глинистыми минералами, в частности монтмориллонитом, катионами кальция и железа. В настоящее время последняя точка зрения на образование ГВ является наиболее признанной. [6].

Основными элементами, образующими молекулы ГК и ФК, являются углерод, водород и кислород [7, 8, 13]. Азот и сера содержатся в ГФК на уровне 1-5%, обязательной составной частью ГК и ФК являются микроэлементы и вода. Брутто-формулу ГФК можно записать в общем виде следующим образом:



где М - ионы металлов.

В зависимости от вида торфа, степени разложения и способа выделения ГК имеют элементный состав в следующих пределах: С = 46~61% (58.7), Н = 2.8 - 6.6% (5.0), О = 31-40% (32.9), N = 2-6% (3.4). Изменчивость состава ГК позволяет отнести их к соединениям с переменным строением [6]. Содержание функциональных групп ГК торфов представлено в табл.1.

Таблица 1. Химическая характеристика гуминовых кислот торфа [9]

| Образцы торфа | Содержание, % на сухое беззольное вещество |      |      |       |       |      |      |
|---------------|--------------------------------------------|------|------|-------|-------|------|------|
|               | С                                          | Н    | N    | О общ | COOH  | ОН   | CO   |
| 1             | 57.74                                      | 4.76 | 3.16 | 34.34 | 13.95 | 6.47 | 8.16 |
| 2             | 58.83                                      | 5.03 | 2.81 | 33.33 | 14.40 | 5.58 | 6.08 |
| 3             | 63.64                                      | 4.97 | 2.34 | 29.05 | 11.25 | 5.83 | 4.53 |
| 4             | 64.40                                      | 5.35 | 2.46 | 27.79 | 11.55 | 3.12 | 6.36 |

ГК углей принципиально не отличаются от гуминовых кислот торфа. Свойства бурых углей изменяются в зависимости от количественного содержания в них гуминовых кислот и качественного состава этих кислот.

Содержание функциональных групп в гуминовых кислотах в процессе углефикации изменяется согласно изменению содержания углерода. В табл. 2. показано, что на стадии бурых углей (65—80% С) более 80% имеющегося кислорода находится в форме функциональных групп. Малую долю среди этих групп составляют метоксильные группы, которые не обнаруживаются в углях с содержанием углерода более 75%. Основными формами активного кислорода являются карбоксильные группы и фенольные гидроксилы, содержание которых сильно изменяется с повышением степени углефикации — количество фенольных гидроксидов растет (с 35.6 до 52.2%), количество карбоксильных групп резко падает (с 30.4 до 3.7%). На стадии окисленных каменных углей (более 80% С) активный кислород определяется в основном в двух формах — фенольной и карбонильной, причем в углях, содержащих более 90% С, превалирует карбонильный кислород. При малом содержании кислорода в углях (2.5%) удастся определить наличие только одной функциональной группы — карбонильной, составляющей ~16% от всего количества кислорода, а остальные 84% находятся в форме так называемого неактивного кислорода [9, 14].

В работе [14] охарактеризованы концентрации кислородсодержащих групп в ГК бурого угля Болгарии. Методом гель-проникающей хроматографии на Sephadex G40 определена молекулярная масса наиболее легкой фракции – 4000 дальтон.

Таблица 2. Содержание функциональных групп в гуминовых кислотах углей, %

| Содержание в угле, % |      | Содержание функциональных групп в гуминовых кислотах, % |             |     |                  |            |                       |             |      |                  |            |
|----------------------|------|---------------------------------------------------------|-------------|-----|------------------|------------|-----------------------|-------------|------|------------------|------------|
|                      |      | на сухое беззольное вещество                            |             |     |                  |            | на суммарный кислород |             |      |                  |            |
| С                    | О    | COOH                                                    | ОН (фенол.) | CO  | OCH <sub>3</sub> | О (неакт.) | COOH                  | ОН (фенол.) | CO   | OCH <sub>3</sub> | О (неакт.) |
| 65.2                 | 28.7 | 9.0                                                     | 10.2        | 4.7 | 0.4              | 4.4        | 30.4                  | 35.6        | 16.3 | 1.4              | 16.3       |
| 69.9                 | 23.4 | 3.6                                                     | 9.6         | 3.9 | 0.9              | 5.4        | 15.4                  | 41.1        | 16.7 | 3.8              | 23.0       |
| 74.6                 | 16.8 | 1.5                                                     | 8.1         | 2.7 | 0.0              | 4.5        | 8.9                   | 48.2        | 16.1 | 0.0              | 26.8       |
| 77.3                 | 15.4 | 1.2                                                     | 8.1         | 2.9 | 0.0              | 3.2        | 7.8                   | 52.0        | 18.8 | 0.0              | 21.4       |
| 80.0                 | 13.4 | 0.5                                                     | 7.0         | 1.3 | 0.0              | 4.6        | 3.7                   | 52.2        | 9.7  | 0.0              | 34.4       |
| 82.8                 | 10.7 | 0.1                                                     | 1.2         | 0.6 | 0.0              | 8.8        | 0.9                   | 112         | 5.6  | 0.0              | 82.3       |
| 85.0                 | 8.2  | 0.0                                                     | 0.4         | 0.4 | 0.0              | 7.4        | 0.0                   | 4.9         | 4.9  | 0.0              | 90.2       |
| 89.7                 | 3.7  | 0.0                                                     | 0.1         | 0.6 | 0.0              | 3.0        | 0.0                   | 2.7         | 16.2 | 0.0              | 81.1       |
| 90.3                 | 3.4  | 0.0                                                     | 0.0         | 0.5 | 0.0              | 2.9        | 0.0                   | 0.0         | 14.7 | 0.0              | 85.3       |
| 92.8                 | 2.5  | 0.0                                                     | 0.0         | 0.4 | 0.0              | 2.1        | 0.0                   | 0.0         | 16.0 | 0.0              | 84.0       |

По химическому строению ГК относят к высокомолекулярным ароматическим оксикарбоновым кислотам. Основой их структуры является конденсированные системы, включающие алициклические и ароматические кольца, несущие боковые цепи и функциональные группы при ядре и в боковых цепях [8, 16].

Таблица 3. Содержание функциональных групп в гуминовых кислотах болгарского лигнита [14].

| Функциональные группы | Содержание, мг-экв/г |
|-----------------------|----------------------|
| Сумма кислых групп    | 5.1-6.8              |
| COOH                  | 3.5-4.5              |
| Фенольные ОН          | 1.6-2.3              |
| Карбонильные группы   |                      |
| Кетоновые             | 1.0-2.0              |
| Хинолиновые           | 1.0-1.3              |
| Метоксильные группы   | 0.3-1.3              |

Комисаровым и Логиновым предложена структурная формула мономера ГК бурого угля, содержащая ядро из конденсированных ароматических структур [17]:

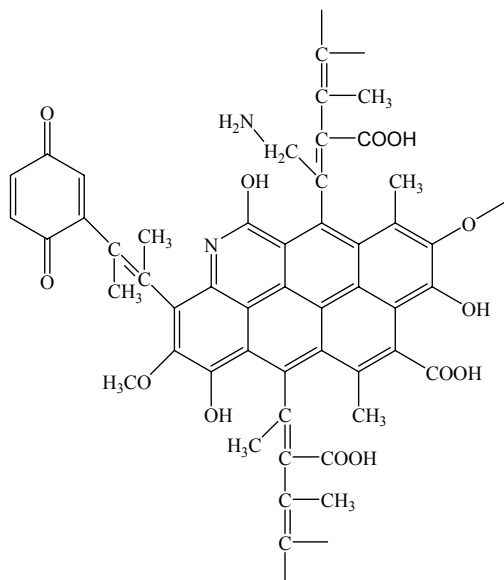


Рис. 3. Фрагмент молекулы ГК угля [17].

Идея построения молекулы ГК из конденсированного ядра и рыхлой периферии в настоящее время наиболее достоверна. В работе [18] методами <sup>13</sup>C ЯМР и пиролиза исследованы ГК, ФК и ГумК торфа и бурого угля миоценового бассейна в Гранаде. Найдено, что в процессе ранней углефикации происходит потеря углеводов, приводящая к аккумулярованию полиалкилов в остатке. Гуминовые фракции обоих объектов содержат большие количества ароматических и алифатических структур. Авторы приходят к выводу, что в процессе образования

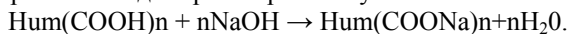
торфа и ранней углефикации происходила селективная потеря углеводов и постепенная перестройка лигнина с деполимеризацией, деалкилированием и дефункционализацией. Алкил-ароматические структуры составляют основу скелетных фрагментов в обоих объектах и устойчивы к дальнейшему разложению. Отмечена схожесть химического строения гуминовых фракций и типичного керогена.

*Фульвокислоты (ФК)* различных торфов имеют следующий элементный состав: С = 40 - 52%; Н = 4 - 6%; N = 2-6%; О = 40-48%. Качественный состав функциональных групп такой же, что и у ГК, но количество гидроксильных и метоксильных групп у ФК больше. Емкость поглощения у ФК больше, чем у ГК.

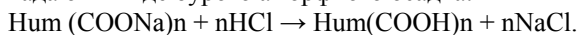
*Гиматомелановые кислоты (ГМК)* низинного торфа по данным [13, 19] имеют следующий элементный состав: С = 62.4 - 62.8%, Н = 6.57 - 6.91%, N = 2.43 - 2.53%, О = 27.3-27.6%. Отношение атомных процентов, характеризующих степень конденсированности, для этих кислот самое низкое: С/Н = 0.74—0.79. В состав ГМК входят метоксильные (ОСН<sub>3</sub>), гидроксильные (ОН), карбоксильные (СООН), карбонильные (СОН) группы. Содержание их соответственно равно 2.0; 3.3; 2.7 и 1.6 мг-экв/г.

*Физико – химические свойства гуминовых кислот* определяются главным образом количественным и качественным составом кислородсодержащих функциональных групп, который определяется природой исходного объекта извлечения ГК и способом их извлечения. На буроугольной стадии более 80% кислорода ГК присутствует в форме карбоксильных и фенольных гидроксидов, которые отвечают за адсорбцию, ионный обмен и межмолекулярное взаимодействие [20].

Основной особенностью ГК является их способность давать соли. Соли одновалентных катионов (Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) растворимы в воде; на этом свойстве основано выделение ГК из торфа, угля, почв. Так, обработка торфа раствором NaOH дает растворимые гуматы Na:

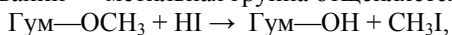


При нейтрализации отфильтрованного раствора гуматов Na и последующего подкисления HCl до pH=1-2 ГК выпадают в виде бурого аморфного осадка:



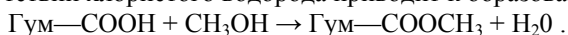
Гуминовые кислоты характеризуются наличием различных функциональных групп: метоксильных, карбоксильных, гидроксильных (фенольных и спиртовых), карбонильных, гетероциклических атомов кислорода и др.

Метоксильные группы определяют путем обработки гуминовых кислот иодистоводородной кислотой при нагревании — метильная группа отщепляется в виде легколетучего йодистого метила (т. кип. 45 °С)

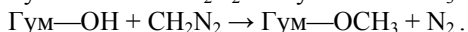
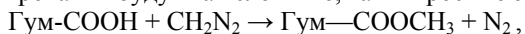


улавливаемого раствором нитрата серебра с образованием осадка AgI, определяемого взвешиванием.

Присутствие в гуминовых кислотах карбоксильных и гидроксильных групп было установлено метилированием этих кислот метиловым спиртом и диазометаном. Метилирование метиловым спиртом в присутствии хлористого водорода приводит к образованию сложных эфиров:



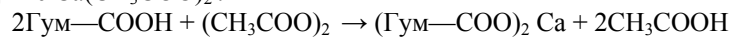
Определяя в полученном продукте содержание метоксильных групп, судят о содержании карбоксильных групп в гуминовых кислотах. Если же метилирование проводить эфирным раствором диазометана, в продуктах метилирования будут как сложные, так и простые эфиры:



Определяя затем содержание метоксильных групп и зная количество этих групп, связанных в виде сложных эфиров, по разности между вторым и первым метилированием определяют число гидроксильных групп, участвующих в образовании простых эфиров.

С целью определения характера гидроксильных групп (спиртовые или фенольные) гуминовые кислоты метилируют диметилсульфатом, который образует простые эфиры только с фенольными гидроксилами. Вычитая из определенного ранее общего содержания гидроксидов содержание фенольных гидроксидов, можно определить спиртовые гидроксиды.

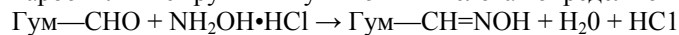
Содержание карбоксильных групп в гуминовой кислоте определяется хемосорбционным методом — по реакции с Ca(CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub>:



и титрованием выделившейся уксусной кислоты щелочью.

В настоящее время для определения суммарного содержания карбоксильных и фенольных групп широко применяется хемосорбционный метод, основанный на химической абсорбции гуминовыми кислотами раствора едкого бария. Количество связанного едкого бария принимается за меру содержания карбоксильных и фенольных групп в гуминовой кислоте.

Карбонильные группы в гуминовых кислотах определяют по реакции с солянокислым гидроксиламином



а по расходу щелочи на титрование выделившейся соляной кислоты судят о содержании карбонильных групп.

*Вопрос о молекулярных массах гуминовых кислот (ММ)* не решен, что связано с полидисперсностью ГК, ограниченной растворимостью, переменным составом и сильной окраской. Для ГК ММ, найденные химическими методами, находятся в пределах 1300—130000, физические методы осмометрии, криоскопии, вискозиметрии дают величины 700—26000, методы центрифугирования и светорассеяния — 30000—80000. Такие различия обусловлены высокой полидисперсностью ГК [6].

Одним из наиболее эффективных методов разделения ГК на фракции по молекулярным весам является гель-хроматография [19, 21, 22].

Для полидисперсных систем различают [21] среднечисловую молекулярную массу – усреднение по числу молекул в полимере:

$$\overline{M}_n = \frac{\sum n_i M_i}{\sum n_i},$$

где  $n_i$  – число  $i$ -тых молекул с молекулярной массой  $M_i$ ;  
средневесовую – усреднение по массе молекул в полимере :

$$\overline{M}_w = \frac{\sum n_i M_i^2}{\sum n_i M_i},$$

и среднюю:

$$\overline{M}_z = \frac{\sum n_i M_i^3}{\sum n_i M_i^2}$$

Для монодисперсных систем  $M_n = M_w = M_z$ , для полидисперсных — равенство не соблюдается, причем  $M_z > M_w > M_n$ .

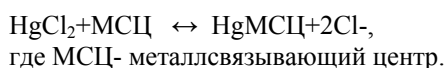
Свойства ГК определяются наибольшей по массе фракцией, поэтому физические свойства лучше должны коррелировать со значениями средневесовых ММ. Обобщив многочисленные данные, Д. С. Орлов [21] приходит к выводу, что для ГК среднечисловые ММ лежат в пределах от 1500 - 2000 до 8000 – 20000. ГК обычно содержат (в разном количестве) следующие фракции с  $M_w$  : 5000 — 10000, 15000 — 20000, 30000 — 40000, 50000 — 70000 и 300000 — 600000. Менее всего встречаются две крайние фракции. Кроме того, ГК с  $M_w > 70000$  представлены ассоциатами ГК.

Ряд работ посвящен анализу функционального состава гуминовых веществ, их структурному строению, связи детоксицирующих свойств гумусовых кислот с их строением, а также прогнозу их реакционной способности [13, 19, 23, 24]. Количественно охарактеризован детальный фрагментный состав гуминовых и фульвокислот (ГФК) вод, почв, торфа и угля. Показано, что в структуре ГФК торфа спиртовые гидроксилы в основном принадлежат полисахаридным фрагментам. Показано, что содержание сложноэфирных групп в ГК выше, чем в ФК. Предложен набор из 12 структурных фрагментов, позволяющих детально описать структуру ГФК различного происхождения:  $CC=O$ ,  $CCOON$ ,  $CCOOR$ ,  $CArON$ ,  $CArOR$ ,  $CArH$ ,  $CArC$ ,  $CO-Alk-O$ ,  $CCHON$ ,  $CCH_2ON$ ,  $COCH_3$ ,  $CAk$ . Установлена взаимосвязь структуры и детоксицирующих свойств ГФК по отношению к  $Cu^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$ ,  $Pb^{2+}$ . Обогащенность ГФК ароматическими структурами с  $COON$  и  $ON$  заместителями максимально связана с детоксицирующими свойствами. Это подтверждает предположение о высоком вкладе салицильных фрагментов в комплексообразование ГФК. Повышение количества салицилатных фрагментов в молекулах ГФК вызывает прочное связывание в комплекс и снижает концентрацию токсичной свободнорастворенной формы металлов.

Независимо от источника происхождения ГФК обладают сильными хелатирующими свойствами и могут быть использованы для закрепления либо иммобилизации металлов в почве.

Для получения зависимостей “структура-свойство” обычно применяют метод корреляционных соотношений. Данный метод основан на проведении корреляционно-регрессионного анализа между блоком параметров, описывающих структуру исследуемых соединений (так называемых структурных дескрипторов), и физико-химическими параметрами, характеризующими прогнозируемое свойство. В [23] в этих целях использованы дескрипторы состава, расширенные за счет характеристик распределения элементов между основными функциональными группами.

В работе [24] в отношении механизма детоксицирующего действия ГФК была выдвинута гипотеза, что оно обусловлено конкурентным комплексообразованием  $Hg(II)$  с ГФК, протекающим согласно следующему уравнению реакции:



То есть, в основе механизма детоксицирующего действия ГФК лежит связывание  $Hg(II)$  в нетоксичные гуматы.

Перминовой [19] разработана общая методология анализа и прогноза свойств гумусовых кислот в терминах состава – элементного, структурно-группового, молекулярно-массового - с помощью дескрипторов с построением моделей на основе множественной регрессии. Разработаны выбор количественных условий регистрации  $^{13}C$ -ЯМР спектров, ПМР-методика совместного определения водорода скелетных фрагментов и функциональных групп. Теоретически обоснован выбор полидекстранов в качестве образца сравнения для определения молекулярных масс. Сделан вывод о комплексообразовании, как основном механизме детоксикации  $Hg(II)$  и полиароматических углеводов (ПАУ) гумусовыми кислотами.

Гуминовыми удобрениями принято считать широкий ассортимент веществ, получаемых из торфов и углей, содержащих гуминовые кислоты. Гуматы калия, натрия и аммония оказывают существенное влияние на водно-физические и физико-химические свойства почвы:

- повышают влагоёмкость легких почв (в среднем на 30%), способствуя образованию агрономически ценной комковато-зернистой структуры;
- улучшают порозность и водопроницаемость тяжелых почв, препятствуя образованию трещин, корок;
- способствуют аэрации и воздухопроницаемости почвенного профиля, оптимизируя корневое дыхание растений и окислительно-восстановительный режим почвы в целом;
- регулируют реакции ионного обмена между почвой и водными растворами;
- влияют на буферную емкость почв, тем самым способствуя поддержанию естественного уровня pH даже при избыточном поступлении кислых или щелочных агентов.

При использовании гуматов в сельском хозяйстве отмечают следующее:

- увеличивается урожайность зерновых, кормовых и овощных культур в среднем на 10-30%;
- повышается всхожесть семян и их прорастание;
- улучшается обмен веществ у растений, повышается поглощение минеральных веществ, усиливается корнеобразование;
- улучшается приживаемость рассады и растений при пересадке;
- увеличивается сопротивляемость растений к болезням, заморозкам и засухе,
- снижается содержание нитратов, пестицидов, ионов тяжёлых металлов и радионуклидов, что позволяет говорить о возможности применения гуматов для рекультивации и обеззараживания почв.

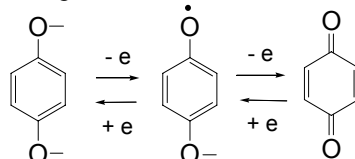
Действие гуминовых веществ на высшие растения проявляется следующим образом: гормональное воздействие; улучшение проникновения минеральных элементов через корни растений; предварительное ферментативное расщепление с образованием стимулирующих соединений; участие в окислительно – восстановительных процессах растительной клетки [25].

Найдено [26], что гуминовые кислоты проникают как в отдельные органы растения, так и в клеточные органеллы: хлоропласты, митохондрии и ядра. Гуминовые кислоты положительно влияют на ускорение синтеза РНК и т-РНК, и таким образом, ускоряют синтез белка в целом.

Большое внимание привлекает способность гуминовых веществ повышать устойчивость растений к неблагоприятным факторам внешней среды: избыточным дозам минеральных удобрений, высоким или низким температурам, химическим средствам защиты растений, радиации и др. [27, 28]. В работах [29-31] отмечено стимулирующее действие малых доз гумусовых веществ на развитие растений, на использование ими азота минеральных удобрений. Выявлено уменьшение отрицательного влияния высоких доз минерального азота при внесении в качестве стимулятора гуминовых веществ. Известен факт, что стимулирующее действие гуматы проявляют в небольших концентрациях [32]. Большие дозы гуматов (выше 0,1%) угнетают развитие растений.

Объектом исследований в работе [33] была связь стимулирующего действия буроугольных гуматов калия с содержанием суммы кислых групп – карбоксильных и фенольных гидроксильных. На основании проведенных экспериментов не удалось обнаружить прямую зависимость физиологической активности гуминовых кислот от содержания в них карбоксильных и фенольных гидроксильных.

С другой стороны считается [34], что биологическая активность гуминовых кислот определяется способностью участвовать в окислительно-восстановительных реакциях в растительной клетке и усилением этих процессов согласно теории Баха – Паладина - Сент-Дьёрди, т.е. с содержанием хиноидных групп и фенольных гидроксильных, а также содержанием свободных радикалов.



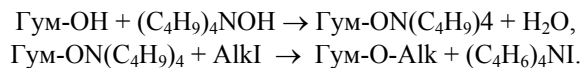
Гуминовые кислоты в виде водорастворимых форм принимают активное участие в окислительно-восстановительных процессах клетки, являясь с одной стороны источником активированного кислорода, с другой - акцептором водорода. Последствие гуминовых удобрений объясняется образованием новых количеств гуминовых кислот при окислительно-гидролитической деструкции остаточных углей в почве.

Был исследован [35] ряд природных и модифицированных гуминовых веществ. В целях модифицирования были применены реакции гидролиза, восстановления, алкилирования метилом, отщепления алкильных фрагментов. Структурные и конформационные изменения этих гуминовых производных были оценены элементным анализом, эксклюзионной хроматографией (HPSEC), твердотельным ядерным магнитным резонансом ( $^{13}\text{C}$  CPMAS-NMR). Биологическая активность была оценена изменениями в строении корня и активации «протонного насоса» на примере томата и кукурузы. Все гуминовые производные показали большую биологическую активность по сравнению с первоначальным образцом. Окисленные в  $\text{KMnO}_4$ , а также алкилированные метилом гуминовые вещества являются самыми эффективными. Зависимость между биологической активностью и молекулярной массой гуминовых веществ не подтвердилась. В то же время, индекс гидрофобности оказался важным и связанным со стимуляцией «протонного насоса». Предложено объяснять это



тем, что гидрофобный домен гуминового вещества заключает внутри себя биологически активные молекулы, подобные ауксином. При контакте с органическими кислотами, поступающими из корня, гидрофобные силы нарушаются и биологически активные компоненты высвобождаются.

В работе [36] описано О-алкилирование кислых групп гуминовых веществ карбоксилов и фенольных гидроксильных с применением катализа фазового переноса по методике, разработанной Liotta R. [37-39]. О-алкилирование осуществляется с использованием гидроокиси тетрабутиламмония и первичного алкил-галогенида по схеме:



Реакции О-алкилирования была подтверждена элементным анализом, а также  $^1\text{H-NMR}$ , CPMAS  $^{13}\text{C-NMR}$  и спектроскопией FTIR. При таком алкилировании в результате фазового переноса полярные фенольные и карбоксильные соединения превращаются в менее полярные эфиры, а это, в свою очередь, разрушает ассоциаты макромолекул. Анализ О-алкилированных производных показал присутствие простых и сложных эфирных производных гидроксильных и карбоксильных функциональных групп. Методика имеет целью уменьшение размеров интермолекулярных ассоциатов у О-алкилированных проб гуминовых веществ с дальнейшим изучением отдельных макромолекул аналитическими методами. Благодаря тому, что реакция протекает при «мягких» условиях – нормальных условиях окружающей среды и коротком времени контакта, данная методика рекомендуется для алкилирования гуминовых веществ с целью дальнейшего изучения их природы.

Целью эксперимента в настоящей работе является исследование связи содержания карбоксильных и фенольных активных функциональных групп с параметрами алкилирующей модификации торфа и бурого угля.

Объектами исследования были гуминовые кислоты, выделенные из исходных и алкилированных верхового торфа Крапивинского месторождения Кемеровской области (обменная кислотность  $\text{pH}=5.0$ , степень разложения  $R=25\%$ ) и битуминозного бурого угля месторождения Маячное Южно-Уральского бассейна. Данные технического и элементного анализа торфа и бурого угля представлены в табл. 4., характеристики ГК исходных объектов – в табл. 5.

Таблица 4. Технический и элементный анализ торфа и бурого угля

| Объект      | $W_a$ | $A^d$ | $V^{daf}$ | $C^{daf}$ | $H^{daf}$ | $S_t^a$ | $(O+N)^{daf}$<br>по разности |
|-------------|-------|-------|-----------|-----------|-----------|---------|------------------------------|
| Торф        | 11.2  | 13.4  | 72.6      | 46.77     | 8.08      | 2.49    | 42.66                        |
| Бурый уголь | 5.3   | 20.0  | 63.6      | 58.51     | 6.81      | 5.91    | 28.77                        |

Таблица 5. Характеристики гуминовых кислот исходных торфа и бурого угля

| Источник    | Элементный состав,<br>% на daf |      | Атомные отношения |      | Выход,<br>% на daf | Функциональный состав,<br>мг-экв/г |      |              |
|-------------|--------------------------------|------|-------------------|------|--------------------|------------------------------------|------|--------------|
|             | C                              | H    | C/H               | H/C  |                    | ОН<br>фенол.                       | COOH | COOH<br>+ ОН |
| Торф        | 45.08                          | 5.49 | 0.68              | 1.46 | 32.4               | 4.5                                | 2.0  | 6.5          |
| Бурый уголь | 57.33                          | 7.40 | 0.65              | 1.55 | 73.5               | 2.9                                | 2.1  | 5.0          |

Воздушно-сухие образцы торфа и бурого угля крупностью менее 0.2 мм, массой 5 г алкилировали бутанолом при температуре кипения суспензии в присутствии фосфорной кислоты в качестве катализатора. Параметры модифицирования (объем бутанола  $x_1$ , концентрация кислоты  $x_2$  в бутаноле, продолжительность модифицирования  $x_3$ ) варьировали согласно матрице планирования эксперимента (табл. 6) [40].

Таблица 6. Кодирование параметров алкилирования торфа (бурого угля)

| Уровень фактора | Количество бутанола, мл ( $x_1$ ) | Концентрация кислоты, % ( $x_2$ ) | Продолжительность, час ( $x_3$ ) |
|-----------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| -1              | 70 (25)                           | 1                                 | 0.5                              |
| 0               | 120 (50)                          | 5                                 | 3                                |
| 1               | 170 (75)                          | 9                                 | 5.5                              |

Алкилированные образцы обрабатывали последовательно гексаном и спиртобензолом, выделившиеся в ходе алкилирования и отделенные от катализатора экстрагированные вещества суммировали с первыми и получали общий выход битумов. В качестве контроля исходный образец подвергали последовательной экстракции бутанолом, гексаном и спиртобензолом. Данные по суммарному выходу битумов представлены в табл. 7.

Свободные ГК выделяли из алкилированных и затем энтбитуминированных проб угля и торфа 1% раствором натриевой щелочи в воде при нагревании. Полученный раствор натриевых солей ГК подкисляли HCl, выпавший осадок отделяли фильтрованием, промывали дистиллированной водой, высушивали и направляли на

аналитические исследования. В качестве контрольных образцов использовали ГК, выделенные из энтбитуминированных исходных тофа и угля. Массовое содержание ГК в образце определяли по [41].

Суммарное содержание кислых групп ГК определяли по методике Драгунова, описанной в [42]. Карбоксильные группы определяли по реакции с 0.1н. раствором  $\text{NaHCO}_3$ , с последующим титрованием 0.1н. раствором  $\text{HCl}$  до  $\text{pH}=4.35$  [43]. ИК-спектры ГК регистрировали на спектрометре "Perkin-Elmer FTIR 2000". Хромато-масс-спектры экстракционных битумов сняты на хроматографе с масс-селективным детектором Hewlett Packard G 1800 A GCO.

По полученным экспериментальным данным был проведен расчет и определены коэффициенты регрессии в уравнениях зависимости содержания фенольных ( $y_1$ ), карбоксильных ( $y_2$ ) и суммы кислых групп ( $y_3$ ) гуминовых кислот от технологических параметров. После исключения незначимых коэффициентов, получены следующие уравнения регрессии для ГК торфа:

$$y_1 = 5.0 + 0.1x_1 + 0.4x_1^2 + 0.3x_2 + 0.1x_2^2 - 0.3x_3 + 0.1x_3^2 + 0.4x_1x_2 + 0.7x_2x_3 \quad (1)$$

$$y_2 = 1.8 - 0.3x_1 - 0.2x_2 - 0.2x_2^2 + 0.1x_3 + 0.1x_3^2 - 0.1x_1x_2 - 0.1x_1x_3 - 0.1x_2x_3 \quad (2)$$

$$y_3 = 5.5 - 0.4x_1 + 0.3x_1^2 + 0.8x_2 - 0.3x_2^2 + 0.3x_3 - 0.1x_3^2 - 0.1x_1x_2 - 0.5x_1x_3 - 0.1x_2x_3 \quad (3).$$

Уравнения регрессии для ГК бурого угля следующие:

$$y_1 = 5.1 + 0.1x_1 + 0.3x_1^2 - 0.1x_2 + 1.2x_2^2 - 0.1x_3 - 0.1x_3^2 + 0.2x_1x_2 + 0.3x_1x_3 + 0.6x_2x_3 \quad (4)$$

$$y_2 = 1.8 - 0.2x_1 + 0.1x_1^2 - 0.3x_2^2 + 0.3x_3^2 + 0.1x_1x_2 - 0.2x_1x_3 - 0.9x_2x_3 \quad (5)$$

$$y_3 = 6.9 - 0.1x_1 + 0.4x_1^2 - 0.1x_2^2 - 0.2x_3 + 0.2x_3^2 + 0.2x_1x_2 + 0.1x_1x_3 + 0.5x_2x_3 \quad (6).$$

Полученные уравнения адекватны при уровне значимости  $\alpha = 0.05$ .

Экспериментальные данные показали, что алкилирование по-разному проявляется на выходе ГК и их функциональном составе в случае торфа и бурого угля (табл.7). При увеличении концентрации кислоты и времени алкилирования торфа происходит более глубокая деполимеризация органического вещества торфа. При этом в структуре ГК, видимо, раскрываются новые карбоксильные группы. Это сопровождается высоким выходом битумов на стадии алкилирования, а также высоким выходом ГК на стадии гидролиза (опыт 5-7, табл. 7). Максимальный выход ГК достигает 48% в расчете на даф модифицированного торфа, что в 1.5 раза выше выхода ГК из исходного торфа. ГК, соответствующие максимальному выходу, содержат наибольшее количество кислых групп (рис. 4).

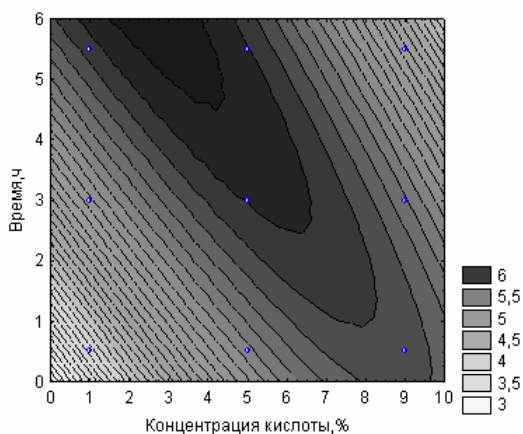


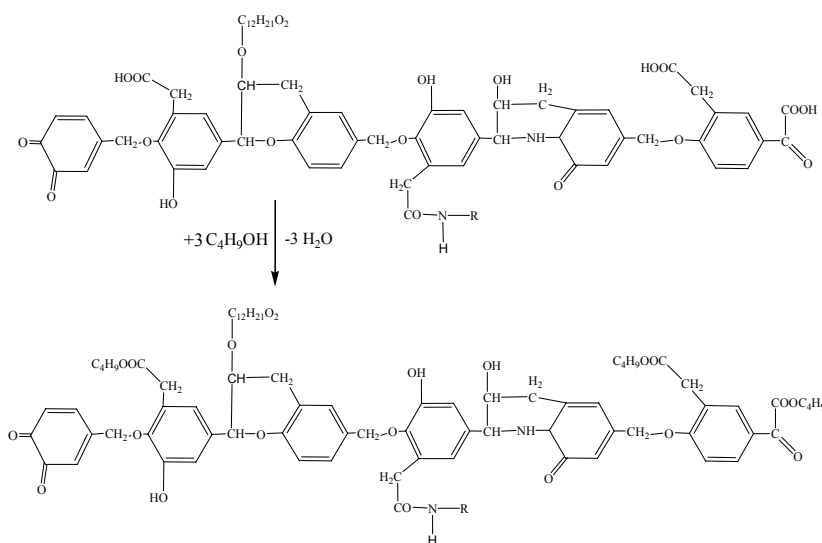
Рис. 4. Зависимость содержания суммы кислых групп ГК торфа (мг-экв/г) от условий алкилирования.

Таблица 7. Влияние алкилирования на выход ГК и состав кислых групп

| №           | Параметры<br>алкилирования<br>x <sub>1</sub> x <sub>2</sub> x <sub>3</sub> |    |    | Суммарный<br>выход битумов<br>% на daf | Выход ГК,<br>% на daf<br>источника | Функциональный<br>состав, мг-экв/г |      |              |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------|----|----|----------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------|--------------|
|             |                                                                            |    |    |                                        |                                    | ОН<br>фенольн.                     | COOH | COOH<br>+ ОН |
| Торф        |                                                                            |    |    |                                        |                                    |                                    |      |              |
| исходный    |                                                                            |    |    | 2.5                                    | 32.4                               | 4.5                                | 2.0  | 6.5          |
| 1           | -1                                                                         | -1 | -1 | 3.4                                    | 35.1                               | 1.9                                | 2.2  | 4.1          |
| 2           | 0                                                                          | -1 | 0  | 6.8                                    | 45.1                               | 2.3                                | 2.1  | 4.4          |
| 3           | -1                                                                         | -1 | 1  | 6.6                                    | 40.9                               | 3.9                                | 2.0  | 5.9          |
| 4           | 0                                                                          | 0  | -1 | 9.5                                    | 30.7                               | 3.1                                | 2.0  | 5.1          |
| 5           | -1                                                                         | 0  | 0  | 19.6                                   | 48.4                               | 4.0                                | 2.2  | 6.2          |
| 6           | 1                                                                          | 0  | 1  | 31.0                                   | 47.7                               | 4.5                                | 2.3  | 6.8          |
| 7           | -1                                                                         | 1  | -1 | 12.1                                   | 47.1                               | 3.9                                | 2.1  | 6.0          |
| 8           | 1                                                                          | 1  | 0  | 29.7                                   | 46.5                               | 4.1                                | 2.1  | 6.2          |
| 9           | 0                                                                          | 1  | 1  | 32.2                                   | 48.2                               | 2.3                                | 1.8  | 4.1          |
| Бурый уголь |                                                                            |    |    |                                        |                                    |                                    |      |              |
| исходный    |                                                                            |    |    | 12.5                                   | 73.5                               | 2.9                                | 2.1  | 5.0          |
| 1           | -1                                                                         | -1 | -1 | 21.3                                   | 62.5                               | 6.6                                | 1.9  | 8.5          |
| 2           | 0                                                                          | -1 | 0  | 24.4                                   | 60.9                               | 4.8                                | 1.8  | 6.6          |
| 3           | -1                                                                         | -1 | 1  | 29                                     | 55.9                               | 4.6                                | 2.4  | 7.0          |
| 4           | 0                                                                          | 0  | -1 | 42.9                                   | 81.5                               | 5.2                                | 2.1  | 7.3          |
| 5           | -1                                                                         | 0  | 0  | 26.4                                   | 49.9                               | 5.3                                | 2.1  | 7.4          |
| 6           | 1                                                                          | 0  | 1  | 51.3                                   | 36.6                               | 5.6                                | 1.7  | 7.4          |
| 7           | -1                                                                         | 1  | -1 | 36.7                                   | 45.2                               | 5.0                                | 2.0  | 7.0          |
| 8           | 1                                                                          | 1  | 0  | 26.7                                   | 30.7                               | 5.8                                | 1.5  | 7.3          |
| 9           | 0                                                                          | 1  | 1  | 34.6                                   | 49.3                               | 5.6                                | 1.7  | 7.3          |

Состав кислых групп зависит от условий модифицирования торфа. Наибольшее влияние оказывают концентрация кислоты и время. Это хорошо видно по коэффициентам  $x_2$  и  $x_3$  в уравнениях регрессии (1-3) для ГК торфа. Наибольшей вариабельностью обладает количество фенольных групп. Эта величина нарастает со временем алкилирования и с увеличением концентрации кислоты и в максимуме приближается к содержанию фенольных групп у ГК, полученных из исходного торфа.

Таким образом, алкилирование торфа позволяет увеличить выход гуминовых кислот в 1,5 раза с 33% до 48%, при этом содержание в них кислых групп (суммы карбоксильных и фенольных) закономерно уменьшается вследствие протекания реакций этерификации:



Иначе проявляется алкилирование бурого угля на выходе ГК и их функциональном составе. Алкилирование бурого угля повышает выход восков и смол, но уменьшает выход ГК. Максимальному суммарному выходу битумов – 50% на daf соответствует минимальный выход ГК - 30% на daf.

Алкилирование ГК, полученных из исходных торфа и бурого угля, показало, что они обладают различной растворимостью в бутаноле. Во время алкилирующей обработки гуминовые вещества торфа остаются в твердой фазе, а большая часть гуминовых веществ бурого угля переходит в раствор. Это свойство сказывается на увеличенном выходе ГК из предварительно алкилированного торфа и уменьшении выхода ГК из предварительно алкилированного бурого угля. С увеличением концентрации минеральной кислоты и времени алкилирования бурого угля выход ГК уменьшается с 72% до 30% на daf (опыт 8, табл. 7.) . Таким образом, на стадии каталитического алкилирования бурого угля часть ГК выходит в экстракт. В то же время битумы бурого угля (включая часть выделившихся ГК) имеют преимущественно алифатический характер. По данным хромато-масспектроскопии (ХМС) битумоиды алкилированного бурого угля представлены в основном бутиловыми эфирами алифатических монокарбоновых кислот (преимущественно C<sub>22</sub>, C<sub>26</sub>, C<sub>28</sub>, C<sub>30</sub>). Значительный выход сложных бутиловых эфиров алифатических карбоновых кислот (около 64%) свидетельствует об относительно большом содержании алифатических кислот в органическом материале угля, а также о существенном вкладе реакции этерификации в ходе алкилирования угля.

Результаты ИК-спектроскопии подтверждают характерные особенности, описанные выше. ИК - спектры ГК из исходных и алкилированных торфа и бурого угля имеют общий для ГК набор полос поглощения [44]. Установлено присутствие карбоксильных и карбонильных (1720-1700 см<sup>-1</sup>), гидроксильных групп (3400, 1256 см<sup>-1</sup>), эфирного кислорода (1650 см<sup>-1</sup>), CH<sub>3</sub> и CH<sub>2</sub>-групп (2930 и 2860, 1465 см<sup>-1</sup>), ненасыщенных и ароматических C=C связей (1600 см<sup>-1</sup>). В области 1720-1600 см<sup>-1</sup> наблюдаются различия для ГК торфа и бурого угля: для ГК торфа полоса поглощения при 1720 см<sup>-1</sup> проявляется в виде плеча при широкой сложной полосе с максимумом при 1600 см<sup>-1</sup>, а для бурого угля это две раздельные полосы. После алкилирования появляется пик эфирного кислорода в средней части этой области (1650 см<sup>-1</sup>). Сопоставление отношений оптических плотностей полос поглощения кислородсодержащих групп при 3400см<sup>-1</sup> (связанные водородной связью гидроксилы), 1720 см<sup>-1</sup>(карбоксильные группы) и при 1256 см<sup>-1</sup> (фенольные гидроксилы) показывает, что основной формой активного кислорода во всех образцах ГК являются гидроксилы. Полуколичественным методом сравнения относительных значений оптических плотностей (D) для частот в максимумах поглощения [44] показаны отличия в составе ГК торфа и бурого угля и изменения, происходящие в результате алкилирования (табл. 8).

Согласно данным табл. 5. выход ГК из исходного бурого угля выше выхода ГК из исходного торфа в два раза. Элементный состав и атомные отношения Н/С различны и указывают на присутствие большого количества алифатических фрагментов в молекулярной структуре ГК бурого угля и ароматических фрагментов – в ГК торфа. Данные ИК-спектроскопии также свидетельствуют о меньшем содержании в составе ГК торфа алифатических фрагментов, по сравнению с ГК бурого угля, (ниже интенсивность валентных колебаний метильных и метиленовых групп при 2930 и 2860 см<sup>-1</sup>) и более значительном содержании ароматических структур (выше интенсивность полос при 1600 см<sup>-1</sup>) – табл. 8. Суммарное содержание кислых групп ГК торфа составляет 6.5 мг-экв/г, ГК бурого угля – 5 мг-экв/г. Различия обусловлены большим содержанием фенольных групп в ГК торфа. Содержание карбоксильных групп в ГК из этих объектов примерно одинаково.

Таблица 8. Характеристика ГК торфа и бурого угля по данным ИК-спектроскопии\*

| Параметры<br>алкилирования                     |    |    |    | Частоты поглощения, см <sup>-1</sup>     |      |      |      |      |
|------------------------------------------------|----|----|----|------------------------------------------|------|------|------|------|
|                                                |    |    |    | 2930                                     | 1720 | 3400 | 1600 | 1256 |
|                                                |    |    |    | D частоты поглощения / D <sub>1465</sub> |      |      |      |      |
| ГК торфа                                       |    |    |    |                                          |      |      |      |      |
| исходного                                      |    |    |    | 1.25                                     | 1.43 | 1.86 | 1.67 | 1.26 |
| Оп. 3                                          | -1 | -1 | 1  | 1.29                                     | 1.42 | 1.75 | 1.71 | 1.23 |
| Оп. 9                                          | 0  | 1  | 1  | 1.08                                     | 1.36 | 2.06 | 1.86 | 1.28 |
| Продукт алкилирования ГК исходного торфа       |    |    |    |                                          |      |      |      |      |
|                                                | -1 | -1 | -1 | 1.44                                     | 1.24 | 1.53 | 1.28 | 0.97 |
| ГК бурого угля                                 |    |    |    |                                          |      |      |      |      |
| исходного                                      |    |    |    | 1.61                                     | 1.28 | 1.17 | 1.21 | 0.93 |
| Оп. 1                                          | -1 | -1 | -1 | 1.5                                      | 1.29 | 1.36 | 1.32 | 1.01 |
| Оп. 9                                          | 0  | 1  | 1  | 1.34                                     | 1.24 | 1.34 | 1.22 | 0.92 |
| Продукт алкилирования ГК исходного бурого угля |    |    |    |                                          |      |      |      |      |
|                                                | -1 | -1 | -1 | 1.55                                     | 1.23 | 1.08 | 1.13 | 0.89 |

\*Оптическая плотность в максимуме полосы при частоте (см<sup>-1</sup>) отнесена к оптической плотности при 1465 см<sup>-1</sup> для связи С-Н.

ИК спектры битумов бурого угля также показывают рост интенсивности полос при 2920, 2850, 1465  $\text{см}^{-1}$ , что характеризует большую долю алифатических составляющих, вышедших в экстракт при алкилировании бутанолом. Отношение числа алифатических связей по отношению к ароматическим ( $D_{2930}/D_{1600}$ ) в ГК из бурого угля уменьшается для образцов, подвергшихся алкилированию. Чем выше концентрация минеральной кислоты и время модифицирования, тем меньше алифатических составляющих в извлекаемых ГК. Возрастает количество ароматических сопряженных  $\text{C}=\text{C}$ -связей и, соответственно, фенольных гидроксидов. Для ГК из алкилированного бурого угля относительное количество фенольных гидроксидов ( $D_{1256}/D_{1465}$ ) увеличивается. Это согласуется с данными химического функционального анализа. Содержание фенольных групп в два раза выше, чем у ГК исходного бурого угля (табл. 7). Это достигается уже при самом щадящем режиме алкилирования (1% минеральной кислоты, время 30 мин.). Оптическая плотность характеристической полосы поглощения карбоксильных групп и относительная величина  $D_{1720}/D_{1465}$  зависят от условий модифицирования и уменьшаются с увеличением продолжительности процесса алкилирования образцов. Локальный минимум содержания суммы кислых групп в ГК алкилированного бурого угля соответствует максимуму выхода битумов (рис. 5, 6), что является следствием этерификации наибольшего количества кислых групп в условиях, соответствующих максимальному выходу битумов на стадии алкилирующего воздействия и последующей экстракции.

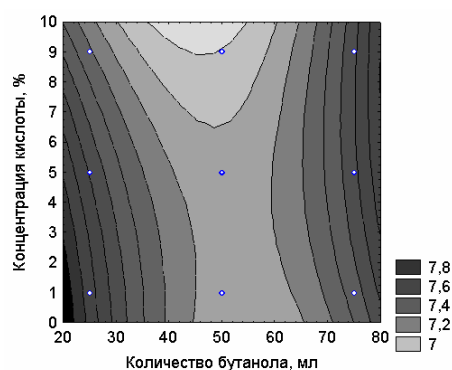


Рис. 5. Зависимость содержания суммы кислых групп ГК БУ (мг-экв/г) от условий алкилирования.

Количественное отношение алифатических компонентов к ароматическим в гуминовых кислотах из модифицированных объектов уменьшается, что объясняется извлечением преимущественно алифатических веществ на стадиях алкилирования и экстрагирования битумов.

Поскольку алкилирование бурых углей и торфа повышает относительное содержание фенольных функциональных групп в гуминовых кислотах, а это должно быть связано с изменением биологической активности образцов ГК [33, 34], были проведены сравнительные тесты на биологическую активность гуминовых препаратов, полученных из исходных и алкилированных объектов.

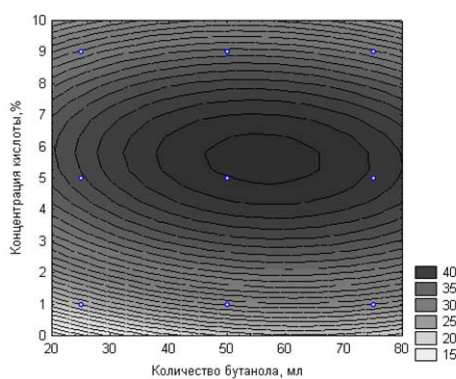


Рис. 6. Выход суммы экстрагируемых веществ (%) из бурого угля в зависимости от условий алкилирования.

Была применена методика приготовления биологически активных препаратов гуминовых веществ, изложенная в [45]. Результаты испытаний показали, что концентрация гуминовых препаратов (при pH 6.8) должна составлять от 0.005% до 0.02%. В экспериментах использовалась сортовая пшеница “Ирень”. Результаты испытаний на биологическую активность представлены в табл. 9.

Таблица 9. Биологическая активность образцов гуматов натрия

| Источник гуминовых веществ     | Концентрация гумата натрия, % | Длина первичного корня семян пшеницы, мм | Всхожесть семян пшеницы, % |
|--------------------------------|-------------------------------|------------------------------------------|----------------------------|
| Торф исходный                  | 0.02                          | 24.1                                     | 90                         |
| Бурый уголь исходный           | 0.02                          | 23.5                                     | 90                         |
| Контрольный опыт (без гуматов) | 0.00                          | 23.2                                     | 92                         |
| Торф алкилированный            | 0.02                          | 58.3                                     | 90                         |
| Бурый уголь алкилированный     | 0.02                          | 60.7                                     | 86                         |
| Контрольный опыт (без гуматов) | 0.00                          | 53.6                                     | 90                         |

Результаты экспериментов показали повышенную биологическую активность гуматов, полученных из алкилированных объектов. Например, длина первичного корня семян пшеницы, подвергнутых обработке гуматами алкилированного бурого угля Кумерау-Маячный, увеличилась до 60.7 мм по сравнению с контрольным опытом (53.6 мм), а в случае обработки гуматами исходного угля практически не изменилась: 23.5 мм (23.3 мм – контроль). Для торфа те же показатели составляют соответственно, 58.3 мм и 24.1 мм.

#### Выводы:

Влияние алкилирующей модификации торфа и бурого угля на состав функциональных групп ГК как торфа, так и бурого угля иллюстрируется уменьшением количества карбоксильных групп в ГК вследствие их этерификации.

Алкилирование торфа приводит к увеличению выхода ГК. Содержание кислых функциональных групп в ГК модифицированного торфа уменьшается. Алкилирование бурого угля уменьшает выход ГК, поскольку часть ГК выходит в битумы на стадии алкилирования и экстракции. Содержание кислых функциональных групп в ГК модифицированного бурого угля в отличие от торфа возрастает, главным образом за счет увеличения содержания фенольных групп.

Алкилирование бурого угля и торфа приводит к относительному повышению содержания фенольных групп в гуминовых кислотах и, как следствие, к увеличению биологической активности гуматных препаратов к семенам пшеницы.

В настоящее время существует несколько точек зрения на механизм стимулирующего действия гуминовых веществ и его связь со свойствами гуматов. В связи с этим необходимо выполнить систематические исследования, направленные на выявления связи между свойствами, происхождением сырья для получения гуматов, их собственных особенностей и наличием у гуминовых препаратов биологической активности по отношению к конкретным организмам.

#### Список литературы:

1. Жеребцов С.И. Модифицирование бурого угля метанолом. // Химия твердого топлива. 1997. № 4. С. 32-34.
2. Жеребцов С.И. Взаимодействие углей низких стадий метаморфизма с метанолом // Химия твердого топлива. 2007. №3. С. 60-70.
3. Сивакова Л.Г., Жеребцов С.И., Смотрина О.В. Влияние алкилирования торфа и бурого угля на состав кислых групп гуминовых кислот // Химия твердого топлива. 2005. №5. С.24-30.
4. Жеребцов С.И., Исмагилов З.Р. Бурый уголь как альтернативный углехимический ресурс Кузбасса. // Международная научно-практическая конференция «Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов» в рамках XVIII международной специализированной выставки «Уголь России и Майнинг», 7-10 июня 2011 года, г. Новокузнецк
5. Стадников Г.Л. происхождение углей и нефти. М.изд-во АН СССР. 1937. 611с.
6. Лиштван И.И., Базин Е.Т., Гамаюнов Н.И., Терентьев А.А. Физика и химия торфа: Учебное пособие для вузов. - М.: Недра. 1989. 304 с.
7. Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почв. М., Изд-во МГУ, 1974, 287 с.
8. Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации. Изд-во МГУ, М., 1990, 325 с
9. Камнева Л.И. Химия горючих ископаемых. М., «Химия». 1974. 272 с.
10. Раковский В.Е., Пигулевская Л.В. Химия и генезис торфа. М. Недра. 1978.
11. Кононова М.М. Органическое вещество почвы. М: Изд-во МГУ, 1963.
12. Драгунов С.С. Методы исследования гумусовых веществ. Труды почв. инст. им. Докучаева. 1951. т. 38. с. 86-98.
13. Ковалевский Д. В. Исследование структуры гумусовых кислот методами спектроскопии ЯМР  $^1\text{H}$  и  $^{13}\text{C}$ . Дисс. канд. хим. наук. Москва. 1998. 140 с.
14. Кухаренко Т. А. Окисленные в пластах бурые и каменные угли. М. Недра. 1972. 214 с.

15. *Stefanova M., Velinova D., Marinov S.P. and Nikolova R.* The composition of lignite humic acids. *Fuel*. v. 72. № 5. p. 681-684.
16. *Русьянова Н.Д.* Углекислоты. М. Наука. 2000. 316 с.
17. *Комиссаров И.Д., Логинов Л.Ф.* // Труды Тюменского СХИ, 1970, т. XIV, с. 131.
18. *Gonsales-Vila F.J., del Rio J.C., Almendros G. and Martin F.* Structural relationship between humic fraction from peat and lignites from the Miocene Granada basin. *Fuel*. 1994. V. 73. № 2. p. 215-221.
19. *Перминова И.В.* Анализ, классификация и прогноз свойств гумусовых кислот. Дисс. докт. хим. наук. Москва. 2000. 359 с.
20. *Камнева А.И., Платонов В.В.* Теоретические основы химической технологии горючих ископаемых. М. Химия. 1990. 288 с.
21. *Орлов Д.С.* Химия почв. М., Изд-во МГУ, 1992, 259 с.
22. *Janos P., Tokarova V.* Characterization of coal-derived humic substances with the aid of low pressure gel permeation chromatography. *Fuel*. 2002. 81 C. 1025-1031.
23. *Данченко Н.Н.* Функциональный состав гумусовых кислот: определение и взаимосвязь с реакционной способностью. Дисс. канд. хим. наук. Москва. 1997. 137с.
24. *Жилин Д.М.* Исследование реакционной способности и детоксицирующих свойств гумусовых кислот по отношению к соединениям ртути (II). Автореф. дисс. канд. хим. наук. Москва. 1998. 24 с.
25. *Драгунов С.С.* Химическая характеристика гуминовых кислот и их физиологическая активность // Гуминовые удобрения. Теория и практика их применения. 1980. 7. С. 5-21.
26. *Фокин А.Д., Бобырь Л.Ф., Епишина Л.А., Кравцова Л.В.* О проникновении гумусовых веществ в клетки растений // Гуминовые удобрения. Теория и практика их применения. 1975. 5. С.57-59.
27. *Христева Л.А.* Действие физиологически активных гуминовых кислот на растения при неблагоприятных внешних условиях // Гуминовые удобрения. Теория и практика их применения. 1973. 4. С. 5-23.
28. *Горова А.И., Кулик А.Ф.* Клеточные механизмы природной и модифицированной физиологически активными веществами сопротивляемости сельскохозяйственных растений к повреждающему действию пестицидов // Гуминовые удобрения. Теория и практика их применения. 1980. 7. С. 74-106.
29. *Александрова И.В.* О физиологической активности гумусовых веществ и продуктов метаболизма микроорганизмов // Органическое вещество целинных и освоенных почв. М. Наука. 1972. С. 30-69.
30. *Александрова И.В.* Органическое вещество почвы и азотное питание растений // Почвоведение. 1977. №5. С. 31-38.
31. *Александрова И.В.* О физиологической активности органических веществ специфической и индивидуальной природы // Почвоведение. 1983. №11. С. 22-32.
32. *Христева Л.А.* Физиологическая функция гуминовой кислоты в процессах обмена высших растений // Гуминовые удобрения. Теория и практика их применения. 1957. 1. С.97.
33. *Апраксина С.М., Думбай И.Н., Дуленко В.И.* Гуматы бурых углей различных месторождений, их получение и свойства // Пути переработки углей Украины. Киев. Наук. думка. 1988. С. 98-106.
34. *Кухаренко Т.А.* Структура гуминовых кислот, их биологическая активность и последствие гуминовых удобрений // Химия твердого топлива. 1976. №2. С.24-31.
35. *Dobbs L.B., Canellas L.P., Olivares F.L. et al.* Bioactivity of Chemically Transformed Humic Matter from Vermicompost on Plant Root Growth // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2010. Vol. 58. № 6. P.3681-3688.
36. *Piccolo A., Conte P., Patti A. F.* O-Alkylation of a lignite humic acid by phase-transfer catalysis // *Anal Bioanal Chem*. 2006. P. 994-1001.
37. *Liotta R., Rose K., Hippo E.* O-Alkylation Chemistry of Coal and Its Implication for the Chemical and Physical Structure of Coal. *Journal of Organic Chemistry*. 1981. № 46. - P.277-283.
38. *Liotta R., Brons G.* Coal. Kinetics of O-Alkylation. *Journal of the American Chemical Society*. 1981. V.103.- P. 1735-1742.
39. *Liotta R.* Treatment of coal to increase yields and improve physical characteristics of coal liquefaction distillates and bottoms. Пат. США № 4259168, заявл. 23.08.79 № 69064, опубл. 31.03.81.
40. *Карамышева Ф.Н., Жучкова А.Н.* Методические рекомендации по планированию эксперимента в технологии стройматериалов. (Планы II порядка на "кубе" размерности 2 и 3). Челябинск, УралНИИИстромпроект, 1973. С. 41.
41. *Тайц Е.М., Андреева И.А.* Методы анализа и испытания углей.- М., Недра, 1983.- С.301.
42. *Орлов Д.С., Гришина Л.А., Ерошичева Н.Л.* Практикум по биохимии гумуса. Изд-во МГУ, 1969. 156 с.
43. *Фролов Ю.Т., Федосеев А.С., Авруцкая С.Г.* Разработка методов исследования поверхности углеродных материалов. М., 1987. 14 с.- Деп. В ВИНТИ 17.07.87. № 6161-B87.
44. *Беллами Л.* Инфракрасные спектры сложных молекул. Изд-во Иностран. лит. М., 1963. 590 с.
45. Практикум по растениеводству. Под ред. П.П.Вавилова, В.В.Грищенко, В.С.Кузнецова. Москва: Колос. 1983. 352 с.

## АЛКИЛИРОВАНИЕ УГЛЕЙ И ТОРФА СПИРТАМИ

*К.х.н. С.И. Жеребцов, д.х.н., проф. З.Р. Исмагилов*

*Институт углехимии и химического материаловедения СО РАН, Кемерово*

*E-mail: [sizh@yandex.ru](mailto:sizh@yandex.ru)*

В процессах получения тепла и электроэнергии угли выступают как альтернативное сырье нефти и природному газу. Однако, использование в энергетике низкосортных бурых углей, окисленных и выветрившихся форм каменных углей низких стадий метаморфизма представляется нерациональным. То же самое можно сказать и о торфе.

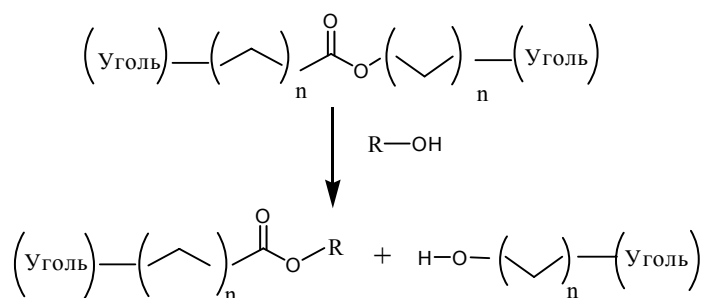
В то же время в этих ископаемых присутствует широкий класс химических соединений – экстракционные битумы, гуминовые вещества, которые возможно использовать в различных отраслях промышленности. Таким образом, твердые горючие ископаемые (ТГИ) могут выступать как альтернативное нефти и газу источник разнообразных ценных химических продуктов, имеющих высокий рыночный спрос. Одним из основных технологических приемов для получения практически важных веществ из ТГИ является экстракция.

В настоящее время основным продуктом экстракционной переработки ТГИ является горный воск и соли гуминовых кислот (гуматы). Крупнейший производитель буроугольных восков в мире – ROMONTA GmbH (Германия) выпускает до 30 тыс.т. восков в год, что составляет более 80% мирового производства. В России воски не производятся, и их дефицит в стране по экспертным оценкам составляет около 5 тыс.т./год.

С целью повышения извлечения восков из торфов и бурых углей применяют различные растворители или добавки к ним, а также новые высокопроизводительные экстракторы. Все методы ориентированы на традиционный вид сырья – высокобитуминозные бурые угли или торф. С другой стороны, химическое модифицирование торфов и углей в целях повышения выхода или получения обогащенных экстракционных продуктов может вовлечь в переработку низкобитуминозные формы ТГИ, либо кардинально улучшить существующие технологии.

Алкилирование органической массы (ОМ) ТГИ является одним из наиболее эффективных способов увеличения их растворимости. Селективное О-алкилирование углей и торфов, совмещенное с экстракцией позволяет избирательно увеличивать выход битумов из ТГИ, включая спирты, карбоновые кислоты, длинноцепочечные сложные эфиры нормального строения, стероидные и тритерпеновые структуры и др. Кроме того, в результате алкилирования органическая масса углей насыщается водородом и при пиролизе или термическом ожигении дает продукты, с повышенным содержанием водорода, что важно в плане получения жидких топливных фракций.

Наиболее реакционно-способные объекты для такого вида модифицирования – торфа, бурые угли, каменные угли низких стадий метаморфизма и их окисленные формы, а также сапропелиты и сапромикситы, структура которых представляет собой плотноупакованные полиметиленовые цепи алифатических соединений, что при подходящих методах деполимеризации и модифицирования может послужить основой для получения горного воска, алифатических карбоновых кислот, жидкого топлива и других ценных продуктов. Применение процессов алкилирования и, в особенности О-алкилирования, молодых твердых горючих ископаемых (ТГИ), содержащих большое количество кислородсодержащих функциональных групп приводит к значительной деполимеризации их структуры в мягких условиях:



Отказ от применения высоких температур в процессах переработки такого рода позволяет сохранить набор ценных соединений, присутствующих в продуктах экстракции модифицированных ТГИ. Различные методы окисления твердого остатка после экстракции дают возможность получать с высоким выходом полифункциональные карбоновые кислоты и их ангидриды, а на базе алкилатов и оксигенатов ТГИ – сложные эфиры мономерного и полимерного строения разнообразного состава и назначения.

В настоящее время важнейшие продукты нефтехимии можно получать углехимическим путем. В большинстве процессы химической переработки угля весьма многостадийны и технически более сложны, чем соответствующая технология переработки нефти, так что для равного выпуска химической продукции надо использовать более высокие капитальные вложения. В этой связи несомненной актуальностью обладают исследования, направленные на получение ценных соединений практически напрямую из различных видов



твердых горючих ископаемых (ТГИ). К ним можно отнести экстракционные процессы, модифицирование ТГИ различными химическими и физическими методами, что приводит к увеличению или реакционной способности ТГИ или селективности процессов переработки по интересующим продуктам.

Многочисленные исследования в этом направлении в основном носят теоретический характер из-за применения экзотических катализаторов или малораспространенных и дорогих реагентов, а также жестких условий проведения реакций. Практическое решение проблемы в настоящее время лежит в поисках крупнотоннажных, легкодоступных, активных реагентов и катализаторов, и способов химического воздействия на угольное вещество при минимальных энергетических и капитальных затратах.

Таким образом, открывается принципиальная возможность получения исходных веществ для органического синтеза из нового вида сырьевого ресурса – ТГИ, альтернативного нефти и газу. Задача разработки научных основ новых и усовершенствование традиционных технологий комплексной переработки ТГИ является актуальной и требует решения.

Ранее было выдвинуто [1-3] предположение о возможности наиболее эффективного модифицирования угольного вещества алкилированием его спиртами  $C_1-C_5$  в присутствии сильных протонных кислот с целью увеличения выхода экстрагируемых веществ.

Выбор данных реагентов обоснован их высокой активностью, доступностью и возможным технологическим оформлением процесса с получением ценного продукта экстракции угля – горного воска.

Наличие в составе органического вещества твердых горючих ископаемых (ТГИ) широкого ряда различных классов химических соединений предопределяют интерес к ним, как к источнику разнообразных химических продуктов. К продуктам, получаемым методом экстракции бурых углей и торфов, относятся воски, смолы, гуминовые вещества.

В качестве объектов исследования были выбраны типичные твердые горючие ископаемые низкой стадии метаморфизма: каменные и битуминозные бурые угли, а также низкобитуминозные плотные бурые угли и торф местных месторождений.

Каменный уголь марки "Д" Караканского месторождения Кузнецкого бассейна.

Бурые угли: Тисульского месторождения Канско-Ачинского бассейна – участок Кайчакский и Итатского месторождения Канско-Ачинского бассейна и их естественно-окисленные формы.

Битуминозные бурые угли: Александровского месторождения Днепровского бассейна и месторождений Южно-Уральского бассейна – Маячного (участок Кумертау) и Тюльганского.

Сапропелит: Барзасского месторождения Кемеровской области.

Торф: Крапивинского месторождения Кемеровской области.

Технический и элементный анализ ТГИ осуществлялся стандартными методами, соответствующими стандартам международной организации стандартизации: ИСО 602-74, ИСО 562-74 – для технического и ИСО 625-75 – для элементного анализов. Характеристики исследуемых образцов ТГИ приведены в таблице 1.

Образцы углей и торфа были модифицированы алкилированием спиртами  $C_1-C_5$  в присутствии протонных кислот в жидкой фазе согласно схеме, приведенной на рис.1. Процесс осуществлялся при температуре кипения смеси ТГИ-спирт-кислота и атмосферном давлении при варьировании соотношений реагентов и продолжительности обработки согласно матрицам планирования экспериментов. В качестве катализаторов использованы серная кислота (СК), бензолсульфокислота (БСК), орто-фосфорная кислота (ОФК). Затем пробы подвергались экстракционной обработке по Грефе [4] последовательно гексаном и смесью этилового спирта и бензола, взятых в соотношении 1:1 по объему (спиртобензол). В качестве спиртового экстракта учитывался освобожденный от кислот-катализаторов экстракт, полученный в ходе алкилирующего модифицирования. В целях получения нативных продуктов экстракции и их сравнения с модифицированными, пробы ТГИ обрабатывались теми же растворителями в идентичных условиях без применения катализаторов. В экспериментах проводилось фракционирование битумоидов, при этом гексановый экстракт соответствует обессмоленному горному воску, спиртовый и спиртобензольный экстракты – различным фракциям смолистых веществ.

В целях получения зависимостей, количественно отражающих влияние основных факторов процесса алкилирования угля метанолом на результаты модификации, была применена методика планирования эксперимента с получением регрессионных уравнений.

Состав битумоидов модифицированных и исходных ТГИ, изучали с привлечением методов ИК-, ЯМР  $^{13}C$ -, ЯМР  $^1H$ - и хромато-масс-спектрографии (ХМС). Разделение битумов на фракции осуществляли тонкослойной хроматографией и элюентным фракционированием. Запись ИК-спектров проводили на спектрометре «Bruker TENZOR-27». Хромато-масс-спектрометрический (ХМС) анализ проводили на хроматографах с масс-селективным детектором Hewlett Packard G 1800 A GCO и Agilent 6890N/5973 Inert. Содержание индивидуальных соединений регистрировали по полному ионному току. Надежность идентификации по библиотекам масс-спектров NIST-2 и NIST-8 превышала 90%. Спектры ЯМР регистрировали на приборе WP-200 фирмы "Bruker Physik AG".

Экстрагирование модифицированных образцов показало значительное увеличение экстрагируемых веществ, в том числе алифатического строения.

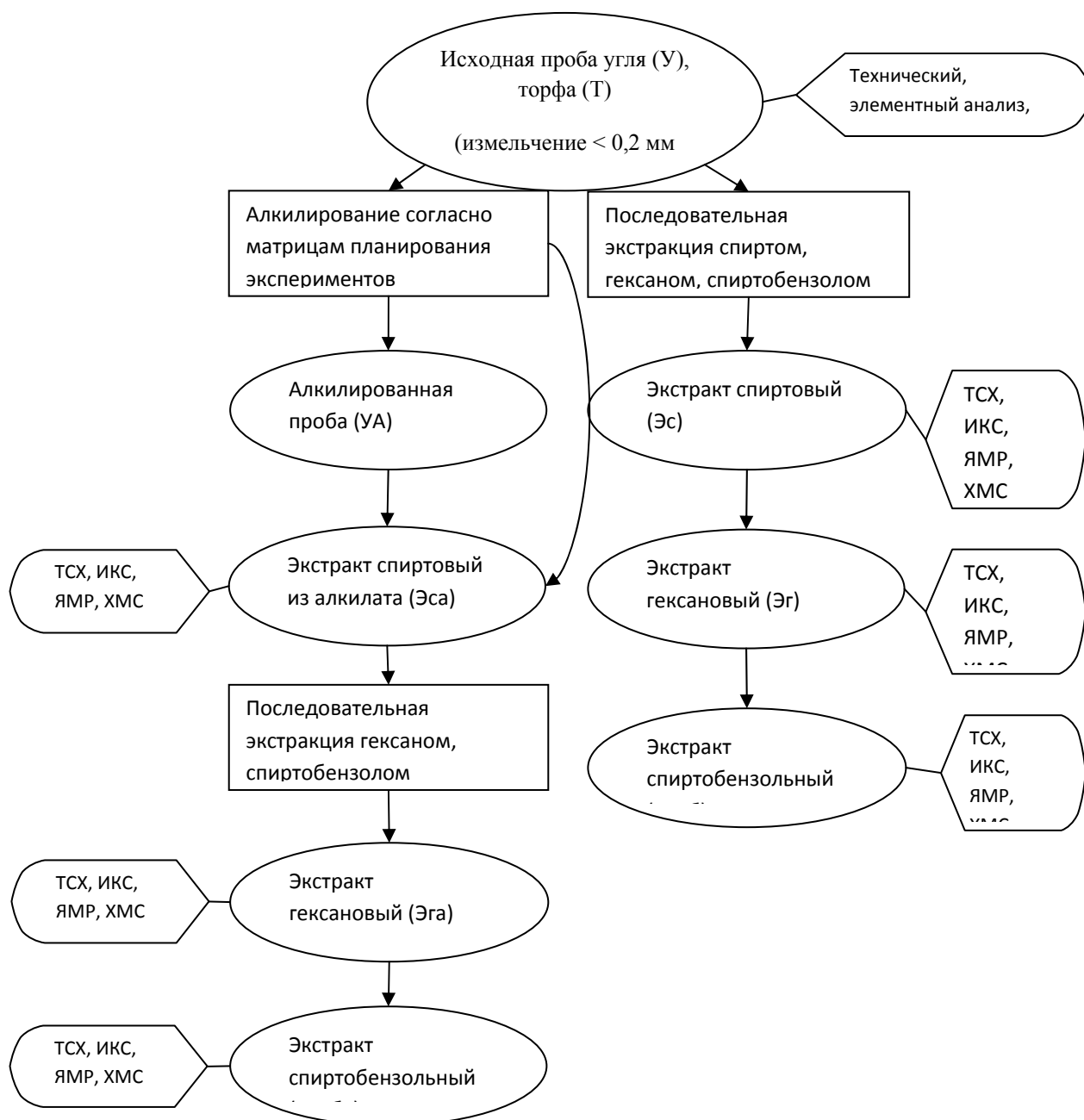


Рис. 1. Схема исследования ТГИ и полученных из них экстрактов.

Таблица 1. Данные технического и элементного анализа исследуемых образцов, % масс.

| Образец угля или торфа                                   | W <sup>a</sup> | A <sup>d</sup> | V <sup>daf</sup> | C <sup>daf</sup> | H <sup>daf</sup> | (O+N+S) <sup>daf</sup> по разности |
|----------------------------------------------------------|----------------|----------------|------------------|------------------|------------------|------------------------------------|
| Каменный уголь «Д» Караканского месторождения            | 5.50           | 8.7            | 37.7             | 77.3             | 5.2              | 17.5                               |
| Бурый уголь Тисульского месторождения                    | 28.4           | 15.2           | 46.5             | 68.3             | 5.4              | 26.3                               |
| То же, окисленный в пласте                               | 11.1           | 8.3            | 52.1             | 59.4             | 4.1              | 36.5                               |
| Бурый уголь Итатского месторождения, окисленный в пласте | 22.3           | 23.5           | 54.5             | 70.1             | 4.8              | 25.1                               |
| Бурый уголь Александрийского месторождения               | 15.5           | 18.2           | 40.9             | 67.0             | 6.1              | 26.9                               |
| Бурый уголь месторождения Кумертау-Маячное               | 5.3            | 20.0           | 63.6             | 58.6             | 6.8              | 34.6                               |
| Бурый уголь Тюльганского месторождения                   | 6.5            | 23.5           | 67.3             | 66.2             | 9.9              | 23.9                               |
| Барзасский сапромиксит                                   | 5.5            | 34.5           | 61.0             | 66.4             | 7.6              | 26.0                               |
| Торф Крапивинского месторождения                         | 11.2           | 12.3           | 72.6             | 46.8             | 8.1              | 45.1                               |

Таблица 2. Выходы экстрактов из исследуемых образцов, % масс. на daf\*

| Образец угля или торфа                                   | Алифатические соединения |                | Сумма экстрагируемых |                |
|----------------------------------------------------------|--------------------------|----------------|----------------------|----------------|
|                                                          | исходный                 | модифицирован. | исходный             | модифицирован. |
| Каменный уголь «Д» Караканского месторождения            | -                        | -              | 5.00                 | 34.7           |
| Бурый уголь Тисульского месторождения                    | 0.7                      | 1.0            | 6.6                  | 12.5           |
| То же, окисленный в пласте                               | 0.2                      | 0.3            | 3.0                  | 19.4           |
| Бурый уголь Итатского месторождения, окисленный в пласте | 1.2                      | 4.5            | 4.2                  | 45.6           |
| Бурый уголь Александрийского месторождения               | 3.5                      | 10.2           | 11.8                 | 27.9           |
| Бурый уголь месторождения Кумертау-Маячное               | 2.2                      | 23.2           | 12.5                 | 51.3           |
| Бурый уголь Тюльганского месторождения                   | 11.8                     | 17.4           | 14.6                 | 39.1           |
| Барзасский сапромиксит                                   | 0.6                      | 1.1            | 3.3                  | 22.4           |
| Торф Крапивинского месторождения                         | 1.6                      | 8.2            | 2.5                  | 32.2           |

\*dry ash free – сухой беззольный образец.

С целью получения зависимостей, количественно отражающих влияние основных факторов процесса алкилирования ТГИ спиртами на эффективность модифицирования, была применена методика активного эксперимента с использованием матриц планирования Бокса-Дрейпера [5,6]. Получен ряд полиномиальных регрессионных уравнений, адекватных при уровне значимости  $\alpha = 0.05$  и  $0.1$ . Ниже приведены некоторые уравнения, описывающие выход восковой фракции битумоидов ряда ТГИ (% на daf). Графики поверхностей представлены на рис. 2-3.

александринский уголь, катализ БСК:

$$Y_{1,1} = 4.9 + 0.8x_2 + 1.6x_3 - 1.3x_2^2 + 1.0x_3^2 + 0.8x_2x_3, \quad (1)$$

тисульский уголь, катализ серной кислотой:

$$Y_{2,1} = 0.9 + 0.7x_1 + 2.9x_2 + 0.1x_3 + 0.7x_1^2 + 2.4x_2^2 + 0.6x_3^2 + 1.3x_1x_2 + 0.2x_1x_3 + 1.1x_2x_3, \quad (2)$$

тисульский уголь, катализ ОФК:

$$Y_{3,1} = 0.8 - 0.1x_1^2 + 0.2x_2 + 0.1x_3 - 0.1x_2x_3, \quad (3)$$

Барзасский сапромиксит, катализ ОФК:

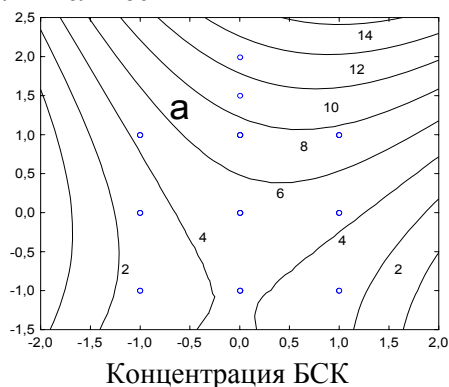
$$Y_{6,1} = 0.6 - 0.1x_1 + 0.1x_1^2 + 0.1x_3 + 0.1x_1x_3. \quad (4)$$

торф крапивинский, сумма экстрагируемых (рис. 3):

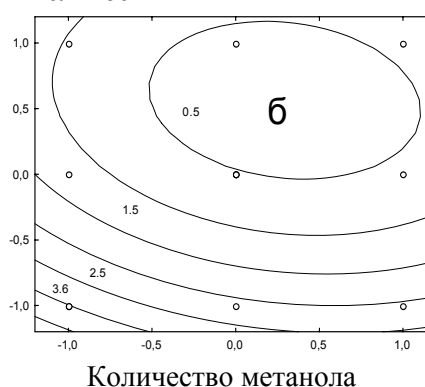
$$Y = 21,6 + 1,9x_1 + 0,15x_1^2 + 8,0x_2 - 3,9x_2^2 + 7,8x_3 - 3,4x_3^2 - 1,2x_1x_2 + 1,8x_1x_3 + 3,6x_2x_3 \quad (5)$$

В целом регрессионные модели подтверждают положительное влияние алкилирующей обработки углей как на общее увеличение битуминозности так и на выход восковой фракции битумоидов. Поддержание концентрации кислоты-катализатора и продолжительности модифицирования на высоких уровнях положительно сказывается на увеличении выхода алифатических компонентов, как показано на рис. 2.

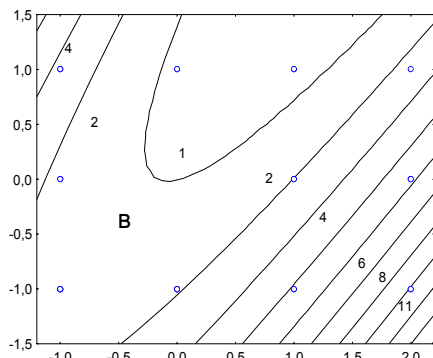
Продолжительность



Продолжительность

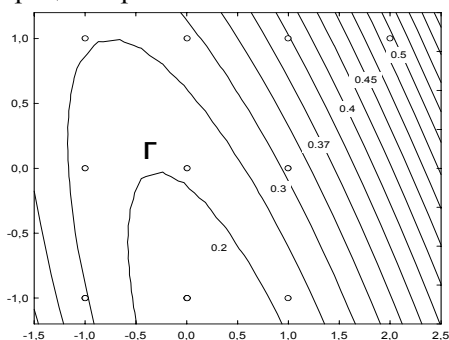


Продолжительность



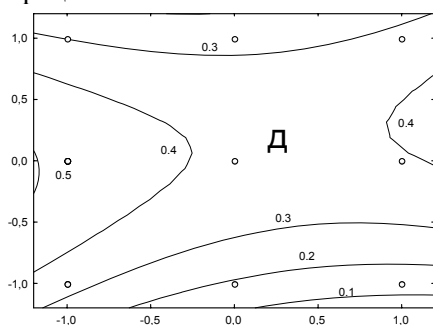
Количество метанола

Концентрация серной кислоты



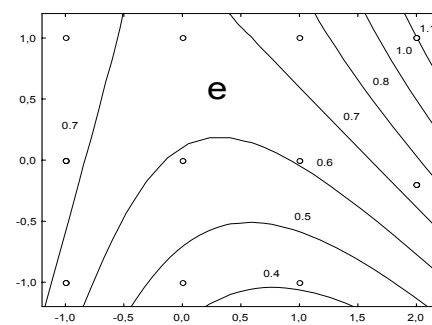
Количество метанола

Концентрация ОФК



Количество метанола

Продолжительность

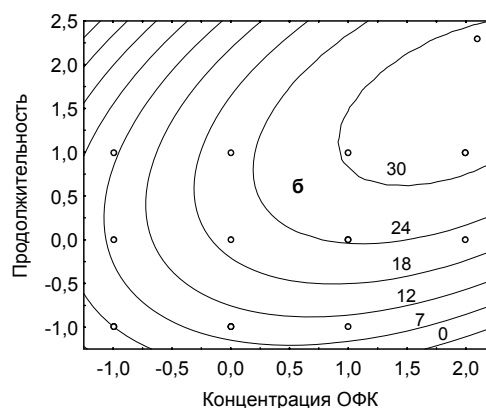
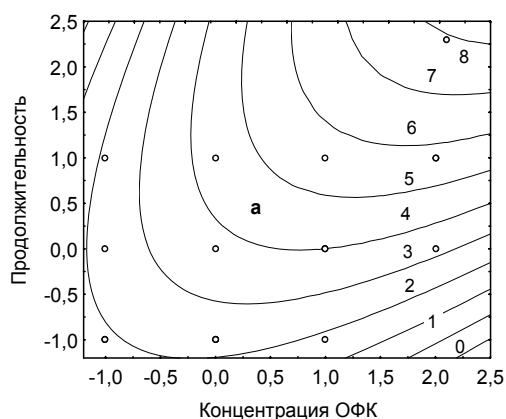


Количество метанола

Рис. 2. Зависимости выходов (цифры на кривых, % на daf) гексанового экстракта из алкилированных проб углей от условий модифицирования: а – александрийский уголь; б – тисульский уголь (катализ серной кислотой); в – итатский уголь (катализ БСК); г – тисульский окисленный уголь (катализ СК); д – тисульский окисленный уголь (катализ ОФК); е – барзасский сапромиксит.

Анализ моделей и ряд дополнительных экспериментов позволил определить оптимальные по выходу битумов условия алкилирования для ряда ТГИ. С учетом физических и технологических ограничений были проведены эксперименты при значениях кодированных переменных соответствующих или близких к оптимальным. Наблюдалось хорошее совпадение результатов реальных опытов с модельным экспериментом.

Так, для образца александрийского угля, по регрессионному уравнению (1) были определены условия алкилирования [ $x_2 = 0$ ,  $x_3 = 1.5$  (5 г угля, 50 мл метанола, 10% БСК, продолжительность 6ч 45мин)] при которых вычисленное значение Эга составило 9.4% на daf, а выход экстракта в эксперименте составил 10.2% (рис. 2).



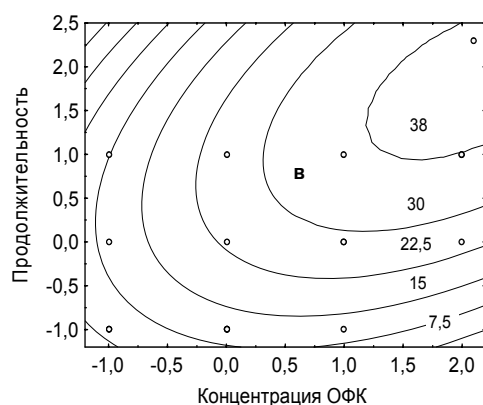


Рис. 3. Зависимости выходов (цифры на кривых, % на daf) экстрагируемых веществ из алкилированных проб торфа от условий модифицирования (табл.3): а – восковая фракция; б – смоляная фракция; в – сумма экстрагируемых.

Регрессионные модели подтверждают положительное влияние алкилирующей обработки торфа как на общее увеличение битуминозности так и на выход восковой фракции. Поддержание концентрации кислоты-катализатора ( $x_2$ ) и продолжительности модифицирования ( $x_3$ ) на высоких уровнях положительно сказывается на увеличении выхода восков и смол, как показано на рис. 2-3. Основное влияние оказывают реакции алкилирования, эффективность катализа которых прямо пропорциональна силе кислоты-катализатора или количеству кислоты в реакционной смеси.

Состав гексановых экстрактов или, иначе, обессмоленной восковой фракции модифицированных и исходных ТГИ изучали с привлечением методов ИК -  $^1\text{H}$  -,  $^{13}\text{C}$ -ЯМР спектроскопии и ХМС. Фракционный состав гексанового экстракта александрийского угля по данным тонкослойной хроматографии (ТСХ) и ХМС представлен в табл. 3.

Таблица 3. Фракционный состав образцов воска александрийского бурого угля, по данным ТСХ

| Фракция воска   | Воск обессмоленный исходного угля |    | Воск обессмоленный модифицированного угля |    | Литературные данные [7] |    |
|-----------------|-----------------------------------|----|-------------------------------------------|----|-------------------------|----|
|                 | $R_f$                             | %  | $R_f$                                     | %  | $R_f$                   | %  |
| Кислоты         | 0.20                              | 8  | 0.19                                      | 5  | 0.18                    | 13 |
| Спирты          | 0.27                              | 6  | 0.32                                      | 25 | 0.26                    | 10 |
| Эфиры природные | 0.55                              | 68 | 0.50                                      | 27 | 0.79                    | 62 |
| Эфиры метиловые | -                                 | -  | 0.72                                      | 25 | -                       | -  |
| Парафины        | 0.84                              | 18 | 0.84                                      | 18 | 0.94                    | 15 |

Отмечено, что гексановый экстракт метилированного угля содержит дополнительно сложные метиловые эфиры жирных кислот  $\text{C}_{24}\text{-C}_{32}$  ( $R_f = 0.72$ ) что нехарактерно для нативного воска.

Количество жирных кислот ( $R_f = 0.19$ ), присутствующих в гексановом экстракте алкилированного угля значительно меньше (8%), чем в нативном воске. что подтверждается данными ХМС и низким кислотным числом (К.ч. = 1-2 мг КОН/г) воска, полученного из модифицированного угля (табл.3). Кроме того, воск, полученный из алкилированного угля, содержит заметно большее количество восковых спиртов с  $R_f = 0.32$ , что объясняется переэтерификацией метанолом соответствующих восковых эфиров с выделением спиртов. Увеличение количества спиртов в воске, полученном из алкилированного угля, также иллюстрируется относительным уменьшением числа омыления до 53 (табл. 4), так как спирты относятся к неомыляемой части воска.

Таблица 4. Физико-химические характеристики восков

| Экстрагент                                            | Выход воска, % на daf | Цвет               | Температура каплепадения, $^{\circ}\text{C}$ | Нераствори-мые в бензине, % | Содержание смол, % | Кислотное число, мг КОН/г | Число омыления, мг КОН/г |
|-------------------------------------------------------|-----------------------|--------------------|----------------------------------------------|-----------------------------|--------------------|---------------------------|--------------------------|
| Воск из александрийского угля                         |                       |                    |                                              |                             |                    |                           |                          |
| Бензин экстракционный (т.к. 70 $^{\circ}\text{C}$ )   | 4.0                   | темно - коричневый | 82                                           | 0.3                         | 18.7               | 26                        | 81                       |
| Воск из метилированного александрийского угля         |                       |                    |                                              |                             |                    |                           |                          |
| То же                                                 | 8.6                   | светло-бежевый     | 78                                           | нет                         | нет                | 1                         | 53                       |
| Карнаубский воск [8]                                  |                       |                    |                                              |                             |                    |                           |                          |
| -                                                     | -                     | желтый             | 86-88                                        | нет                         | нет                | 2                         | 75-80                    |
| Этерифицированный воск марки F фирмы Hoechst, ФРГ [8] |                       |                    |                                              |                             |                    |                           |                          |
| -                                                     | -                     | -                  | 77-80                                        | нет                         | нет                | 6-10                      | 95-105                   |

| Этерифицированный воск марки Е фирмы BASF, ФРГ [8]                    |   |   |        |     |     |       |       |
|-----------------------------------------------------------------------|---|---|--------|-----|-----|-------|-------|
| -                                                                     | - | - | 82-84  | нет | нет | 17-25 | 158   |
| Этерифицированный воск марки Romonta 751, фирмы Romonta GmbH, ФРГ [9] |   |   |        |     |     |       |       |
| -                                                                     | - | - | 85-105 | нет | нет | 15-32 | 70-95 |

По своим физико-химическим характеристикам – отсутствию смол, низкому кислотному числу (К.ч.=1 мг КОН/г) и числу омыления (Ч.о.= 53 мг КОН/г) полученный из алкилированного угля воск (табл. 4) представляет из себя высококачественный продукт, сравнимый с различными марками этерифицированного или растительного (карнаубского) воска. Следует отметить, что традиционно в промышленности этерифицированные воски получают в результате многостадийной переработки горного воска-сырца.

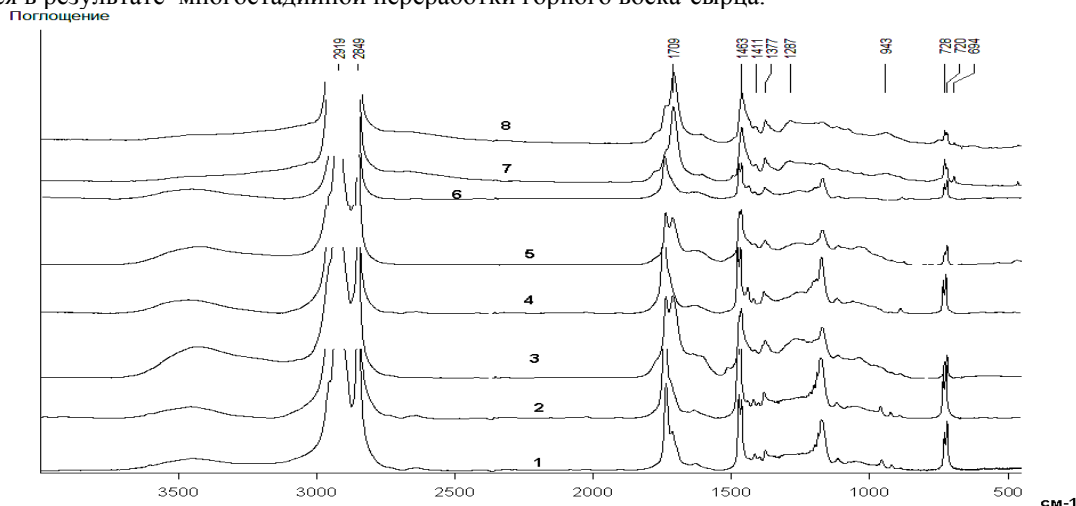
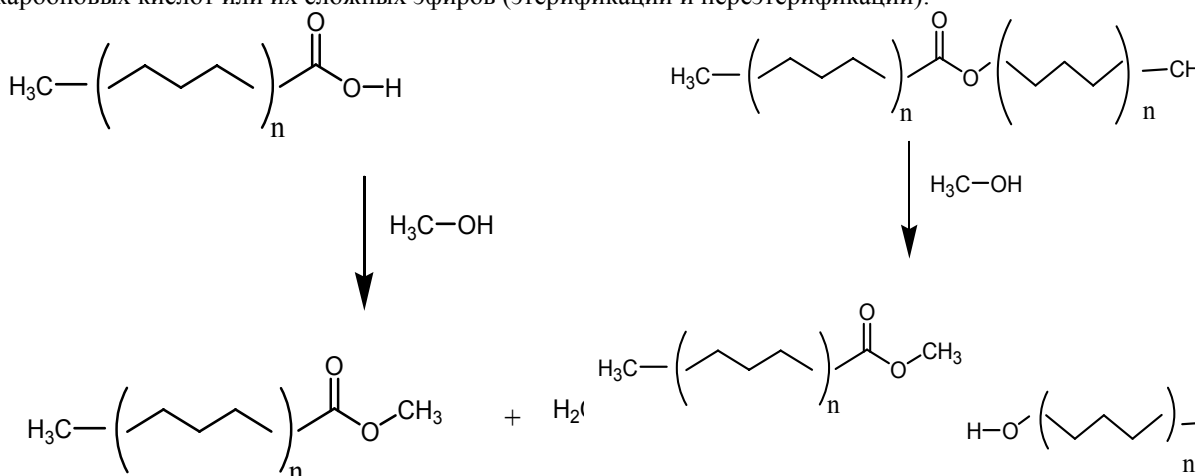


Рис. 4. ИК-спектры гексановых экстрактов александрийского угля (1- исходного, 2 – метилированного в присутствии БСК); тюльганского угля (3 – исходного, 4 – метилированного); маячного угля (5 - исходного, 6 - метилированного); Барзасского сапромиксита (7 – исходного; 8 – метилированного в присутствии ОФК).

ИК-спектры всех рассматриваемых гексановых экстрактов практически идентичны в областях 3000-2800 и 725-720  $\text{см}^{-1}$  – валентные колебания метильных и метиленовых групп и маятниковые колебания метиленовых групп длинных алкановых цепочек соответственно [10-12]. Полосы поглощения, соответствующие ароматическим соединениям отсутствуют. В области 1750-1710  $\text{см}^{-1}$  наблюдаются изменения в относительной интенсивности полос карбонильных групп сложных эфиров: интенсивность полосы в области 1710  $\text{см}^{-1}$  ( $\nu$  C=O природных сложных эфиров длинноцепочечных карбоновых кислот и длинноцепочечных алифатических спиртов) алкилированных образцов по сравнению с исходным уменьшается, а интенсивность полосы в области 1735  $\text{см}^{-1}$  ( $\nu$  C=O метиловых эфиров карбоновых кислот) возрастает. Такие изменения свидетельствуют о протекании реакции переэтерификации с замещением длинноцепочечного природного спиртового алкильного радикала на более короткий алкилирующего агента – метанола (рис. 4).

В спектре ЯМР<sup>13</sup>C гексанового экстракта модифицированного угля [13] характерно наличие сигнала при 51.18 ppm, принадлежащего углероду метоксильной группы (–O–CH<sub>3</sub>). Соответствующий сигнал в спектре того же экстракта нативного угля отсутствует. Этот факт говорит о протекании реакции метилирования по кислороду карбоновых кислот или их сложных эфиров (этерификации и переэтерификации):



Сигналов углерода ароматических компонентов в спектрах не наблюдается. Сигнал при 173.76 ppm характеризует резонанс карбонильного углерода в сложных эфирах (R–C=O–R) (рис. 5).

Групповые составы гексановых экстрактов тюльганского, маячного, тисульского бурых углей и Барзасского сапромиксита, определенные хромато-масс-спектроскопией представлены в табл. 5. Восковые фракции битумоидов исходных образцов углей представлены в основном монокарбоновыми кислотами линейного строения преимущественно с четным числом (от 16 до 32) атомов углерода в цепи. Присутствуют алканы, спирты и сложные эфиры жирных кислот природного происхождения. После модифицирования в составе фракций возрастает доля алканов и неидентифицированных соединений, что свидетельствует о процессах деструкции органической массы углей.

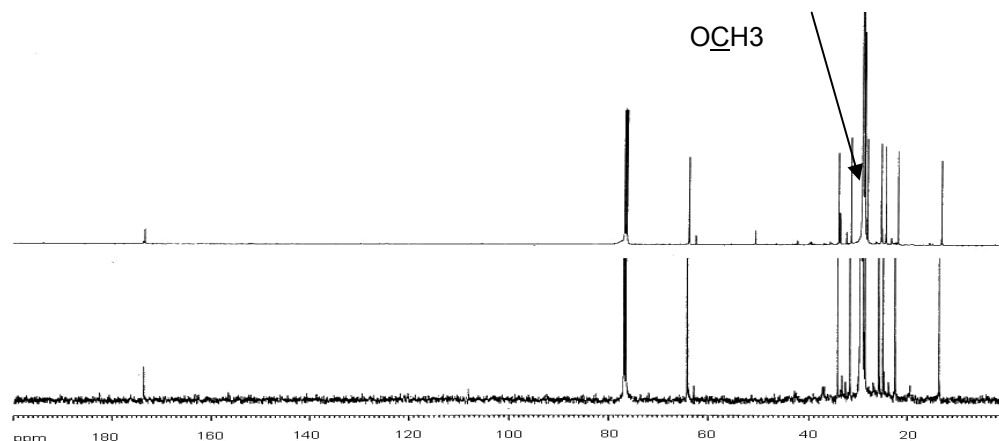


Рис. 5. ЯМР  $^{13}\text{C}$  спектр гексанового экстракта александрийского угля, метилированного в присутствии и без БСК.

Появление сложных метиловых эфиров с одновременным уменьшением доли карбоновых кислот объясняется протеканием реакции этерификации, а исчезновение сложных эфиров природного происхождения – реакции переэтерификации. Последнее особенно наглядно проявилось для образца тюльганского угля. Появление после модифицирования сложных метиловых эфиров дикарбоновых кислот в случае образца маячного угля объясняется присутствием этих кислот в органоминеральном и полиэфирном комплексах органической массы данного угля. В случае Барзасского сапромиксита модифицирование вызывает четырехкратное возрастание доли алканов и полное исчезновение карбоновых кислот в восковой фракции модифицированного угля. Появляются в значительном количестве (до 0.32 % на даф) метиловые эфиры алифатических карбоновых кислот – продукт метилирования ОМУ.

Условия обработки торфа способствуют увеличению выхода алифатической фракции. При оптимальном сочетании параметров максимальный выход составляет 8,2% от органической массы, тогда как исчерпывающая экстракция в отсутствие минеральной кислоты дает 1,6%.

Таблица 5. Групповой состав восков бурых углей по данным ХМС, % на даф от исходного угля

| Группы соединений                                   | Исходный уголь     | Модифицированный уголь |
|-----------------------------------------------------|--------------------|------------------------|
| Бурый уголь Тюльганского месторождения              |                    |                        |
| Алканы                                              | 0.08               | 0.16                   |
| Сложные эфиры природные                             | 0.03               | -                      |
| Сложные эфиры метиловые                             | -                  | 3.79                   |
| Карбоновые кислоты                                  | 1.15 <sup>1)</sup> | 0.04                   |
| Кетоны                                              | -                  | 0.23                   |
| Неидентифицированные                                | 0.31               | 0.47                   |
| Бурый уголь месторождения Кумертау-Маячное          |                    |                        |
| Алканы                                              | 0.08               | 0.19                   |
| Алкены                                              | -                  | 0.27                   |
| Сложные эфиры природные                             | 0.02               | 0.05                   |
| Сложные эфиры метиловые                             | -                  | 4.29                   |
| Карбоновые кислоты                                  | 1.4 <sup>1)</sup>  | -                      |
| Кетоны                                              | 0.24               | 0.03                   |
| Спирты                                              | 0.17               | 0.09                   |
| Альдегиды                                           | 0.01               | 0.09                   |
| Другие                                              | 0.03               | 0.04                   |
| Неидентифицированные                                | 0.25               | 0.12                   |
| Бурый уголь Тисульского месторождения <sup>2)</sup> |                    |                        |
| Алканы                                              | 0.02               | 0.19                   |
| Алкены                                              | -                  | 0.29                   |
| Сложные эфиры природные                             | 0.01               | 0.04                   |

|                         |                    |                   |
|-------------------------|--------------------|-------------------|
| Сложные эфиры метиловые | -                  | 0.21              |
| Карбоновые кислоты      | 0.5 <sup>1)</sup>  | 0.8 <sup>3)</sup> |
| Терпены                 | -                  | 0.4               |
| Неидентифицированные    | 0.2                | 1.6               |
| Барзасский сапромиксит  |                    |                   |
| Алканы                  | 0.15               | 0.64              |
| Сложные эфиры природные | -                  | 0.1               |
| Сложные эфиры метиловые | -                  | 0.32              |
| Карбоновые кислоты      | 0.41 <sup>1)</sup> | -                 |
| Кетоны                  | 0.012              | -                 |
| Неидентифицированные    | 0.03               | 0.04              |

1) \*определены в виде метиловых эфиров после обработки пробы диазометаном

2) катализ серной кислотой

3) определены в виде бутиловых эфиров

По данным ТСХ (табл. 6) в восковых фракциях битумоидов исходного и алкилированного торфа определены следующие классы соединений: спирты ( $R_f$  0.08-0.23), в том числе терпеновые, жирные кислоты ( $R_f$  0.37-0.46), сложные эфиры ( $R_f$  0.54-0.69) и углеводороды ( $R_f$  0.75-0.84) – табл. 4. Сравнительный анализ ТСХ восковых фракций исходного и алкилированного торфа (треки №№ 1,2) показал относительное увеличение доли спиртов и появление бутиловых эфиров карбоновых кислот с  $R_f$  0.67 в алкилированных продуктах, а также уменьшение относительного количества карбоновых кислот.

Таблица 6. Групповой состав фракций битумоидов торфа по данным ТСХ

| № трека | Проба                                           | Значения $R_f$            |         |              |              |
|---------|-------------------------------------------------|---------------------------|---------|--------------|--------------|
|         |                                                 | спирты                    | кислоты | сложн. эфиры | углеводороды |
| 1       | Восковая часть экстракта исходного торфа        | 0.09<br>0.12 0.23         | 0.46    | 0.54         | 0.78         |
| 2       | То же алкилированного торфа                     | 0.09<br>0.17 0.19<br>0.23 | 0.45    | 0.54 0.67    | 0.75         |
| 3       | Фракция 1 смолистой части алкилированного торфа | 0.09 0.18<br>0.22         | нет     | 0.69         | 0.75         |
| 4       | 1-гексадеканол                                  | 0.19                      | нет     | нет          | 0.84         |
| 5       | Октадекан                                       |                           |         |              | 0.77         |
| 6       | Стеариновая кислота + бутилстеарат              | нет                       | 0.44    | 0.67         | нет          |
| 7       | Бетулин                                         | 0.08                      | нет     | нет          | нет          |
| 8       | Пальмитиновая кислота                           | нет                       | 0.44    | нет          | нет          |

Общий рост выхода восковой фракции в 5 раз сопровождается неравномерным увеличением выхода отдельных её составляющих. Так, для монокарбоновых кислот (в виде эфиров) рост выхода составил 3 раза, для дикарбоновых кислот 10 раз, для спиртов 7 раз, для алканов 1,4 раза. Алифатическая фракция битумоидов бутилированного торфа представлена в основном бутиловыми эфирами дикарбоновых кислот  $C_4$ - $C_{30}$  и монокарбоновых кислот  $C_{24}$ ,  $C_{26}$ ,  $C_{28}$ ,  $C_{30}$ , а также следовыми количествами алканов. Эфиры дикарбоновых кислот в заметных количествах появляются только после обработки торфа алкилирующим спиртом (бутанолом) в присутствии минеральной кислоты, что дает основания предположить о наличии связи этих кислот с зольными элементами в органо-минеральном комплексе или в виде полиэфиров (табл. 7).

Таблица 7. Состав алифатических соединений битумоидов торфа по данным ХМС, % масс. на даф исходного торфа

| Соединение                   | Исходный | Модифицированный |
|------------------------------|----------|------------------|
| Монокарбоновые кислоты       | 1        | Нет              |
| Дикарбоновые кислоты         | 0.1      | Нет              |
| Спирты                       | 0.04     | 0.28             |
| Алканы                       | 0.1      | 0.14             |
| Эфиры монокарбоновых кислот  | Нет      | 3.4              |
| Эфиры дикарбоновых кислот    | Нет      | 1                |
| Другие (не идентифицированы) | 0.4      | 3.4              |
| Всего                        | 1.6      | 8.2              |



Увеличение общего выхода восковой части достигается в значительной степени за счет бутиловых эфиров моно- и дикарбоновых кислот, а также спиртов и алканов, что указывает на протекание процессов этерификации и переэтерификации. Рост выхода эфиров монокарбоновых кислот, значительно превышающий увеличение выхода спиртов, указывает на интенсивно протекающие реакции разрушения органо-минеральных комплексов, на что также косвенно указывает высокая зольность исходного торфа (12,3%) и относительно высокая основность золы (8,3 мг-экв HCl/r).

По данным ИКС восковая часть битумоидов торфа представлена смесью алканов - свободных и присутствующих в качестве заместителей (2958; 2916; 2873; 2848  $\text{см}^{-1}$ ), нормальных насыщенных сложных эфиров (1736  $\text{см}^{-1}$ ), непредельных углеводородов (1635  $\text{см}^{-1}$ ), вторичных спиртов (3400; 1243; 1068  $\text{см}^{-1}$ ), небольшого количества нормальных насыщенных карбоновых кислот (1720  $\text{см}^{-1}$ ). Восковая фракция битумоидов алкилированного торфа отличается наличием большого количества сложных эфиров жирных кислот (1736  $\text{см}^{-1}$ ).

#### *Разделение смол бурого угля и торфа.*

Исследованы экстракционные смолы бурого угля Александрийского месторождения и верхового торфа Крапивинского месторождения. Уголь алкилировали в системе бутанол-1- толуол - ортофосфорная кислота в течение 3 часов. Полученный из угля битум разделяли на восковую и смоляную (смола 1) фракции в соответствии с ГОСТ 10969-91. Торф алкилировали в системе бутанол-1- ортофосфорная кислота в течение 3 часов, битум также разделяли по методике ГОСТ 10969-91 (получали смолу 2). Кроме того, часть битума торфа разделяли по принципу растворимости в различных средах с постепенным возрастанием их полярности.

#### *Смола бурого угля (1).*

Навеску смолы 1 растворяли в насыщенном водой бутаноле-1, последовательно обрабатывали растворами гидрокарбоната и гидроксида натрия, полученные водные растворы нейтрализовали разбавленной соляной кислотой и реэкстрагировали бутанолом соответственно кислотную и фенольную части смолы. Получили фракции: кислоты, фенолы и фракция 3. Выходы фракций представлены в таблице 8.

По данным анализа ИК-спектров фракция кислот представлена кислотными группами, конденсированными ароматическими системами ( $\nu\text{C}=\text{C}$  конденсированных ароматических систем 1621  $\text{см}^{-1}$ ) с короткими алифатическими заместителями ( $\nu\text{asC}-\text{O}-\text{C}$  бутоксильных групп непосредственно связанных с аром ядром 1281  $\text{см}^{-1}$ ). Кроме того, в этой фракции присутствуют стероидные ( $\nu\text{C}=\text{O}$  кетона в стероидной структуре 1713  $\text{см}^{-1}$ ) и циклогексановые структуры, возможно замещенные.

Фенольная фракция представлена ароматическими системами ( $\nu\text{C}=\text{O}$  диазокетона в ароматических соединениях 1614  $\text{см}^{-1}$ ) с фенольными гидроксильными группами ( $\nu\text{C}-\text{O}$  фенольной ОН 1245  $\text{см}^{-1}$ ) и алифатическими заместителями ( $\nu\text{asCH}_3$  алканов 2925,  $\nu\text{s}-\text{CH}_2-$  2851,  $(-\text{CH}_2-)_n$ , маятниковое,  $n\sim 4$  720  $\text{см}^{-1}$ ) с более короткими цепями, чем в кислотной фракции, кетонами ( $\nu\text{C}=\text{O}$  в кетонах 1710  $\text{см}^{-1}$ ), замещенными циклогексанами ( $\text{CH}_2$  в циклогексанах 1455  $\text{см}^{-1}$ ) и тритерпенами ( $\nu\text{C}-\text{O}$  в тритерпенах 1068  $\text{см}^{-1}$ ).

Таблица 8. Выход экстрагируемых веществ алкилированных бурого угля и торфа.

| Фракции                                    | Выход, % на daf | Содержание в смоле, % |
|--------------------------------------------|-----------------|-----------------------|
| Бурый уголь Александрийского месторождения |                 |                       |
| Сумма экстрагируемых                       | 30.1            |                       |
| Восковая фракция                           | 8.3             | -                     |
| Смола                                      | 21.8            | 100                   |
| В том числе в смоле:                       |                 |                       |
| Кислоты                                    | 8.8             | 40.3                  |
| Фенолы                                     | 7.1             | 32.6                  |
| Фракция 3                                  | 5.9             | 27.1                  |
| Торф Крапивинского месторождения           |                 |                       |
| Сумма экстрагируемых                       | 32.3            |                       |
| Восковая фракция                           | 8.2             |                       |
| Смола                                      | 24.1            | 100                   |
| В том числе в смоле:                       |                 |                       |
| Кислоты 1                                  | 3               | 12.3                  |
| Кислоты 2                                  | 8.1             | 33.9                  |
| Фенолы                                     | 6               | 24.8                  |
| Фракция 3.1                                | 0.8             | 3.4                   |

|             |     |      |
|-------------|-----|------|
| Фракция 3.2 | 0.4 | 1.3  |
| Потери      | 5.8 | 24.3 |

Фракция 3 представлена сложными и простыми эфирами, парафинами, непредельными, ароматическими – т.е. смесью остаточных количеств восков и смол, в связи с чем может служить ресурсом для увеличения выхода восков и смол. При качественном разделении битума на воск и смолу практически отсутствует.

*Смола торфа (2).*

Навеску смолы 2 обрабатывали по методике, примененной к смоле 1. Оставшуюся часть, свободную от кислот и фенолов, разделяли в системе ацетонитрил - гептан и получали две фракции – 3.1 и 3.2. Выходы фракций представлены в таблице 8.

При разделении битума торфа по принципу растворимости в различных средах с постепенным возрастанием их полярности было получено 7 фракций: 1- растворимая в гептане (воски), 2 – растворимые в смеси ацетон-гептан (1:1, об. соотн.), 3 (3.1- 3.4) – 4 – растворимые в смеси ацетон - гептан - вода, с постепенным уменьшением доли гептана и возрастанием долей ацетона (до 80 %) и воды (до 10 %). Выходы фракций представлены в табл. 9.

Таблица 9. Выходы фракций битума торфа, алкилированного в системе бутанол - ортофосфорная кислота.

| Фракция                | 1     | 2    | 3.1  | 3.2   | 3.3  | 3.4  | 4     | Всего  |
|------------------------|-------|------|------|-------|------|------|-------|--------|
| Выход, % daf           | 3.36  | 0.72 | 0.22 | 6.82  | 1.12 | 1.38 | 2.49  | 16.11  |
| Содержание в битуме, % | 20.87 | 4.48 | 1.36 | 42.32 | 6.93 | 8.55 | 15.49 | 100.00 |

По данным анализа ИК- и хромато-масс-спектров фракции имеют близкий состав по функциональным группам и структурным фрагментам: они представлены смесью алканов, нормальных насыщенных простых и сложных эфиров, насыщенных и ненасыщенных кетонов с открытой цепью, вторичных спиртов, ароматических соединений и нормальных насыщенных карбоновых кислот. Однако, при переходе от фракции 1 к фракции 4 возрастает доля непредельных соединений, кетонов, ароматических соединений, содержащих заместители с полярными группами, возрастает доля самих полярных групп (в основном гидроксильных кислот и вторичных спиртов), сокращается длина цепи алифатических заместителей.

Идентифицированные во фракциях соединения и возможные направления их использования приведены в таблице 10.

Таблица 10. Состав фракций экстрагированных продуктов алкилированных бурого угля, торфа и возможные направления их практического применения.

|             | Воски                                                                                                  | Кислоты                                                                                               | Фенолы                                                                                              | Фракция 3                                                                                                                 |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Бурый уголь | Алифатические, карбоновые кислоты, алифатические спирты, сложные эфиры, парафины                       | Ароматические карбоновые кислоты, кетоны, стероидные структуры, циклические соединения                | Фенолы, тритерпеноиды, простые эфиры                                                                | Алифатические соединения, вторичные спирты, простые эфиры                                                                 |
| Торф        | Алифатические, карбоновые кислоты, алифатические спирты, сложные эфиры, парафины                       | Ароматические карбоновые кислоты, непредельные соединения, пироны, тритерпеноиды                      | Фенолы, алифатические кетоны, кетоны с 6 и 7 членным циклом, простые эфиры                          | Тритерпеноиды, циклические кетоны, сложные эфиры, лактоны, простые эфиры                                                  |
| Применение  | Модельное дело, полирующие и защитные композиции, косметика, медицина, бытовая химия, ПАВ, флотоагенты | Сырье для получения сложных эфиров, ПАВ, биологически активных субстанций, флотоагентов, в парфюмерии | Сырье для получения конденсационных высокомолекулярных соединений, биологически активных субстанций | Дополнительный ресурс повышения выхода восковой и смоляной фракций, сырье для получения биологически активных субстанций. |

#### Выводы:

Установлено, что алкилирование ТГИ при кислотном катализе приводит к значительному увеличению выхода экстрагируемых веществ (в сумме до 51% на daf)

Регрессионные модели, описывающие выходы экстрагируемых веществ в зависимости от условий алкилирования отражают положительное влияние алкилирующей обработки на увеличение битуминозности ТГИ. Основное влияние на увеличение выхода битумов оказывают реакции алкилирования, эффективность катализа которых прямо пропорциональна силе кислоты-катализатора или количеству кислоты в реакционной смеси.

Алкилирующее воздействие спиртов на ТГИ значительно увеличивает содержание алифатических эфиров в экстрагируемых продуктах.

Алкилирование ТГИ спиртами позволяет получать с высоким выходом из модифицированных ТГИ воск повышенного качества за счет протекания комплекса реакций этерификации и переэтерификации, приводящего к появлению в экстрактах нехарактерных для исходного объекта алкильных эфиров длинноцепочечных алифатических кислот.

При алкилировании ТГИ спиртами превалирующими реакциями в превращениях компонентов битумоидов являются этерификация и переэтерификация.

Технологические перспективы имеют восковые фракции алкилированных угля и торфа, а также кислотные фракции смол бурого угля и торфа в качестве сырья для получения сложных эфиров и восков, промышленных ПАВ, флотореагентов, биологически активных субстанций. Дополнительная обработка расширяет область применения кислотных фракций – например, окисление кетоновой составляющей до кислот или выделение кетонных компонентов и их самостоятельное применение как составных частей в парфюмерии. Фенольные фракции могут использоваться в качестве сырья для получения высокомолекулярных продуктов, тритерпеноидов, биологически активных субстанций.

#### Список литературы:

1. Жеребцов С.И. Модифицирование бурого угля метанолом. // Химия твердого топлива. 1997. № 4. С. 32-34.
2. Жеребцов С.И., Лозбин В.И., Полубенцева М.Ф. Взаимодействие бурого угля Александровского месторождения с метанолом // Химия твердого топлива. 2003. № 2. С. 8 - 13.
3. Жеребцов С.И. Взаимодействие углей низких стадий метаморфизма с метанолом // Химия твердого топлива. 2007. №3. С. 60-70.
4. Аронов С.Г., Нестеренко Л.Л. Химия твердых горючих ископаемых. Изд-во Харьковского Гос. Университета. 1960. 371 с.
5. Карамышева Ф.Н., Жучкова А.Н. Методические рекомендации по планированию эксперимента в технологии стройматериалов. (Планы II порядка на "кубе" размерности 2 и 3). Челябинск, УралНИИИстромпроект, 1973. 41 с.
6. Драйнер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. М.: Статистика 1973. 392 с.
7. Родэ В.В., Папинова Е.А. Исследование строения и состава восковой части буроугольных битумов. Химия твердого топлива, 1981, № 6. С. 52-66.
8. Белькевич П.И., Голованов Н.И. Воск и его технические аналоги. Минск: Наука и техника, 1980. 176 с.
9. [http://www.romonta.de/ie4/english/Romonta/i\\_start.htm](http://www.romonta.de/ie4/english/Romonta/i_start.htm)
10. Наканиси К. Инфракрасные спектры и строение органических соединений. – М.: Мир, 1965. 216 с.
11. Беллами Л. Инфракрасные спектры молекул. М.: Издательство Мир, 1957. 444 с.
12. Беллами Л. Новые данные по ИК-спектрам сложных молекул. – М.: Мир, 1971. 318 с.
13. Калабин Г.А., Каницкая Л.В., Кушнарев Д.Ф. Количественная спектроскопия ЯМР природного органического сырья и продуктов его переработки. – М.: Химия. 2000. 408 с.

## КОМПЛЕКСНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ ГУМИНОВЫХ ВЕЩЕСТВ

**Д.т.н. Х.А. Исхаков, к.х.н. Ч.Н. Барнаков, д.х.н. З.Р. Исмаилов**  
**Институт углехимии и химического материаловедения СО РАН,**  
**г. Кемерово, E-mail: [barnakov@rambler.ru](mailto:barnakov@rambler.ru)**

Существование всего живого на Земле, включая растения и микроорганизмы, во многом связано с образованием и деятельностью комплексных (координационных) соединений. Что касается известных неорганических соединений - соли, минералы, то их кристаллохимия в достаточной степени изучена, то же справедливо для многих органических соединений.

Комплексные соединения металлов и гуминовых кислот трудно поддаются изучению из-за сложности химической структуры и многообразия гуминовых кислот. В литературе упоминается единственный гумат - доплерит, представляющий гумат кальция, правильнее говорить о дупплеритах ввиду разнообразия лигандов.

Гуминовые вещества – сложнейшие природные соединения, входящие в состав почв, торфа, бурых углей и образующиеся при выветривании каменных углей. Сам термин произошел от латинского *humus* – почва, о важности которой нечего и говорить. Д.И. Менделеев в "Основах химии" не обошел гуминовые вещества [2].

Вот как описывает их В.И. Вернадский: - "Это очень устойчивые тела в природе – в биосфере, изменяющиеся химически лишь медленно и с большим трудом. Они не могут быть изучаемы обычными методами химии, созданными в ином порядке" [1].

Г.Л. Стадников писал: "Гуминовые вещества представляют собой аморфные образования с невыясненной структурой от светло- до темно-бурого цвета, образующиеся в природе при разложении растительного материала, нерастворимые в бензоле и показывающие ясно выраженное сродство к воде, в которой они растворяются или же, по меньшей мере, набухают" [3]. И далее: "Гуминовые кислоты по своему строению представляют комбинацию ароматических и гидроароматических циклов, а потому способность отщеплять угольную кислоту при небольшом повышении температуры является результатом их химического строения".

Химическая структура гуминовых кислот, даже, казалось бы, наиболее простых, растворимых в воде фульвокислот, ввиду их разнообразия и сложности представляется в виде гипотетических формул, например, изображенной на рис.1 [4].

Таких формул множество и, несмотря на их лишь предполагаемую структуру, они позволяют видеть в гуминовых веществах главное – ароматические кольца и функциональные группы. Являясь природными ионообменниками (пермутитами) гуминовые вещества с древних времен применялись в кожевенном деле [5].

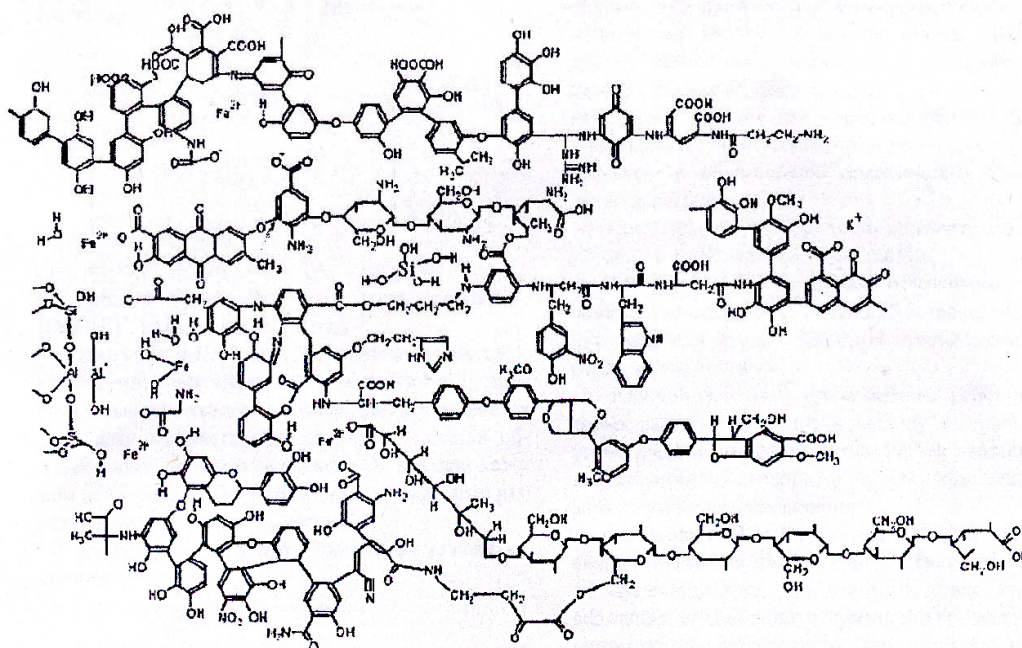


Рис. 1. Гипотетическая формула гуминовых кислот

Кроме сложных структур и многофункциональности, гуминовые кислоты обладают еще одним замечательным свойством – они служат лигандами в комплексных соединениях с металлами. Здесь, как и в самой структуре гуминов нет определенной конкретики, однако обнаруживаемый фактический материал позволяет исследователям утверждать об участии гуминовых соединений, особенно в почвах, в реакциях образования координационных структур. Пусть это будут косвенные утверждения, но они основаны на фактических материалах и наблюдениях. Коснемся краткого анализа, не придерживаясь хронологии.

Комплексные соединения, в которых гуминовые вещества играют роль лигандов, представляют в большинстве своем растворимые соединения, доступные усвоению корневой системой растений. Представляет интерес, какие мнения по данной проблеме имеются у авторов, работающих в этой области.

Возбуждая [6] пишет, что гумусовые вещества обладают значительной способностью к образованию комплексных и внутрикомплексных соединений (хелатов) с железом, алюминием, медью и другими поливалентными катионами. "Взаимодействуя с минералами гумусовые кислоты, извлекают (вырывают) из них Al, Fe, Mn, Cu и другие элементы, образуя подвижные комплексы".

Необходимо отметить, что комплексы образуют не только поливалентные элементы, но и элементы главной подгруппы второй группы периодической системы – Mg и щелочноземельные, следовательно, они способны к образованию комплексных гуматов [11], что ярко подтверждается на примере структуры хлорофилла [12].

В [10] изучались комплексные соединения гуматов железа и алюминия термogravиметрическим методом, в определенных температурных интервалах до 600 °С. Основные реакции прошли в интервале температур 100- 400 °С; для каждого комплекса четко зафиксирована своя кривая потери массы.

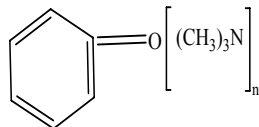
Кухаренко [17], известная специалист по гуминовым соединениям, большое значение в аккумуляции и миграции металлов придает комплексным и внутрикомплексным соединениям. Считает, что наличие в угленосных толщах промышленных запасов германия, галлия, урана и других элементов связывается с реакциями на ранних

стадиях их формирования, т.е. в диагенезе и катагенезе: "...гуминовые кислоты, обладая большим количеством акцепторно-донорных групп, способны к образованию органических молекулярных комплексов".

Специалисты по германию считают, что этот элемент в углях связан в основном с их органической частью [18]. Основным источником получения германия в Канаде, Германии, Австралии и Японии являются отходы угольной промышленности (пыль, сажа, шламы).

Юдович [19] путем анализа работ некоторых авторов приходит к выводу о наличии в углях высокоспинового иона  $\text{Fe}^{2+}$  в шестерной координации, что говорит о наличии комплексных железогумусовых соединений.

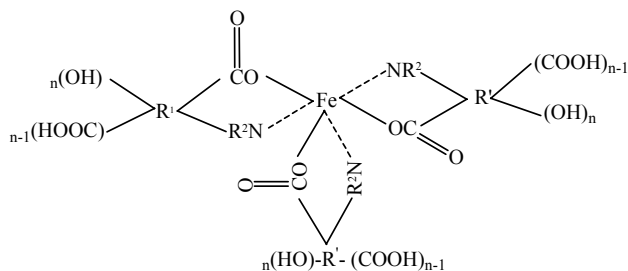
Назарова и Алыбакова [20] на основании обобщения литературных данных высказали предположение, что взаимодействие азотсодержащих соединений с гуминовыми кислотами протекает по оксогруппам, при этом возможно образование комплексов типа:



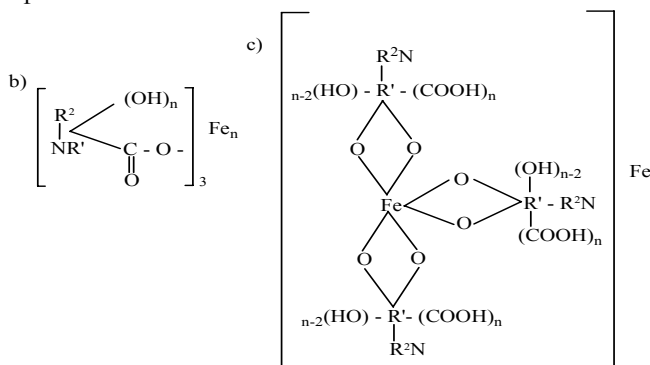
Указанные авторы в течение многих лет изучали растворимость гуминовых кислот и еще в работе [21] высказали мнение, что процесс солеобразования, по-видимому, сопровождается адсорбцией и комплексообразованием.

В [22] исходя из комплексообразующих свойств железа и природы гуминовых кислот как возможных органических лигандов, способных проявить силы как побочной, так и главной валентности, вследствие чего предполагается образование хелата с  $\text{FeCl}_3$ :

a)

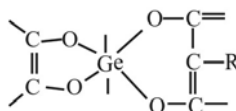


а также комплекса в виде фенолята:

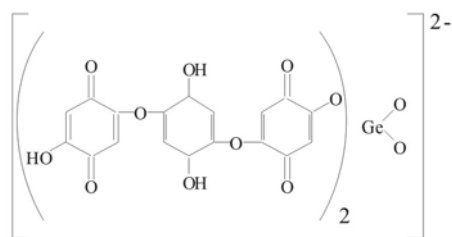


Золотарева [23], изучая гуминовые вещества в воднопептизируемой части различных почв, установила в составе экстрактов гумусовых веществ преобладание железа и алюминия и считает это явление вполне закономерным, так как эти элементы, особенно железо, являются комплексообразующими; при этом некоторые фракции гуминовых кислот образуют с Fe и Al прочные комплексные соединения.

В работе [24], посвященной исследованию содержания германия в бурых углях, предполагаются комплексные соединения германия с гуминовыми кислотами по схеме:



Авторы работы [25] считают, что гуминовому комплексу германия может быть приписана формула:



Браташевский с соавторами [26] доказывают возможность образования комплексов марганца с гуминовыми кислотами. Известен комплекс  $[\text{Mn}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ . Предполагается, что вместо молекул  $\text{H}_2\text{O}$  в координацию с ионами  $\text{Mn}^{2+}$  могут войти гуминовые соединения; т.е. имеет место комплексный марганецорганический ион; свои выводы авторы делают на основании измерений спектров ЭПР.

В [27] изучена роль органического материала в распределении Mo, V, Cr в угольных месторождениях. Выражается мнение, что указанные элементы сорбируются углями из грунтовой воды. Однако, в процессах диагенеза и катагенеза, очевидно, должны преобладать процессы комплексообразования гуминовых соединений с указанными элементами, вследствие их многовалентности и склонности к комплексообразованию.

Авторы работ [28] изучали состав золы гуминовых кислот, полученных из высокогорного торфа месторождения Кара - Куджур (Киргизия). Спектральным анализом обнаружены Pb, Na, Mg, Cu, Zn, Ag, Al, Mn, Si, Fe. Путем изучения гуматов железа было высказано мнение, что ионы  $\text{Fe}^{++}$  с гуминовой кислотой образуют комплексы типа хелатов. Можно считать, что ионы  $\text{Fe}^{++}$ , вступая во взаимодействие с гуминовыми кислотами, вытесняют водород функциональных групп и образуют комплексные соли. Добавим, что если бы продолжили исследования, то обнаружили свойства к комплексообразованию у всех вышеуказанных элементов.

В работе [29] на основании изучения обширного литературного материала (540 ссылок) делаются выводы о комплексообразовании с гуминовыми кислотами марганца, железа, алюминия и других элементов. Приводим один из выводов (с.98): "Органические вещества, остающиеся в обессоленной воде, не только снижают ее удельное электрическое сопротивление и pH, но затрудняют удаление минеральных веществ, в том числе кремниевой кислоты, железа, тяжелых металлов, образующих комплексные соединения с гумусовыми кислотами".

В монографии [30] посвященной железосодержащим веществам в почве, указывается, что железо в почвах может образовывать комплексные органические соединения, легко растворимые в воде хелаты.

Итак, ознакомление с представленным литературным материалом показывает, что гуминовые вещества способны к образованию координационных соединений. Мы пытались смоделировать мягкие условия окисления измельченного бурого угля пласта Итатский (класс 0-0,20 мм) в условиях близких к природно-почвенным. Уголь слоем 2-3 см. содержался в эксикаторе, на дне которого была налита вода при комнатной температуре. Пробка эксикатора соединялась с гидрозатвором. Наблюдения проводились в течение двух месяцев. Колебания жидкости в гидрозатворе отражали суммарный процесс окисления угля, при этом окисление угля шло неравномерно - избыток давления сменялся небольшим вакуумом. При периодическом перемешивании слоя угля, которое связано с открытием эксикатора, отмечалось сильным запахом уксусной кислоты, на что ранее обращалось внимание О.Б. Максимовым в заброшенной штольне шахты \*. Наблюдается природная склонность бурых углей Канско-Ачинского бассейна к окислению и образованию гуминовых кислот. Выход гуматов составил 56 % на сухую, беззольную массу угля, т.е. по сравнению с природным повысился в несколько раз [31]. Мы считаем, что нет необходимости готовить гуминовые удобрения в виде гуматов натрия или аммония, а использовать бурые и окисленные каменные угли как пролонгированные комплексные удобрения для восстановления обедненных и нарушенных земель.

Таким образом, краткий анализ доступного литературного материала указывает на растворение окисленных углей посредством участия различных металлов в образовании координационных соединений гуминовых кислот бурых и окисленных каменных углей, которые в дальнейшем усваиваются различными растениями и микроорганизмами.

#### Список литературы:

1. Перельман А.И. Геохимия природных вод. М.: Наука, 1982. 151 с.
2. Менделеев Д.И. Основы химии. С. – Петербург, 1906. 816 с.
3. Стадников Г.Л. Химия угля. М.-Л.: Госхимтехиздат, 1933. 299 с.
4. Kleinhempel D. // Albrecht – Jhaer – Archiv. 1970. V.14. № 1. P.3.
5. Искольдский И.И. Химия в технике старой Руси. Л.: Изд-во "Красной газеты", 1927. 47 с.
6. Возбуждая А.Е. Химия почвы. М.: Высшая школа, 1968. 427 с.
7. Браташевский Ю.А. и др. (3 автора, если больше 4-х) Исследование процесса комплексообразования гуминовых кислот бурых углей. Будапешт, 1971. V.20. № 1-2. p. 31.
8. Золотова Е.Ф., Асс Г.Ю. Очистка воды от железа, фтора, марганца и сероводорода. М.: Стройиздат, 1979. 176 с.
9. Жемчужников Ю.А. Общая геология ископаемых углей. М.: Углетехиздат, 1948. 491 с.
10. Почвоведение. / Ред. И.С. Кауричев. М.: Колос, 1982. 496 с.
11. Гринберг А.А. Введение в химию комплексных соединений. Л.-М.: Госхимиздат, 1951. 464 с.
12. Збарский Б.И., Иванов И.И., Мардашев С.Р. Биологическая химия. М.: Медлиз, 1954. 619 с.

13. Драгунов С.С., Шульман Ю.А. // Сб. Гуминовые удобрения. Ч. III. Киев: Урожай, 1968, с.195.
14. Агрохимия / Ред. Б.А. Ягодин. М.: Агропромиздат, 1989. 656 с.
15. Исидорова В.А. Экологическая химия. С.-Петербург: Химиздат, 2001.304 с.
16. Joselis, Jkan R., Frenkel M. // Phys. And Chem. Earth. 1979. V.2. P.567.
17. Кухаренко Т.А. Окисленные в пластах бурые и каменные угли. М.: Недра, 1972. 215 с.
18. Ломашов И.П., Лосев Б.И. Германий в ископаемых углях. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 259 с.
19. Юдович Я.Э. Геохимия ископаемых углей. Л.: Наука, 1978. 263 с.
20. Назарова Н.И., Алыбакова Н.К. Угли Киргизии и состав их гуминовых кислот. Фрунзе: Илим, 1976.105 с.
21. Королева Р.П., Алыбакова Н.К., Назарова Н.И. / Сб. Материалы конференции молодых ученых АН Кирг. ССР, 1965. Фрунзе: Илим, 1970. С. 300.
22. Жоробекова Ш., Бугубаев А.Б. / Материалы научной конференции. Фрунзе, 1970. с.61.
23. Золотарева Б.Н. Гидрофильные коллоиды и почвообразование. М.: Наука, 1982. 58 с.
24. Bekyarova E.E., Rouschev D.D. // Fuel. 1971. 50. № 3. P. 272.
25. Шарова А.К., Гертман Е.М., Семернева Г.А. // ХТТ.1973. № 2. с. 58.
26. Браташевский Ю.А., Гайдаров О.И., Гордиенко С.А. // ЖФХ. 1971. Т. 45. № 11. С. 2913.
27. Szilagyi M. // Econ.Jeol. 1971. V. 66. № 7. P.1075.
28. Бугубаев А. Волощук З. // Сб. Неорганический и органический синтез. Фрунзе: Кирг. Гос.ун-т, 1977. С.13.
29. Славинская Г.В., Селеменев В.Ф. Фульвокислоты природных вод. Воронеж: Изд-во ВГУ, 2001. 156 с.
30. Зонн С.В. Железо в почвах. М.: Наука, 1982. 201 с.
- Бурцев М.П. Канско-Ачинский угольный бассейн. М.: Издательство АН СССР, 1961. 138 с.

## СОСТАВ КАРБОНОВЫХ КИСЛОТ БИТУМОИДОВ САПРОПЕЛИТОВ

**К.х.н. Н. Н. Рокосова, д.г.-м.н. Ю. В. Рокосов**

**Институт углехимии и химического материаловедения СО РАН,  
Кемерово, E-mail: chemgeo@rambler.ru**

Недостаток знаний о строении и химическом составе органической массы сапропелитовых углей препятствует созданию эффективных технологий их переработки с получением полупродуктов для промышленного органического синтеза. Поэтому необходимы исследования, направленные на выявление сырьевого потенциала сапропелитов. Несомненный интерес представляет изучение извлекаемых из них карбоновых кислот. С одной стороны, они представляют собой ценное сырье для химической промышленности и нефтедобывающей индустрии, с другой – они являются реликтовыми молекулами (биометками, биомаркерами, хемофоссилиями), несущими биогеохимическую информацию об организмах углеобразователях и условиях формирования углей. Цель рассмотренных здесь работ – анализ и обобщение данных по составу карбоновых кислот, получаемых экстрагированием сибирских сапропелитовых углей (таблица) в аппарате Сокслета, и обсуждение вероятных путей их образования.

Битумоиды извлекали из каждого сапропелитового угля (100 г) в аппарате Сокслета смесью бензола (225 мл) и этилового спирта (75 мл) в течение 48 часов. Раствор экстракта профильтровывали через бумажный фильтр и затем отгоняли растворитель на ротационном испарителе в вакууме водоструйного насоса при температуре бани 70 °С.

Выделение карбоновых кислот и других совместно получаемых соединений проводили по методикам, описанным в работе [3]. Выделенную смесь карбоновых кислот растворяли в диэтиловом эфире (на 1-2 мг смеси кислот 0.5-1 мл эфира), добавляли несколько капель метилового спирта и затем по каплям раствор диазометана, пока смесь не окрашивалась в желтый цвет. Смесь выдерживали 30 мин при комнатной температуре, после чего растворитель удаляли, пропуская через раствор ток гелия. Полученную таким образом смесь метиловых эфиров карбоновых кислот растворяли в хлороформе непосредственно перед хромато-масс-спектрометрическим анализом.

Петрографическое изучение образцов сапропелитов под микроскопом проводила А.И. Гинзбург (ВСЕГЕИ, г. Санкт-Петербург) в прозрачно-полированных шлифах. Они исследовались в проходящем поляризованном свете при увеличениях от 70 до 400 крат (микроскопы МП-7 и МИН-8 с электрическим источником света).

Технический и элементный анализы образцов сапропелитов выполнены в лаборатории микроанализа Новосибирского института органической химии СО РАН в соответствии с ГОСТами 11022-75, 110111-70, 6387-80, 6399-71, 24082-75, 8606-72.



Таблица. Характеристика образцов углей и выход битумоидов\*

| Угольный бассейн, месторождение | Технический анализ, % |                |                  | Элементный анализ, % на daf |      |     |     | Петрографический состав, % |    |    | Выход битумоида, мас. % от угля | Ссылки |
|---------------------------------|-----------------------|----------------|------------------|-----------------------------|------|-----|-----|----------------------------|----|----|---------------------------------|--------|
|                                 | W <sup>a</sup>        | A <sup>d</sup> | V <sup>daf</sup> | C                           | H    | S   | N   | ТА                         | КА | В  |                                 |        |
| Иркутский, Матаганское          | 1.3                   | 12.5           | 80.2             | 78.3                        | 10.1 | 3.6 | 0.8 | 8                          | 85 | 7  | 3.4                             | [1]    |
| Ленский, Таймыльское            | 1.1                   | 3.5            | 84.3             | 82.6                        | 9.5  | 0.3 | 0.7 | 44                         | 43 | 13 | 3.5                             | [2]    |
| Ленский, Чарчикское             | 0.5                   | 3.6            | 90.2             | 84.0                        | 10.1 | 0.3 | 0.4 | 49                         | 24 | 27 | 1.4                             | [3]    |
| Иркутский, Будаговское          | 3.8                   | 10.4           | 86.3             | 81.4                        | 10.3 | 0.2 | 1.2 | 3                          | 87 | 10 | 3.3                             | [3]    |
| Канско-Ачинский, Соболевское    | 10.1                  | 25.4           | 73.9             | 70.3                        | 10.2 | 0.3 | 0.9 | 3                          | 70 | 27 | 3.5                             | —      |

\*W<sup>a</sup> – влага аналитическая, A<sup>d</sup> и V<sup>daf</sup> – зольность и выход летучих в расчете на сухую и сухую беззольную массу соответственно; ТА – таллоалгинит, КА – коллоалгинит, В – витринит.

ИК-спектры битумоидов записывали на спектрометре Specord-80 фирмы "Karl Zeiss". Спектры ЯМР регистрировали на приборе WP-200 фирмы "Bruker Physik AG". В качестве внутренних стандартов при записи спектров ПМР использовали гексаметилдисилоксан (0.04  $\delta$ ), при регистрации спектров ЯМР-<sup>13</sup>C – хлороформ (76.9 м.д. от ТМС).

Хромато-масс-спектрометрический анализ смесей метилированных карбоновых кислот проводили на приборе LKB-2091, система обработки DS-2130. Колонка капиллярная длиной 35 м, внутренний диаметр 0.25-0.35 мм, неподвижная фаза – SE-30 или диметилсилоксансилареновый сополимер (ДМССАС), температура колонки 250, 270-300, 50 (8 °C/мин)-360 °C, соответственно; температура испарителя 300-360 °C, сепаратора 330 °C, газ-носитель – гелий. Энергия ионизирующих электронов 70 эВ.

В ИК-спектрах спирто-бензольных битумоидов сапропелитовых углей наблюдаются интенсивные полосы поглощения алифатических групп CH<sub>2</sub> (2930, 2860, 1455 см<sup>-1</sup>) и малоинтенсивные полосы групп CH<sub>3</sub> (плечо при 2960 и полоса при 1375 см<sup>-1</sup>), которые указывают на присутствие в битумоиде неразветвленных алифатических структур. Интенсивная полоса при 1710 и широкая при 3420 см<sup>-1</sup> отвечают колебаниям карбоксильных групп. Поглощение при 3080 и 1625 см<sup>-1</sup> свидетельствует о присутствии небольшого количества ненасыщенных соединений.

В спектрах ЯМР-<sup>1</sup>H 5%-ных растворов битумоидов в CDCl<sub>3</sub> наблюдается триплетный сигнал CH<sub>3</sub>-групп при 0.87  $\delta$ , мультиплет, видимо представляющий собой налагающиеся друг на друга триплеты групп CH<sub>3</sub>CO-типа при 2.34  $\delta$ , интенсивный сигнал CH<sub>2</sub>-групп с центром при 1.24  $\delta$  и уширенный сигнал гидроксильного протона при 9.51  $\delta$ . Судя по этим спектрам, битумоиды содержат в основном насыщенные углеводороды и карбоновые кислоты, что дополнительно подтверждается данными ЯМР-<sup>13</sup>C: сигналы CH<sub>3</sub>-групп при 14.0, групп CH<sub>2</sub> при 22.6, 24.3, 29.2 (наиболее интенсивный сигнал), 31.8, 34.0 и карбоксильной группы при 179.9 м.д. от ТМС.

Масс-хроматограммы смесей прометилованных карбоновых кислот содержат главным образом две группы пиков, относящихся к нормальным монокарбоновым и  $\alpha,\omega$ -дикарбоновым кислотам (рис. 1).



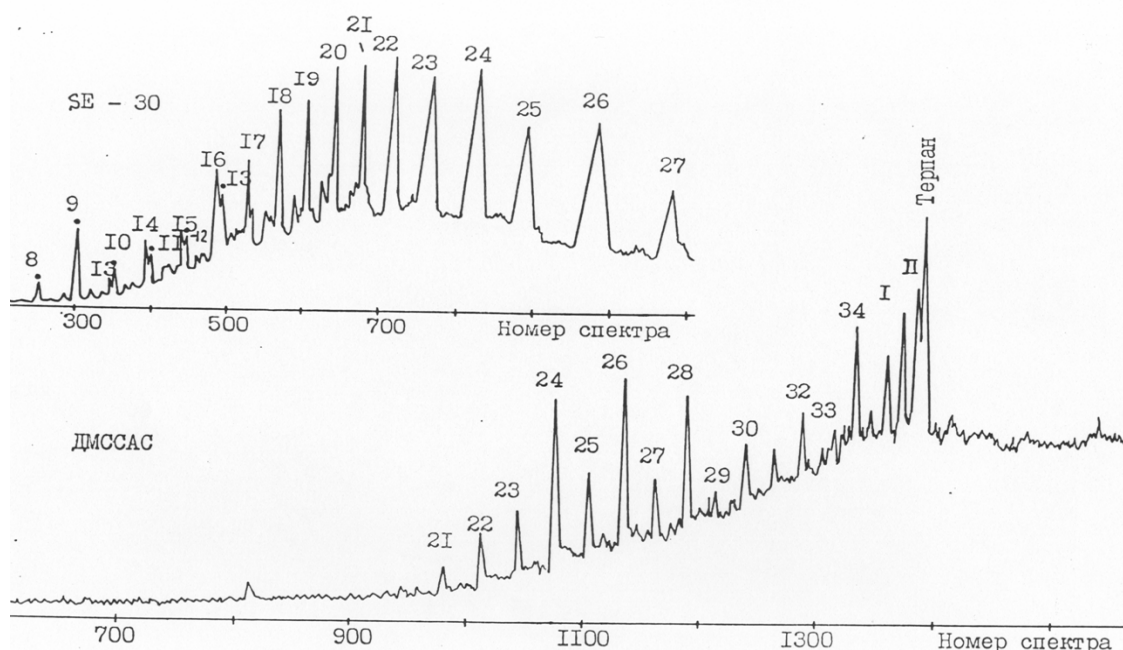


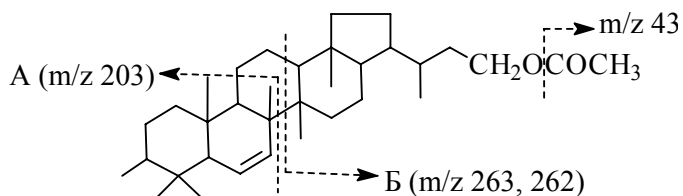
Рис. 1. Масс-хроматограммы метиловых эфиров карбоновых кислот битумоида соболевского угля, полученные в разных газохроматографических условиях (число и число с точкой над пиком обозначают количество атомов углерода в моно- и дикарбоновых кислотах, соответственно; I и II - пентациклические тритерпеноидные соединения).

В пользу этого вывода свидетельствовали следующие доводы: 1) идентификация отдельных представителей этих групп (например,  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_9\text{COOCH}_3$  (I),  $\text{CH}_3\text{OO}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOCH}_3$  (II), выполненная с помощью поисковой системы [4]; 2) все спектры соответствующих групп соединений имеют достаточно общий характер, позволяющий выявлять характерные для них спектральные признаки (так, например, для спектров группы I – пики ионов с  $m/z$  74, 87, 43 и пики ионов  $[\text{M}-31]^+$ ,  $[\text{M}-29]^+$ ; II –  $m/z$  74, 55, 98, 112, 126 и  $[\text{M}-73]^+$ ,  $[\text{M}-64]^+$ ,  $[\text{M}-31]^+$ ), хорошо согласующиеся с литературными данными [5, 6].

Смеси карбоновых кислот всегда содержат еще гомологическую серию оксокарбоновых кислот  $\text{CH}_3\text{CO}(\text{CH}_2)_k\text{COOH}$  ( $k = 7-10$ ). Масс-спектры метиловых эфиров оксокарбоновых кислот также имеют весьма характерные для них спектральные признаки –  $m/z$  43, 55, 58 и  $[\text{M}-69]^+$ ,  $[\text{M}-57]^+$ ,  $[\text{M}-31]^+$ , хорошо согласующиеся с литературными данными [7].

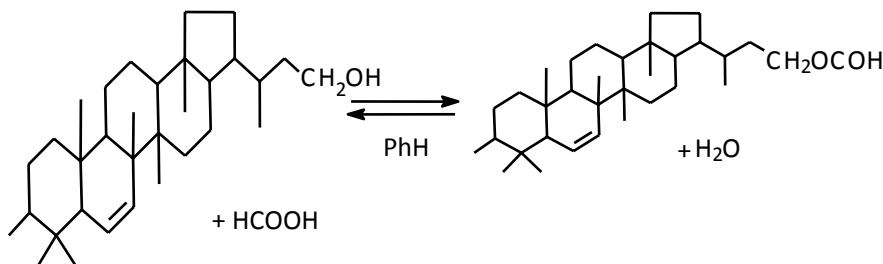
Два хроматографических пика принадлежали компонентам, которые метиловыми эфирами карбоновых кислот не являются. Вид масс-спектров этих компонентов типичен для пентациклических тритерпеноидных соединений (гопаноидов) [8]. В спектрах регистрируются интенсивные сигналы двух фрагментов А и Б: Для насыщенных гопаноидов фрагмент А характеризуется массовым числом 205, наличие же двойной связи приводит к  $m/z$  203.

Расположение связи установлено по данным специальных исследований [9]. Ионы с  $m/z$  203 и 262 дают возможность предположить значение молекулярного иона –  $m/z$  496, которое подтверждается наличием ионов с  $m/z$  453 (M-43), 437 (M-59) и 381 (M-115). Повышенная по сравнению с приведенной в литературе [10] интенсивность пика, отвечающего  $m/z$  203, объясняется суммированием сигналов от фрагмента А и от иона, образующегося из фрагмента Б при потере последней группы  $\text{OCOCH}_3$  ( $262-59=203$ ). В обсуждаемых масс-спектрах основным является ион с  $m/z$  43, что с учетом вышеизложенных данных указывает на наличие в молекуле ацетатной группы, а не метилкарбоксилатной.

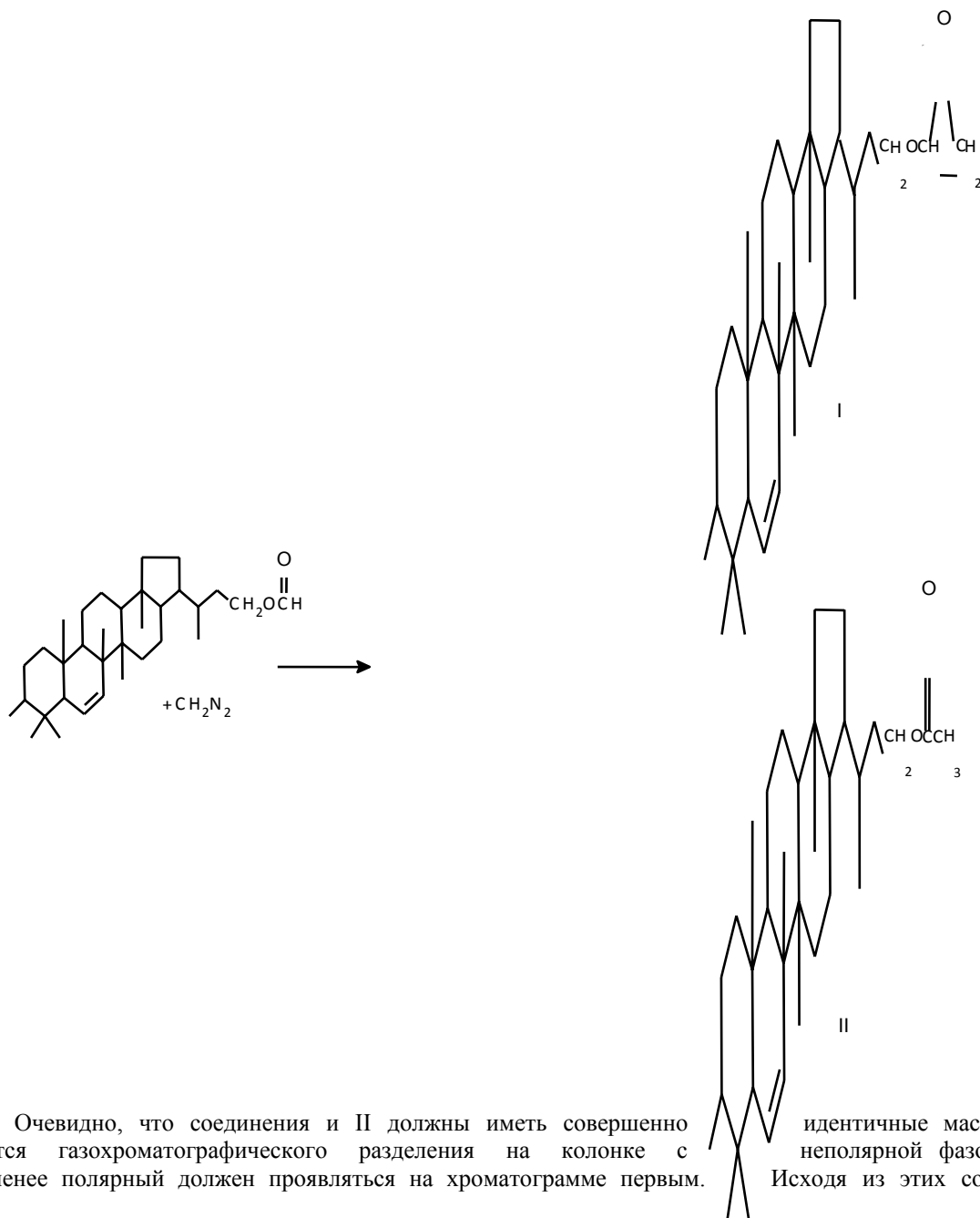


На первый взгляд такая интерпретация спектров противоречит химическому составу анализируемого образца, который согласно методикам его приготовления представляет собой метиловые эфиры карбоновых кислот. Однако анализ этих методик проясняет происхождение ацетата. Отвергая возможность совместного элюирования из колонки с силикагелем, импрегнированным КОН, карбоновых кислот и сложных эфиров, к которым относятся ацетаты, следует признать, что спирты, как полярные соединения, могли быть вымыты 2%-ным

эфирным раствором муравьиной кислоты вместе с карбоновыми кислотами. Удаление растворителя из элюата проводилось на ротаторном испарителе в вакууме водоструйного насоса при 60°C с добавлением бензола для образования азеотропной смеси (муравьиная кислота - бензол), кипящей при 60°C (524 мм. рт. ст.). Данные условия хорошо подходят для осуществления реакции этерификации спирта муравьиной кислотой [11]:



Реакция обратима, однако выход сложного эфира (формиата) должен быть высоким из-за непрерывного удаления из реакции бензола и образующейся воды: тройная азеотропная смесь из воды, муравьиной кислоты и бензола отгоняется при 60°C (499 мм. рт. ст.) [12]. Последний этап подготовки образца для хромато-масс-спектрометрического анализа заключался в обработке карбоновых кислот диазометаном. Присутствующий в смеси кислот формиат тоже реагирует с диазометаном с образованием двух соединений – эпоксида I и ацетата II:

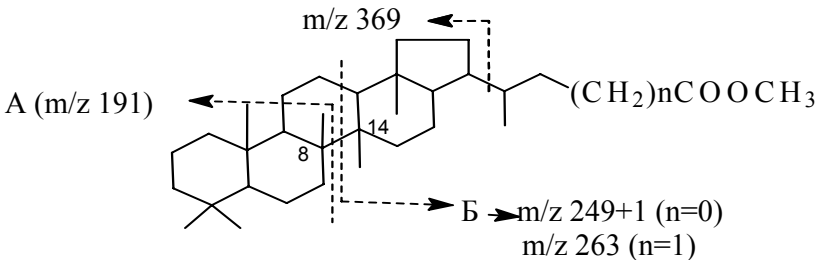


Очевидно, что соединения I и II должны иметь совершенно касается газохроматографического разделения на колонке с как менее полярный должен проявляться на хроматограмме первым.

идентичные масс-спектры. Что неполярной фазой, то эпоксид Исходя из этих соображений, по

площадям пиков на масс-хроматограмме можно определить относительные выходы эпоксида и ацетата; в данном случае (см. рис. 1) они составляли 40 и 60%, соответственно. Ясно, что относительные выходы этих соединений определяются структурными особенностями формиата. Последнее обстоятельство представляет интерес возможностью его проверки с помощью реакции индивидуального (модельного) соединения с диазометаном. Отсутствие необходимого модельного соединения не позволило пока провести такой опыт, однако следует отметить, что эти два соединения обнаружены также в образцах из битумоидов других сапропелитовых углей. Местоположение пиков на масс-хроматограммах и масс-спектры соответствующих компонентов оказались абсолютно идентичны тем, которые наблюдались в случае соболевского угля. Примечательно, что относительные выходы этих компонентов, эпоксида и ацетата, вычисленные по площадям их хроматографических пиков, во всех случаях оказались также равными 40 и 60%, соответственно.

Смесь кислот битумоида будаговского угля кроме нормальных моно- и дикарбоновых кислот содержит пентациклические тритерпеноидные (гопановые) кислоты состава  $C_{31}$  и  $C_{32}$  [3]. Наличие этих гопановых кислот доказываются масс-спектрометрическими данными, совпадающими с описанными в литературе [8]. Главным направлением распада метилового эфира гопановой кислоты под влиянием электронного удара является разрыв связей 8-14 с образованием двух фрагментов – постоянного А и переменного (зависящего от молекулярной массы анализируемого гопаноида) Б:



В масс-спектрах наблюдаются интенсивные молекулярные ионы  $m/z$  470 и 484, а также  $[M-15]^+$  ( $m/z$  455 и 469, соответственно) и характерный фрагментарный ион с  $m/z$  369, возникающий при отрыве боковой цепи от пентацикла. Хромато-масс-спектрометрический анализ смеси кислот битумоида соболевского угля наряду с производными пентациклического тритерпеноидного спирта, эпоксидом и ацетатом, выявил наличие гопановой кислоты  $C_{32}$ .

Содержание нормальных насыщенных монокарбоновых кислот  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_n\text{COOH}$  ( $n=4-30$  и более) в образцах осадочных отложений обычно отражает влияние как морского (озерного), так и континентального источников органического вещества [13]. Там, где наземный материал играл подчиненную роль, нормальные монокарбоновые кислоты представлены гомологами от  $\text{C}_{14}$  до  $\text{C}_{22}$ , происхождение которых связано с жирами морских или озерных организмов (планктон или водоросли). Значительное накопление континентального растительного материала приводило, вероятно, к появлению в осадках кислот от  $\text{C}_{24}$  до  $\text{C}_{32}$ .

Анализу распределения нормальных жирных кислот в осадках различного возраста (от докембрийского до современного) посвящен обзор Квенвольдена [14]. Для нормальных монокарбоновых кислот современных, третичных, мезозойских, палеозойских и докембрийских отложений установлен диапазон распределения  $C_{10}-C_{34}$  и преобладание четных гомологов, особенно  $C_{14}$ ,  $C_{16}$ ,  $C_{18}$ . Однако для кислот из горючих сланцев Грин-Ривер (эоцен, 60 млн. л) выявлено преобладание четных гомологов только для диапазона  $C_{16}-C_{34}$ , а среди кислот  $C_{10}-C_{15}$  - доминирование  $C_{11}$ ,  $C_{13}$ ,  $C_{15}$ . Преобладание концентраций четных гомологов оказалось незначительным или отсутствовало вообще для некоторых образцов сланцев мелового возраста, тем не менее, для большинства современных и древних осадков отмечено преобладание кислот с четным количеством атомов углерода в молекуле. Причиной образования нечетных жирных кислот Квенвольден назвал микробиологическое окисление нормальных парафинов. Он исходил из того, что нормальные парафины со средней длиной цепи в основном окисляются по концевому углеродному атому до первичных спиртов, альдегидов и соответствующих жирных кислот, которые далее подвергаются только микробиологическому  $\beta$ -окислению. Нормальные парафины с нечетным количеством атомов углерода в молекуле обычно более распространены в осадках, поэтому окисление этих парафинов должно давать нормальные жирные кислоты с преобладанием нечетных гомологов.  $\beta$ -Окисление нечетных гомологов должно приводить к образованию более низкомолекулярных, но опять же нечетных кислот. В то же время первоначально имеющиеся нормальные жирные кислоты, характеризующиеся преобладанием четных гомологов, также должны были подвергаться  $\beta$ -окислению и давать более низкомолекулярные четные кислоты. Смеси нормальных жирных кислот, образовавшиеся в результате микробиологического окисления, могут иметь разнообразное распределение, зависящее от относительного содержания парафинов и кислот, подвергшихся окислению.

Состав карбоновых кислот битумоида матаганского угля поразительно прост [1]. Все кислоты являются прямоцепными, насыщенными и относительно низкомолекулярными соединениями. Дикарбоновые кислоты ( $C_{11}$ – $C_{19}$ ) составляют 85% (по ГЖХ) от общего содержания кислот. Остальные 15% приходятся на монокрбоновые кислоты ( $C_8$ – $C_{13}$ ), которые характеризуются отсутствием преобладания четных или нечетных гомологов. Эти данные имеют некоторое сходство с результатами Берлингейма и сотр. [15], которые обнаружили только

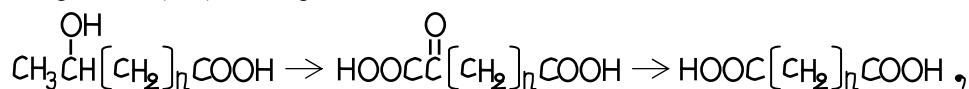
относительно короткоцепные (до C<sub>18</sub>) нормальные монокарбоновые кислоты в экстрагируемых веществах тасманитов Аляски (юра, 130-190 млн. л) и Тасмании (пермь, 220-275 млн. л). Во всех экстрактах либо не было преобладания четных гомологов кислот, либо оно было незначительно с максимумами при C<sub>11</sub>, C<sub>12</sub> или C<sub>14</sub>. Тасманиты по данным петрографических исследований имеют чисто альговое происхождение, а распределения нормальных монокарбоновых кислот оказались не такими, как в водорослях. Однако авторы не дали объяснения этим результатам, отметив только их направленность “не в пользу альгового происхождения тасманитов”. Алифатические дикарбоновые кислоты нормального строения также присутствовали в экстрактах тасманитов, но их происхождение авторы не обсуждали.

Кислоты, наряду с другими соединениями, выделяемыми из экстрактов сапропелитов, являются геохимическими метками, по концентрационному распределению которых судят о генезисе углей. Особый интерес представляют нормальные монокарбоновые кислоты, для которых характерно преобладание молекул с четным числом атомов углерода в составе живых организмов и уменьшение их содержания в процессе карбонизации углей [14], и дикарбоновые кислоты, образование которых связывают с микробиологическим окислением углеводородов и монокарбоновых кислот [16]. С другой стороны, нельзя полностью исключать наличие в каустобиолитах дикарбоновых кислот иного происхождения. Так, Дуглас с сотр. [17] установил присутствие α,ω-дикарбоновых кислот C<sub>14</sub>-C<sub>19</sub> в составе водоросли *Botriococcus braunii*, которая считается источником многочисленных сапропелитовых углей и горючих сланцев.

Окисление микроорганизмами углеводородов с длинной цепью чаще всего происходит в терминальном и субтерминальном (т.е. как по C-1, так по C-2) положению [18]. Первоначально окисление протекает как гидроксилирование с последующей дегидрогенизацией. При атаке по концевой метильной группе углеводорода образуется, в конечном счете, карбоновая кислота. Дальнейшее окисление алканкарбоновой кислоты может протекать через стадию микробиологического β-окисления, в результате чего происходит укорочение углеводородной цепи на два CH<sub>2</sub>-фрагмента. Атака по субтерминальной группе дает алкилметилкетон. За этими процессами может следовать окисление (гидроксилирование) другого конца углеводорода. Например, показано, что октаноат, деканоат и лаурат микробиологически окисляются сначала в ω-гидрокислоты, а затем – в соответствующие дикарбоновые кислоты [19].

Микробиологическое окисление нормальных монокарбоновых кислот приводит к образованию в основном ω и (ω-1)-окисленных соединений [19, 20]. Так, авторы работы [21] обнаружили α,ω-дикарбоновые кислоты в экстрактах грин-риверских горючих сланцев, и предположили, что дикислоты образовались в основном в результате микробиологического ω-окисления монокарбоновых кислот.

С другой стороны, Чикарели и сотр. [22] предположили, что содержащиеся в бразильских горючих сланцах Параиба (олигоцен, 38 млн. л) нормальные дикарбоновые кислоты образовались путем микробиологического субтерминального окисления монокарбоновых кислот и последующего декарбоксилирования (ω-1)-оксокарбоновых кислот:



где n=13-27. Эта точка зрения как будто бы подтверждается обнаружением в горючих сланцах Параиба (ω-1)-оксокарбоновых кислот, концентрационное распределение которых подобно распределению нормальных дикарбоновых кислот. Другой путь происхождения дикислот – в результате окисления ω-гидроксикарбоновых кислот – имеет по мнению авторов подчиненное значение, так как концентрационные распределения дикарбоновых кислот и ω-оксокарбоновых кислот сильно различаются между собой.

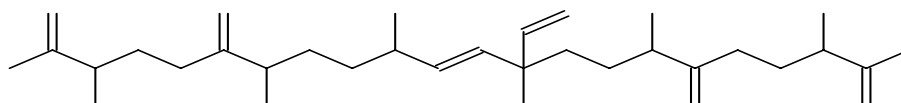
Предложенный микробиологический механизм объясняет наличие в битумоиде матаганского угля относительно короткоцепных (до C<sub>13</sub>) монокарбоновых кислот с монотонным концентрационным распределением гомологов и дикарбоновых кислот, которые также представлены относительно низкомолекулярными (до C<sub>19</sub>) соединениями. К тому же участие микроорганизмов в формировании органического вещества матаганского сапропелитового угля подтверждается наличием в составе парафиновой части битумоида пентациклических соединений ряда гопана. Необходимо только отметить, что окисление органических веществ в условиях образования сапропелитовых углей, скорее всего, является результатом суммарного действия микробиологических и химических процессов. Однако вклад микробиологического окисления более вероятен при окислении неактивированной связи C-H [18].

В спиртобензольном битумоиде таймырского сапропелитового угля содержание нормальных монокарбоновых кислот вдвое превышает количество дикарбоновых кислот [2]. Среди монокарбоновых кислот (C<sub>6</sub>-C<sub>19</sub>) преобладают низкомолекулярные (<C<sub>13</sub>) соединения, а коэффициент четности их близок 1. Дикарбоновые кислоты (C<sub>11</sub>-C<sub>19</sub>) также характеризуются монотонным изменением концентрации гомологов. Обнаруженные в битумоиде (ω-1)-оксокарбоновые кислоты (C<sub>10</sub>-C<sub>13</sub>) составляют 2% (по ГЖХ) от общего содержания кислот. Данные по концентрационному распределению кислот битумоида дают основание полагать, что исходное органическое вещество таймырского угля также подвергалось бактериальному окислению.

Высокое содержание дикарбоновых кислот имеет место в битумоиде среднеазиатского балхашита [23]. Образование балхашита в заливе Ала-Куль озера Балхаш можно было наблюдать еще в начале текущего столетия, но вследствие изменения водного режима озера его накопление прекратилось. В 1920-1936 гг. балхашит

интенсивно исследовали [24-27]. Исходным биологическим материалом образования балхашита, представляющего торфяную стадию богхедов, были водоросли *Botryococcus braunii*. В составе жиров этой водоросли преобладают пальмитиновая ( $C_{16}$ ), олеиновая ( $C_{18:1}$ ) и октакозеновая ( $C_{28:1}$ ) кислоты. Обнаружены также монокарбоновые кислоты  $C_{18:2}$ ,  $C_{18:3}$ ,  $C_{26:1}$  и  $C_{28:2}$ . Однако Побуль и Клесмент [23] обнаружили в битумоиде балхашита нормальные монокарбоновые кислоты  $C_8$ - $C_{27}$  с небольшим преобладанием четных гомологов и самым высоким содержанием кислоты  $C_9$ . Другие максимумы составили кислоты  $C_{16}$  и  $C_{18}$ , являющиеся главными в большинстве седиментов [13], и  $C_{24}$ . Наряду с этим среди парафинов было выявлено незначительное преобладание гомологов с нечетным числом атомов углерода, а в жирнокислотной части – наличие большой концентрации (50% по ГЖХ) нормальных дикарбоновых кислот. Эти показатели привели к предположению, что первичное водорослевое вещество подвергалось сильной бактериальной переработке, и балхашит образовался уже из вторичных продуктов. На этом основании авторы сделали вывод, что “балхашит не является типичным сапропелитом” [28].

Интересно, что именно при исследовании балхашита Стадников [25, 26] пришел к выводу, что сапропелиты образуются главным образом из ненасыщенных жирных кислот в результате их полимеризации, ангидридации и декарбоксилирования, причем важную роль здесь играют окислительные реакции. Однако в работах [29, 30] показано, что водоросль *Botryococcus braunii* существует в двух физиологических состояниях – в оранжевой и зеленой формах. Первая из них характеризуется способностью к продуцированию ботриоксенов – высокорекреационноспособных углеродных полиенов:



Зеленая форма вырабатывает алкадиены с прямыми цепями, имеющие общую формулу  $CH_2=CH-(CH_2)_n-CH=CH-(CH_2)_7-CH_3$ , где  $n=15, 17, 19$ . Считается, что эта последняя форма водоросли дает начало австралийскому куронгиту, который, как и балхашит, представляет торфяную стадию богхедов. Правда, только прямым синтезом водорослями больших количеств углеводов невозможно удовлетворительно объяснить состав куронгита, так как какую-то роль играют жирные кислоты, микробиальные преобразования и детрит высших растений [31].

Алкадиены, синтезируемые зеленой формой водоросли *Botryococcus braunii*, считаются основой образования торбанита Австралии (пермь-карбон, 280-325 млн. л) [32]. Авторы работы [33] исследовали бензолметанольный битумоид, который составляет в расчете на исходный торбанит всего 0.81%. Кислые компоненты битумоида состоят в основном из нормальных алифатических монокарбоновых кислот  $C_{12}$ - $C_{27}$  с самым высоким содержанием гомологов  $C_{16}$  и  $C_{18}$ . Дикарбоновые кислоты, являющиеся индикаторами вторичных биохимических процессов, в битумоиде не были обнаружены. Хотя эти данные свидетельствуют о происхождении кислот из жиров водоросли, однако вклад их в формирование торбанита по-видимому незначителен.

Сопоставление результатов изучения кислот битумоидов балхашита, матаганского и таймырского углей показывает, что характерно монотонное изменение концентрации гомологов дикарбоновых кислот, хотя максимум распределения дикислот балхашита приходится на более длинноцепной гомолог  $C_{19}$ . Особенностью монокарбоновых кислот балхашита и таймырского угля является преобладание гомолога  $C_9$ , являющегося вторым максимумом для одноосновных кислот матаганского угля. В то же время в распределении монокарбоновых кислот балхашита отмечается небольшое преобладание четных гомологов, которого нет в гомологических рядах кислот таймырского и матаганского углей.

Битумоид чарчикского угля содержит монокарбоновые кислоты  $C_8$ - $C_{28}$ ; дикарбоновые кислоты ( $C_9$ - $C_{23}$ ) присутствуют в относительно значительном количестве (50%) [3]. В отличие от исследованных нами ранее битумоидов, где не наблюдалось регулярного преобладания четных гомологов нормальных монокарбоновых кислот  $>C_{13}$ , в данном случае в относительно большем количестве содержатся кислоты  $C_{16}$ ,  $C_{18}$ ,  $C_{22}$ ,  $C_{24}$ ,  $C_{26}$  и  $C_{28}$ . Характерно, что в ряду дикарбоновых кислот битумоида относительно высокую концентрацию имеют более низкомолекулярные соединения.

Более высоким преобладанием гомологов с четным числом атомов углерода характеризуются нормальные монокарбоновые кислоты битумоида будаговского угля [3]. В битумоиде основная кислота  $C_{24}$ , другие максимумы приходятся на кислоты (в порядке понижения концентрации)  $C_{22}$ ,  $C_{23}$ ,  $C_{20}$  и  $C_{18}$ . Повышенная концентрация кислоты  $C_{23}$  может быть обусловлена деятельностью бактерий, однако явное доминирование других четных гомологов свидетельствует о неглубокой бактериальной переработке. Этому предположению не противоречит низкое относительно монокарбоновых общее содержание (25%) дикарбоновых кислот. Эти данные показывают, что в будаговском угле хорошо сохранились признаки первичной биологической продукции, являющейся непосредственным источником основной части карбоновых кислот битумоида. Битумоид соболевского угля содержит нормальные монокарбоновые кислоты  $C_{13}$ - $C_{34}$ , дикарбоновых кислот мало (4%). В отличие от битумоида будаговского угля, где преобладают четные гомологи монокарбоновых кислот  $C_{18}$ - $C_{34}$ , в данном случае в значительном количестве содержатся кислоты  $C_{24}$ ,  $C_{26}$ ,  $C_{28}$  и  $C_{34}$ . Наблюдается регулярное преобладание четных гомологов нормальных монокарбоновых кислот.

Таким образом, результаты исследований свидетельствуют, что карбоновые кислоты битумоидов матаганского и таймырского углей являются в основном продуктами микробиологического окисления прямоцепных жирных кислот и углеводов исходного водорослевого вещества. Анализ распределений нормальных монокарбоновых кислот в битумоидах чарчикского, будаговского и соболевского углей показывает,

что часть их происходит из первичного биологического материала, возможно континентального (например, относительно высокомолекулярные кислоты, начиная с  $C_{24}$ ). Тем не менее, наличие в составе битумоидов пентациклических кислородсодержащих соединений ряда гопапа свидетельствует о неперенном участии микроорганизмов в формировании органического вещества битумоидов сапропелитовых углей.

#### Список литературы:

1. Бодоев Н.В., Контюг В.А., Рокосов Ю.В. // Изв. СО АН СССР. Сер. хим. наук. 1988. Вып. 1. С. 139-146.
2. Bodoev N.V., Rokosov Yu.V., Koptug V.A. // Fuel. 1990. V. 69. P. 216-220.
3. Рокосов Ю.В. Исследование карбоновых кислот сапропелитовых углей Сибири: Автореф. дис. ... канд. хим. наук. Иркутск, 1990. 18 с.
4. Дерендяев Б.Г., Контюг В.А., Лебедев К.С., Шарапова О.Н. // Автометрия. 1979. № 4. С. 3-10.
5. Ryhage R., Stenhagen E. // Arkiv Kemi. 1959. V. 13. N 52. P. 523-542.
6. Ryhage R., Stenhagen E. // Arkiv Kemi. 1965. V. 23. N 15. P. 167-175.
7. Ryhage R., Stenhagen E. // Arkiv Kemi. 1960. V. 15. N 50. P. 545-574.
8. Ourisson G., Albrecht P., Rohmer M. // Pure and Appl. Chem. 1979. V. 51. N 4. P. 709-729.
9. Rohmer M., Ourisson G. // Tetrahedron Lett. 1976. N 40. P. 3641-3644.
10. Rohmer M., Ourisson G. // Tetrahedron Lett. 1976. N 40. P. 3633-3636.
11. Вейганд-Хильгемат. Методы эксперимента в органической химии. М.: Химия, 1968. 944 с.
12. Огородников С.К., Лестева Т.М., Коган В.Б. Азеотропные смеси. Справочник. М.: Химия, 1971. 848 с.
13. Туссо Б., Вельте Д. Образование и распространение нефти. М.: Мир, 1981. 502 с.
14. Kvenvolden K.A. // J. Am. Oil Chem. Soc. 1967. V. 44. P. 628-636.
15. Burlingame A.L., Wszolek P.C., Simoneit B.R. // Advances in organic geochemistry/ Eds. P.A.Schenk, J.Havenaar. Braunschweig. 1969. P. 131-155.
16. Seifert W.K. // Fortschritte d. Chem. org. Naturst. 1975. V. 32. P. 1-49.
17. Douglas A.G., Douraghi-Zadeh K., Eglinton G. // Phytochem. 1969. V. 8. P. 285-293.
18. Фонкен Г., Джонсон Р. Микробиологическое окисление. М.: Мир, 1976. 240 с.
19. Kusunose M., Kusunose E., Coon M.J. // J. Biol. Chem. 1964. V. 239. N 5. P. 1374-1380.
20. Kester A.S., Foster J.W. // J. Bacteriol. 1963. V. 85. P. 859-869.
21. Haug P., Schnoes H.K., Burlingame A.L. // Science. 1967. V. 158. P. 772-773.
22. Chicarelli M.I., Damasceno L.P., Cardoso J.N. // Org. Geochem. 1984. V. 6. P. 153-155.
23. Побуль Л., Клеммент И. // Изв. АН ЭССР. Хим. 1981. Т. 30. № 2. С. 75-83.
24. Zelinsky N.D. // Brennstoff-Chemie. 1925. Bd. 6. № 23. S. 365-380.
25. Stadnikov G., Woschinskaja Z. // Brennstoff-Chemie. 1930. Bd. 11. № 20. S. 414-416.
26. Stadnikow G.L. // Brennstoff-Chemie. 1933. Bd. 14. № 12. S. 227-229.
27. Stadnikoff G., Egorova O. // Brennstoff-Chemie. 1936. Bd. 17. № 3. S. 48-49.
28. Клеммент И.Р., Побуль Л.Я., Ханна Л.А. Химическое строение и образование балхашита// III Всесоюзное совещание по геохимии горючих сланцев: Тез. докл., Таллин, 1982. С. 88-90.
29. Brown A.C., Knights B.A., Conway E. // Phytochem. 1969. V. 8. P. 543-547.
30. Knights B.A., Brown A.C., Conway E., Middleditch B.S. // Phytochem. 1970. V. 9. P. 1317-1324.
31. Горючие сланцы/ Под ред. Т.Ф.Йена, Дж.В.Чилингаряна. Л.: Недра, 1980. 262 с.
32. Cane R.F., Albion P.R. // Geochim. Cosmochim. Acta. 1973. V. 37. P. 1543-1549.
33. Djuricic M.V., Vitorovic D., Hertz H. et al. // Org. Geochem. 1978. V 1. № 2. P. 79-84.

## ИЗМЕНЕНИЕ РЕАКЦИОННОСТИ УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СТРУКТУРНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ И ПРИСУТСТВИЯ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ДОБАВОК

к.х.н. Ч.Н. Барнаков, к.х.н. Г.П. Хохлова, к.х.н. О.С. Ефимова,  
В.Ю. Малышева, д.х.н. З.Р. Исмаилов

Институт углехимии и химического материаловедения СО РАН  
г. Кемерово, E-mail: [icccms@rambler.ru](mailto:icccms@rambler.ru)

Одним из важнейших свойств углеродных материалов (УМ), определяющих возможность их использования, является реакционная способность. Требования к реактивности УМ зависят от его назначения. Так, для доменных коксов необходима низкая реакционная активность, которая обеспечивает высокую горячую прочность, тогда как для коксов, используемых при производстве, например, кремния требуется высокая реакционность.

Реакционная активность УМ зависит от особенностей углеродной структуры и наличия примесей. Известно, что углерод может существовать в виде нескольких термодинамически метастабильных состояний: алмаз, фуллерены и нанотрубки, которые могут переходить в графит как наиболее термодинамически стабильное состояние и наименее реакционноспособное как в отношении окислителей, так и восстановителей. С другой

стороны, присутствие различных примесей в органическом материале, из которого получают УМ, а также добавок катализаторов (обычно, соединений металлов), часто используемых при карбонизации, могут влиять на свойства углерода, как повышая, так и понижая его реакционную способность.

Целью данной работы является исследование влияния графитовой составляющей и присутствия различных добавок на реакционную способность УМ.

УМ с разной степенью графитации и наличием неорганических составляющих синтезированы на основе угля марки Ж, каменноугольного пека, гидратцеллюлозных волокон (Ц) и графита, а также использованы промышленные УМ – высокотемпературные каменноугольные коксы. В качестве добавок исследовали соединения d-металлов (Fe, Ni, Mo, V, W), борную кислоту, оксид алюминия и оксид кремния. Добавки вносили в прекурсор углерода путем механического смешения или путем пропитки водными растворами.

Карбонизацию угля и Ц осуществляли в трубчатой муфельной печи в токе аргона, скорость подъема температуры печи составляла 5°/мин, конечная температура - 900 °С.

Из графита путем предварительного электрохимического окисления графита в водном растворе азотной кислоты до разной степени окисления с последующим термоударом (терморасширением) при температуре 1000 °С [1] получены два образца терморасширенного графита: ТГВ - с более высокой степенью окисления графита и ТГН - соответственно, с более низкой.

Из каменноугольного пека синтезированы пенографиты по разработанному нами методу каталитической низкотемпературной графитации [2-4] с использованием в качестве катализаторов наночастиц 3d-металлов, нанесенных на наноразмерный углеродный материал: 0,4 % Ni (ПГ 1) и 0,4 % Ni + 5,8 % FeSi (ПГ 2); температура графитации 900 °С.

Оценку степени графитации проводили методом спектроскопии комбинационного рассеяния (КР) на Фурье-спектрометре RFS 100/S BRUKER со спектральным разрешением 8 см<sup>-1</sup> с использованием в качестве источника возбуждения линии 1064 нм Nd-YAG-лазера мощностью 100 мВт.

Элементный состав УМ определяли методом рентгеноспектрального флуоресцентного анализа на рентгенофлуоресцентном спектрометре ARL ADVANT'X 3.6kW. Параметры проведения анализа: рентгеновская трубка с Rh анодом, напряжение 50 kV, ток 40 mA. Содержание элементов определяли по программе QuantAS.

Измерение удельной поверхности было проведено на установке ASAP-2400 (Micromeritics) по адсорбции азота при 77 К после предварительной тренировки образцов при 200 °С и остаточном давлении менее 0,001 мм.рт.ст. до прекращения газовой выделения, а также по адсорбции аргона на приборе Сорби N.4.1. Расчет проводили по изотермам адсорбции по методике [5] в диапазоне относительных давлений от 0,005 до 0,995 мм.рт.ст.

*Разработка метода оценки реакционной способности УМ.*

Реакция взаимодействия углерода с CO<sub>2</sub> при высокой температуре применяется для оценки реакционной активности *CRI* и горячей прочности *CSR* высокотемпературных каменноугольных коксов. Действующий в России стандартный метод определения *CRI* и *CSR* (ГОСТ Р 50921-2005) соответствует стандартам ASTM D 5341-93 и ISO/DIS 18894, разработанным японской корпорацией «Ниппон Стил» (Nippon Steel corp.) – метод NSC. Сущность метода: 200 г кокса в измельчении 19-22 мм газифицируют в специальном реакторе в потоке CO<sub>2</sub> (расход 300 л/ч) при 1100 °С в течение 2 ч. Показателем реакционной активности является выраженная в процентах потеря массы кокса после реакции с CO<sub>2</sub>. Показатель *CSR* представляет собой характеристику механической прочности кокса после воздействия на него CO<sub>2</sub> в указанных выше условиях.

С целью снижения массы пробы для анализа, температуры и продолжительности процесса газификации вместо стандартной методики нами разработана методика оценки реакционной способности УМ, заключающаяся в определении потери массы образца (обгара)  $\alpha$  при его взаимодействии с CO<sub>2</sub> при 900 °С в трубчатом реакторе с неподвижным слоем. Для анализа использовали высушенную до постоянной массы пробу массой 0,3-0,4 г с размером частиц 0,125 - 0,250 мм, толщина слоя 0,5-0,6 мм. Навеску кокса нагревали в инертной атмосфере (Ar) до температуры 900 °С, после чего Ar заменяли на CO<sub>2</sub>, который подавали в печь со скоростью 0,7 мл/с в течение 30 минут. Затем возобновляли пропускание Ar, печь отключали, после охлаждения образец вынимали и взвешивали, определяя потерю массы  $\alpha$  в процентах.

Сравнение полученных значений  $\alpha$  с *CRI* и *CSR* ряда промышленных коксов позволило установить корреляционную зависимость между этими параметрами (рис. 1), что показывает правомерность использования величины  $\alpha$  для оценки реакционной способности УМ.

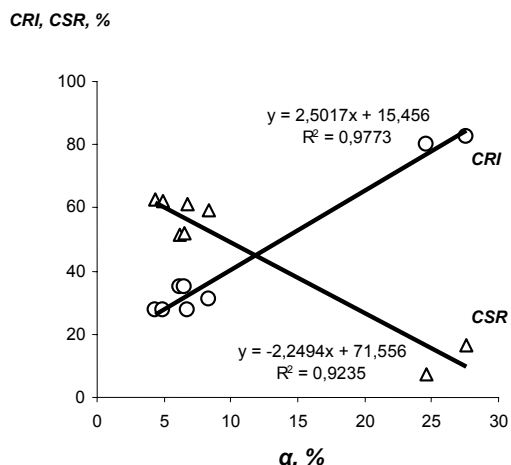


Рис. 1. Взаимосвязь CRI, CSR и  $\alpha$

Определение доли графитового углерода в полученных УМ проведено методом КР-спектроскопии, который широко используется для исследования структуры различных УМ как весьма информативный неразрушающий метод [6-8]. В спектрах КР графита в области  $1200-1800\text{ см}^{-1}$  наблюдаются две линии:  $1583\text{ см}^{-1}$  (G линия) и  $1370\text{ см}^{-1}$  (D линия). Линия G соответствует разрешенным колебаниям  $E_{2g}$  гексагональной решетки графита. Присутствие дефектов в структуре графита приводит к уширению линий в КР-спектрах и появлению дополнительной линии D, которая соответствует колебательной моде  $A_{1g}$ , запрещенной правилами отбора для идеального графита.

На рис. 2 представлены КР-спектры пенографитов ПГ 1 и ПГ 2 и терморасширенных графитов ТГВ и ТГН. Результаты определения соотношения интегральных интенсивностей G и D линий (соотношение G/D), характеризующего долю графитового углерода, приведены в табл. 1.

Из представленных данных видно, что из двух терморасширенных графитов в спектре ТГН отношение интегральных интенсивностей линий G и D более высокое, что согласуется с более высоким содержанием в нем графитового углерода. Повышение степени окисления графита приводит к получению терморасширенного графита с менее упорядоченной структурой, что проявляется в снижении отношения G/D (образец ТГВ). Аналогичное сравнение отношения G/D для пенографитов показывает, что в образце ПГ 2 доля графитовой составляющей немного выше, чем в ПГ 1.

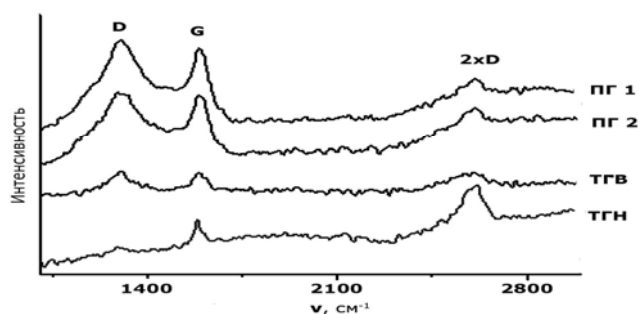


Рис. 2. КР-спектры пенографитов ПГ 1 и ПГ 2 и терморасширенных графитов ТГВ и ТГН

Результаты исследования образцов УМ – потеря массы (обгар)  $\alpha$  при взаимодействии с  $\text{CO}_2$  при  $900\text{ }^\circ\text{C}$ , реакционность CRI и горячая прочность CSR, определенные стандартным методом, доля графитовой составляющей, определенная методом КР-спектроскопии, удельная поверхность и суммарное содержание минеральных компонентов (зола) представлены в табл. 1.

Таблица 1. Характеристика УМ

| Образец | CRI,<br>% масс | CSR,<br>% масс | Зола,<br>% масс | Удельная<br>поверх-ность,<br>$\text{м}^2/\text{г}$ | Соотношение<br>G/D<br>по спектрам КР | Обгар $\alpha$ ,<br>% масс. |
|---------|----------------|----------------|-----------------|----------------------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|
| Кокс 1  | 27,8           | 61,2           | 11,6            | 1,1*                                               | 0,27                                 | 6,7                         |
| Кокс 2  | 27,8           | 62,0           | 13,1            | 0,7 (0,8*)                                         | 0,20                                 | 4,9                         |
| Кокс 3  | 27,9           | 62,4           | 12,0            | 1,0 (1,6*)                                         | 0,19                                 | 4,3                         |
| Кокс 4  | 34,8           | 51,9           | 10,4            | 0,6*                                               | 0,15                                 | 6,5                         |



|        |      |      |       |            |      |      |
|--------|------|------|-------|------------|------|------|
| Кокс 5 | 34,8 | 51,4 | 11,2  | 0,4 (0,6*) | 0,12 | 6,2  |
| Кокс 6 | 31,0 | 59,0 | 10,8  | 0,5*       | 0,34 | 8,4  |
| Кокс 7 | 82,7 | 16,5 | 10,2  | 1,6*       | 0,77 | 27,6 |
| ТГН    | -    | -    | < 0,1 | 10,8       | 1,62 | 12,0 |
| ТГВ    | -    | -    | < 0,1 | 19,0       | 0,44 | 17,8 |
| ПГ 1   | -    | -    | 0,8   | 3,7        | 0,23 | 23,1 |
| ПГ 2   | -    | -    | 10,7  | 5,0        | 0,24 | 26,4 |
| Графит | -    | -    | < 0,1 | 3,6        | 6,25 | 6,8  |

\*По адсорбции аргона.

Из табл. 1 видно, что по сравнению с пенографитами графит, как и ожидалось, обладает меньшей реакционной активностью, то есть большей стабильностью. Из пенографитов более высокой реакционной устойчивостью (меньшим обгаром) характеризуются терморасширенные графиты, причем с более высокой долей графитового углерода (образец ТГН). Меньшая реакционная устойчивость пенографитов ПГ 1 и ПГ 2 согласуется с более низкой степенью их графитации. Влияние графитовой составляющей более сильное, чем развитость поверхности образца: несмотря на более высокую удельную поверхность ТГН и ТГВ их реакционная активность ниже, чем у ПГ 1 и ПГ 2. Вместе с тем следует отметить, что на реакционную активность ПГ 1 и ПГ 2 может также оказывать влияние наличие в их составе соединений d-металлов – Ni и Fe, которые могут выступать катализаторами окисления углерода.

С этой позиции интересными оказались результаты исследования коксов. Данные КР-спектроскопии показывают, что в коксе часть углерода находится в виде графитовой составляющей, которая, возможно, образовалась в результате низкотемпературной каталитической графитации в присутствии различных 3d-металлов (табл. 2) [4].

Таблица 2. Данные по элементному составу коксов

| Элементы | Содержание элементов в образцах, % масс. |        |        |        |        |        |        |
|----------|------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|          | Кокс 1                                   | Кокс 2 | Кокс 3 | Кокс 4 | Кокс 5 | Кокс 6 | Кокс 7 |
| H,C,O,N  | 83,4                                     | 84,6   | 84,2   | 85,0   | 84,7   | 85,8   | 75,6   |
| Al       | 2,9                                      | 2,6    | 3,3    | 2,7    | 2,6    | 2,8    | 1,2    |
| Ba       | 0,2                                      | 0,2    | 0,2    | 0,4    | 0,3    | 0,3    | 1,3    |
| Ca       | 1,8                                      | 1,8    | 1,3    | 1,8    | 2,2    | 1,6    | 8,7    |
| CL       | 0,03                                     | 0,09   | 0,07   | 0,07   | 0,02   | 0,02   | 0,09   |
| Cr       | 0,004                                    | 0,006  | 0,007  | 0      | 0      | 0      | 0      |
| Cu       | 0,006                                    | 0,007  | 0,012  | 0,005  | 0,006  | 0,009  | 0      |
| Fe       | 3,2                                      | 2,5    | 2,9    | 2,7    | 2,5    | 2,3    | 7,6    |
| K        | 0,5                                      | 0,5    | 0,5    | 0,3    | 0,4    | 0,4    | 0,1    |
| Mg       | 0,6                                      | 0,4    | 0,3    | 0,4    | 0,5    | 0,4    | 2,1    |
| Mn       | 0,04                                     | 0,02   | 0,04   | 0,02   | 0,02   | 0,02   | 0,05   |
| Элементы | Содержание элементов в образцах, % масс. |        |        |        |        |        |        |
|          | Кокс 1                                   | Кокс 2 | Кокс 3 | Кокс 4 | Кокс 5 | Кокс 6 | Кокс 7 |
| Ni       | 0,01                                     | 0,01   | 0,02   | 0,01   | 0,01   | 0,02   | 0,02   |
| P        | 0,11                                     | 0,13   | 0,09   | 0,15   | 0,14   | 0,21   | 0,02   |
| S        | 1,38                                     | 1,57   | 1,44   | 1,79   | 1,39   | 1,60   | 1,93   |
| Si       | 5,5                                      | 5,2    | 5,4    | 4,3    | 4,7    | 4,2    | 1,2    |
| Sr       | 0,10                                     | 0,10   | 0,08   | 0,15   | 0,13   | 0,12   | 0,10   |
| Ti       | 0,3                                      | 0,2    | 0,3    | 0,3    | 0,2    | 0,2    | 0,12   |
| V        | 0,012                                    | 0,006  | 0,012  | 0,002  | 0,008  | 0,009  | 0      |
| Zn       | 0                                        | 0      | 0      | 0,01   | 0,008  | 0,009  | -      |
| Zr       | 0,02                                     | 0,014  | 0,012  | 0,022  | 0,013  | 0,02   | -      |
| As       | 0                                        | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | -      |
| Na       | 0                                        | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | -      |
| Br       | 0                                        | 0      | 0      | 0,014  | 0      | 0      | -      |

Наибольшей долей графитовой составляющей характеризуется кокс 7, концентрация Fe в котором наибольшая – 7,6 % масс, что соответствует условиям низкотемпературной графитации пека. С другой стороны, присутствие железа, очевидно, катализирует реакцию взаимодействия углерода с CO<sub>2</sub>, в результате чего реакционная устойчивость кокса 7 ниже, чем коксов 1-6, несмотря на более высокую степень графитации. В коксе 7 содержится также наибольшее количество щелочноземельных металлов (Mg, Ca, Ba), которые, возможно, усиливают взаимодействие углерода с CO<sub>2</sub>.

Таблица 3. Реакционность УМ на основе угля Ж и гидратцеллюлозных волокон в зависимости от природы и количества добавки

| Прекурсор углерода и добавка                                                        | Количество добавки<br>в 100 г УМ     |             | Обгар<br>$\alpha$ ,<br>% масс | Обгар $\alpha$<br>в расчете на УМ без<br>добавки, % масс |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|-------------|-------------------------------|----------------------------------------------------------|
|                                                                                     | оксид<br>или Ме, г                   | Ме,<br>г-ат |                               |                                                          |
| Ц                                                                                   | -                                    | -           | 30                            | 30**                                                     |
| (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> Mo <sub>2</sub> O <sub>7</sub>                      | 16,6 (MoO <sub>2</sub> )             | 0,074       | 82                            | 98**                                                     |
| NH <sub>4</sub> VO <sub>3</sub>                                                     | 12,2 (VO <sub>2</sub> )              | 0,147       | 53                            | 60**                                                     |
| (NH <sub>4</sub> ) <sub>10</sub> W <sub>12</sub> O <sub>41</sub> ·5H <sub>2</sub> O | 28,9 (WO <sub>2</sub> )              | 0,134       | 36                            | 50**                                                     |
| Уголь                                                                               | -                                    | -           | 49                            | 49                                                       |
| Ni(CH <sub>3</sub> COO) <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O                             | 2,4*                                 | 0,041       | 58                            | 60                                                       |
| ZnCl <sub>2</sub>                                                                   | 4,4*                                 | 0,068       | 75                            | 78                                                       |
| H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>                                                      | 5,3 (B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) | 0,151       | 27                            | 29                                                       |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                                                      | 9,8                                  | 0,192       | 38                            | 42                                                       |
| SiO <sub>2</sub>                                                                    | 3,3                                  | 0,055       | 38                            | 40                                                       |
| - « -                                                                               | 6,6                                  | 0,110       | 33                            | 35                                                       |
| - « -                                                                               | 9,8                                  | 0,162       | 35                            | 39                                                       |
| - « -                                                                               | 12,9                                 | 0,215       | 33                            | 38                                                       |

\*В расчете на металл

\*\*При определении  $\alpha$  в случае УМ на основе Ц измельчение материала не производилось, форма и размер частиц пробы для анализа определялись волокнистой структурой прекурсора, в связи с чем сравнение реакционной активности этих УМ возможно только между собой.

Данные табл. 2 показывают также, что присутствие кремния в количестве 4,2-5,5 % масс, а также алюминия в количестве 2,6-3,3 % масс понижают реакционную активность углерода при воздействии с CO<sub>2</sub>. В результате реакционная устойчивость коксов 1-6 находится на уровне графита, а по сравнению с пенографитами является более высокой даже в случае меньшей степени графитации. В коксе 7 содержание кремния и алюминия самое низкое.

Подтверждением этих выводов являются результаты исследования реакционной активности УМ, полученных из угля и Ц с добавками указанных соединений (табл. 3). Из табл. 3 видно, что добавка соединений d-металлов в уголь или Ц на стадии карбонизации приводит к получению УМ с более высокой реакционной активностью, чем в случае соответствующего прекурсора без добавки. Напротив, присутствие оксидов кремния и алюминия снижает реакционность УМ. Увеличению устойчивости УМ способствует также присутствие оксида бора, причем эффективность его влияния несколько выше, чем оксидов кремния или алюминия.

Таким образом, реакционную активность УМ, в том числе коксов, можно снизить и тем самым повысить их реакционную устойчивость и, соответственно, горячую прочность путем увеличения в составе УМ графитовой составляющей или защищая реакционные центры углерода введением каталитических количеств оксидов кремния, алюминия или бора. Для обеспечения реакционной устойчивости УМ необходимо также обеспечить низкое содержание в их составе оксидов d-металлов высокой степени окисления, являющихся известными катализаторами окисления, а также щелочноземельных и 3d-металлов (железо, никель), т.к. присутствие последних хотя и увеличивает графитовую составляющую, но еще более значительно катализирует реакцию взаимодействия углерода с CO<sub>2</sub>, в результате чего уменьшается реакционная устойчивость УМ.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Интеграционного проекта РАН 27.58 и Интеграционного проекта СО РАН 88.

#### Список литературы:

1. Авдеев В.В., Финаенов А.И., Яковлев А.В. и др. Способ получения пенографита и пенографит, полученный данным способом. Патент 2233794 РФ // Оpubл. 10.08.2004. (РЖХим, 2005, 12-19Л 306 П)
2. Барнаков Ч.Н., Сеит-Аблаева С.К., Козлов А.П. и др. Способ получения наноструктурированного углеродного материала. Патент 2206394 РФ // Б.И. 2003. № 17.
3. Ismagilov Z. R., Kerzhentsev M. A., Shikina N. V. et al. // Catalysis Today. 2005. V.102–103. P. 58.
4. Барнаков Ч.Н., Козлов А.П., Сеит-Аблаева С.К. и др. Способ получения пенографита. Заявка на Патент 2009132561 РФ от 28.08.2009 (Положительное решение от 04.04.2011.)
5. Грег С., Синг К. Адсорбция, удельная поверхность, пористость. М.: Мир, 1984. 306 с. (Gregg S.J., Sing K.S.W. Adsorption, Surface Area and Porosity. Academic Press, Inc. 1982)
6. Senō M., Tsuchiya Sh., Ogawa Sh. // J. Am. Chem. Soc. 1977. V. 99. № 9. P. 3014.
7. Riedo E., Comin F., Chevrier J., Bonnot A. M. // J. Appl. Phys. 2000. V. 88. № 7. P. 4365.
8. Nemanich R.J., Solin S.A. // Phys. Rev. B. 1979. V. 20. № 2. P. 392.

## ПОВЕРХНОСТНАЯ МОДИФИКАЦИЯ УГЛЕРОДНЫХ СОРБЕНТОВ ПОЛИКАРБОСИЛОМ

*К.х.н. Г.П. Хохлова, к.х.н. О.С. Ефимова*

*Институт углехимии и химического материаловедения СО РАН,  
г. Кемерово, E-mail: [gkhokhlova@yandex.ru](mailto:gkhokhlova@yandex.ru)*

Модификация поверхности углеродных сорбентов (УС) широко применяется для улучшения их характеристик и придания новых свойств. Особенно часто используют окислительную модификацию, повышающую концентрацию кислородсодержащих групп на поверхности. Применение в качестве модифицирующего агента соединений кремния для УС встречается редко. В частности, сообщается об обработке поверхности активированного угля, органическими соединениями кремния, которые повышают гидрофобность УС [1]. В то же время очень широко известны работы по покрытию углеродных материалов слоем карбида кремния для получения термостойких и стойких к окислению конструкционных материалов. Требованием высокой термоокислительной устойчивости композитов является сплошность карбидокремниевого покрытия и отсутствие в нем дефектов [2,3].

Однако присутствие на поверхности углерода или в его составе карбида и/или оксикарбида кремния, не образующего сплошного защитного слоя, также может увеличивать термоокислительную устойчивость углеродных материалов. Такие материалы были получены совместной карбонизацией каменноугольного пека с поликарбосилом - растворимым полимером, образующим при нагревании карбид кремния, и отличались повышенной стойкостью к термоокислению и одновременно более высокой пористостью по сравнению с аналогичными материалами на основе индивидуального пека [4]. В [5] паровым методом получены углеродные композиты с распределенным в их объеме SiC и показано, что скорость их окисления понижена по сравнению с чистым композитом.

Целью данной работы является исследование возможности получения углеродных сорбентов, сочетающих сорбционную активность с повышенной устойчивостью к термоокислению, путем модификации их поверхности карбидом и/или оксикарбидом кремния.

В качестве объектов исследования взяты промышленные углеродные сорбенты (УС) - активные угли АГ-3 (гранулированный, на основе каменного угля) и КАД-йодный (дробленый, на основе каменного угля, в дальнейшем, КАД) и углеродно-волоконистый сорбент марки АНМ (на основе нетканого материала из гидратцеллюлозных (вискозных) волокон). В качестве модифицирующей добавки использован поликарбосилан (ПКС)  $\{-(\text{CH}_3)_3\text{SiH}-\text{CH}_2-\}_m\{-\text{Si}(\text{CH}_3)_2-\text{CH}_2-\}_n$ .

ПКС на поверхность УС наносили жидкофазным методом, используя в качестве растворителя хлороформ; количество нанесенного ПКС (г) на 100 г УС указано в обозначении образца, содержание атомов Si в ПКС около 50 масс. %. Полученные композиции, а также исходные УС (для корректного сравнения) нагревали в инертной среде (инертный газ и продукты деструкции) до конечной температуры 900 °С со скоростью подъема температуры до 10 °С/мин, получая соответствующие кремнийсодержащие углеродные сорбенты (КУС).

Удельную поверхность ( $S_{\text{уд}}$ ) определяли методом БЭТ по адсорбции азота при 77 К на анализаторе удельной поверхности «Сорбтометр-М» (производство ЗАО «Катакон», Институт катализа СО РАН), статическую сорбцию паров бензола - эксикаторным методом, сорбцию йода – стандартным методом (ГОСТ 6217-74).

ИК-спектры регистрировали на спектрометре с Фурье-преобразованием «Tensor 27» фирмы «Bruker» с использованием приставки диффузного отражения в области волновых чисел 4000-400  $\text{см}^{-1}$ .

Микрофотографии и данные по элементному анализу поверхности были получены на сканирующем электронном микроскопе JEOL – 6390LA с применением энергодисперсионного детектора.

Термоокисление в статических условиях проводили нагреванием около 0,5 г образца в муфельной печи в атмосфере воздуха при 500 °С в условиях одновременной загрузки всей серии образцов для обеспечения идентичности условий. Исследование процесса термоокисления в динамическом режиме проведено методами термогравиметрии и масс-спектрометрии на синхронном термическом анализаторе STA 409 PG/PC с масс-спектрометрической приставкой MS 403 Aeolos фирмы «NETZSCH» нагреванием образца в кислородно-гелиевой среде (скорость подачи кислорода - 25 мл/мин, гелия – 50 мл/мин) при скорости нагрева 10 °С/мин.

Микрофотографии поверхности КУС, полученных на основе разного типа исходных сорбентов, приведены на рис. 1 (а-в). Основным элементом поверхности КУС является углерод. Среднее содержание атомов кремния на поверхности изменяется от 0,2 до 17 масс. % при увеличении количества добавленного ПКС от 1 до 50 г на 100 г УС; присутствуют также атомы кислорода (6-36 масс. %).

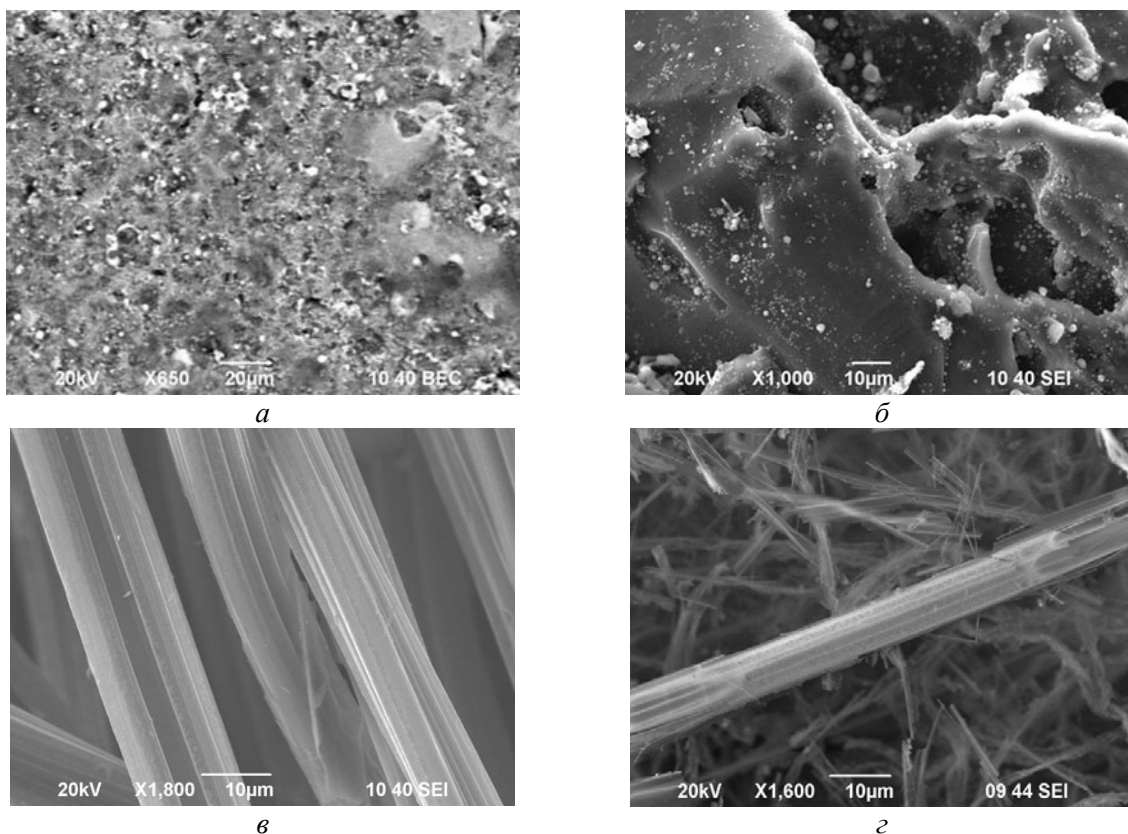


Рис. 1. Микрофотографии поверхности и среднее содержание элементов на поверхности (масс. %): а - АГ-3/50ПКС (С – 43, О – 36, Si – 17); б – КАД/10ПКС (С-91, О-7, Si – 1); в – АНМ/10ПКС (С – 90, О – 9, Si – 1); г – зола АНМ/10ПКС (С – 5, О – 58, Si – 35).

Структура поверхностных групп сорбентов исследована методом ИК-спектроскопии. На рис. 2 приведены ИК-спектры исходного УС (АГ-3), соответствующего КУС (АГ-3/50ПКС) и продукта термопревращения индивидуального ПКС. На поверхности АГ-3 присутствуют ОН-группы (полоса с максимумом при  $3450\text{ см}^{-1}$ ), связи C=C в ароматических структурах (поглощение в области  $1500\text{--}1680\text{ см}^{-1}$ ) и связи C=O (полоса около  $1750\text{ см}^{-1}$ ) [6] (1, рис. 2). В спектре продукта термопревращения ПКС (3, рис. 2) наблюдаются две интенсивные полосы с максимумами при  $1090\text{ см}^{-1}$  и  $801\text{ см}^{-1}$ , относящиеся, соответственно, к колебаниям связей Si-O в структурах типа Si-O-C и Si-O-Si и связей Si – C в карбиде кремния [6,7]. В спектре КУС АГ-3/50ПКС (2, рис. 2) присутствуют полосы, характерные для индивидуальных АГ-3 и продукта термопревращения ПКС, а также появляются полосы при  $2920$  и  $2850\text{ см}^{-1}$ , относящиеся к колебаниям C-H групп в алифатических структурах [6]. Появление новых полос в ИК-спектрах КУС указывает на взаимодействие продуктов деструкции ПКС с УС в процессе термопревращения.

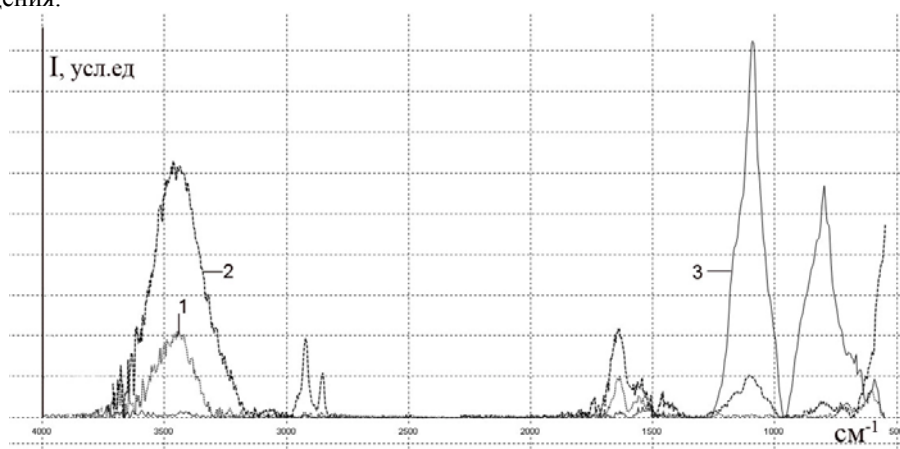


Рис. 2. ИК- спектры АГ-3 (1), КУС АГ-3/50ПКС (2) и твердого остатка термодеструкции индивидуального ПКС (3)

Присутствие карбида и/или оксикарбида кремния подтверждается высокотемпературным окислением образцов. После нагревания КУС на воздухе при  $850\text{ °C}$  в течение 2 ч остается «зола», содержащая в своем составе, помимо элементов золы исходного УС, атомов кислорода и кремния, также атомы углерода. Высокое содержание

атомов кислорода в золе свидетельствует о преимущественно оксикаридной структуре. В случае волокнистых сорбентов оксикарид кремния имеет волокнистую форму, соответствующую микроструктуре исходных волокон (рис. 1 г).

Пористые и сорбционные характеристики сорбентов снижаются с увеличением количества добавленного ПКС, однако даже при больших количествах ПКС эти показатели находятся на довольно высоком уровне и соответствуют требованиям, предъявляемых ко многим промышленным УС [8]. Характеристики КУС приведены в таблице.

Таблица. Свойства сорбентов

| Образец    | Зола*, % | $S_{уд}$ , м <sup>2</sup> /г | Сорбция       |         | После окисления на воздухе при 500 °С в течение 3÷5 ч |                          |                                       |
|------------|----------|------------------------------|---------------|---------|-------------------------------------------------------|--------------------------|---------------------------------------|
|            |          |                              | бензола, мг/г | йода, % | Потеря массы** за 3 ч, %                              | Потеря массы** за 5 ч, % | $S_{уд}$ после 5 ч, м <sup>2</sup> /г |
| КАД        | 6        | 620                          | 370           | 79      | 71 (76)                                               | 89 (95)                  | -                                     |
| КАД/5ПКС   | 17       | 390                          | 220           | 41      | 50 (60)                                               | 77 (93)                  | 880                                   |
| КАД/10ПКС  | 12       | 300                          | 180           | 33      | 47 (53)                                               | 74 (84)                  | 740                                   |
| КАД/15ПКС  | 17       | 170                          | 130           | 31      | 28 (34)                                               | 47 (57)                  | 910                                   |
| АНМ        | <1       | 910                          | 460           | 113     | 100                                                   | -                        | -                                     |
| АНМ/1ПКС   | 2        | 860                          | 460           | 136     | 65 (66)                                               | 88 (90)                  | 1100                                  |
| АНМ/10ПКС  | 4        | 660                          | 410           | 130     | 53 (55)                                               | 81 (84)                  | 1040                                  |
| АГ-3       | 8        | 800                          | 460           | 72      | 91 (99)                                               | -                        | -                                     |
| АГ-3/1ПКС  | 8        | 730                          | 450           | 93      | 62 (67)                                               | -                        | -                                     |
| АГ-3/5ПКС  | 10       | 620                          | 370           | 112     | 58 (64)                                               | -                        | -                                     |
| АГ-3/10ПКС | 12       | 560                          | 350           | 107     | 47 (53)                                               | -                        | -                                     |
| АГ-3/30ПКС | 16       | 450                          | 300           | 92      | 43 (51)                                               | -                        | -                                     |
| АГ-3/50ПКС | 24       | 320                          | 300           | 70      | 38 (50)                                               | -                        | -                                     |

\*Из-за выделения части кремния в процессе термообработки в виде летучих продуктов деструкции [9] количество золы в образцах не соответствует количеству добавленного ПКС.

\*\*В скобках – потеря массы в расчете на органическую составляющую.

Высокая пористость КУС и преимущественное содержание атомов углерода на поверхности свидетельствуют об отсутствии на ней сплошного защитного слоя из оксикарида кремния.

При нагревании в кислородсодержащей среде интенсивная деструкция КУС начинается при более высоких температурах, чем соответствующих немодифицированных УС. Так, температура начала интенсивного окисления КУС АГ-3/50ПКС на 100 °С выше, чем АГ-3, а скорость потери массы ниже (рис. 3).

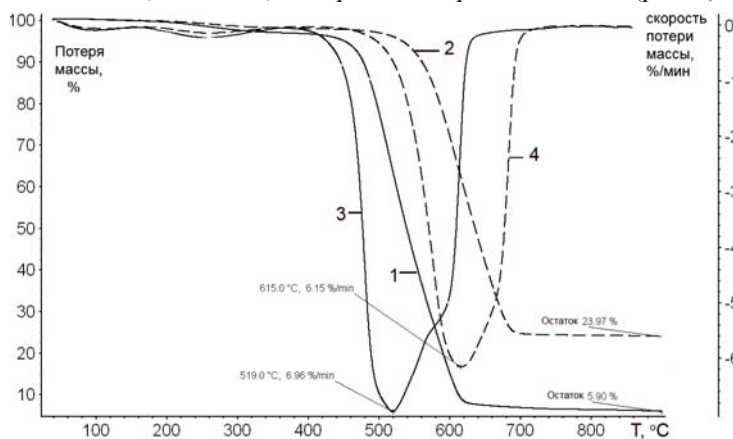


Рис. 3. Температурные зависимости потери массы АГ-3 (1), КУС АГ-3/50ПКС (2) и соответствующие скорости потери массы (3, 4) в кислородно-гелиевой среде

В продуктах термоокисления КУС обнаруживаются оксиды углерода, вода, а также небольшие количества других соединений, максимумы выделения которых по сравнению с таковыми для немодифицированных УС также сдвинуты в высокотемпературную область; с увеличением количества добавленного ПКС высокотемпературный сдвиг максимумов кривых выделения возрастает (рис. 4 - 6).

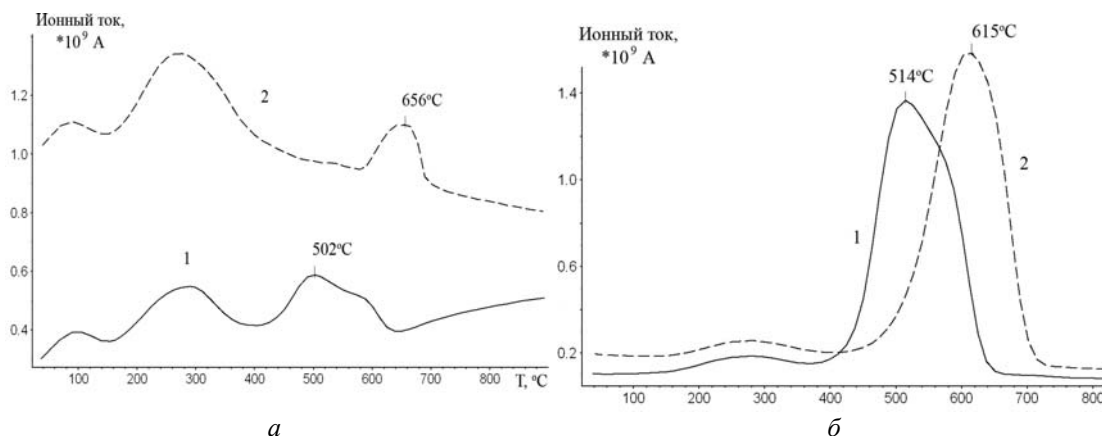


Рис. 4. Кривые выделения  $\text{H}_2\text{O}$  (а) и  $\text{CO}_2$  (б) в процессе термоокисления АГ-3 (1) и КУС АГ-3/50ПКС (2)

В низкотемпературной области (200 – 300 °С) также наблюдается выделение небольшого количества летучих продуктов, обусловленное удалением адсорбированных в порах веществ и отщеплением слабосвязанных с поверхностью структурных фрагментов и функциональных групп. В составе летучих продуктов в этом температурном интервале регистрируются  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_3\text{COOH}$ , фрагменты  $\text{C}_4\text{H}_2^+$ ,  $\text{C}_4\text{H}_4^+$ ,  $\text{C}_6\text{H}_4^+$  и др., что согласуется с данными ИК-спектроскопии о наличии на поверхности  $\text{OH}$ - и  $\text{C=O}$ -групп, алифатических  $\text{C-H}$ - и ароматических  $\text{C=C}$ -связей. Поскольку температура выделения этих соединений зависит от прочности связи с углеродной матрицей, с увеличением количества добавленного ПКС она не меняется, однако интенсивность выделения может значительно снижаться (рис. 6 г).

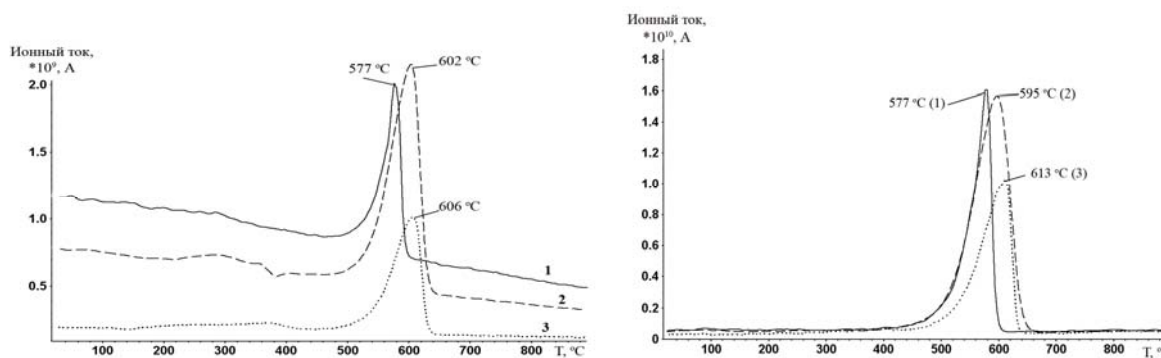


Рис. 5.

Кривые выделения  $\text{CO}$  (а) и  $\text{CO}_2$  (б) в процессе термоокисления АНМ (1), АНМ/1ПКС(2) и АНМ/10ПКС(3)

Высокотемпературный сдвиг и снижение скорости потери массы при термоокислении кремнийсодержащих УВС, несмотря на то, что оксикарбид не покрывает сплошным слоем поверхность углерода, и, следовательно, не может служить барьером диффузии кислорода, объясняется, как было показано в [5], тем, что  $\text{Si(C,O)}$  влияет на рост ямок окисления, мешая им расти и уменьшая тем самым повышение площади поверхностной области, контактирующей с кислородом. Другим фактором, замедляющим взаимодействие углерода с кислородом, может являться блокировка атомами кремния активных центров на углеродной матрице, адсорбцией кислорода на которых и образованием комплексов углерода с атомами кислорода начинается процесс окисления углерода.



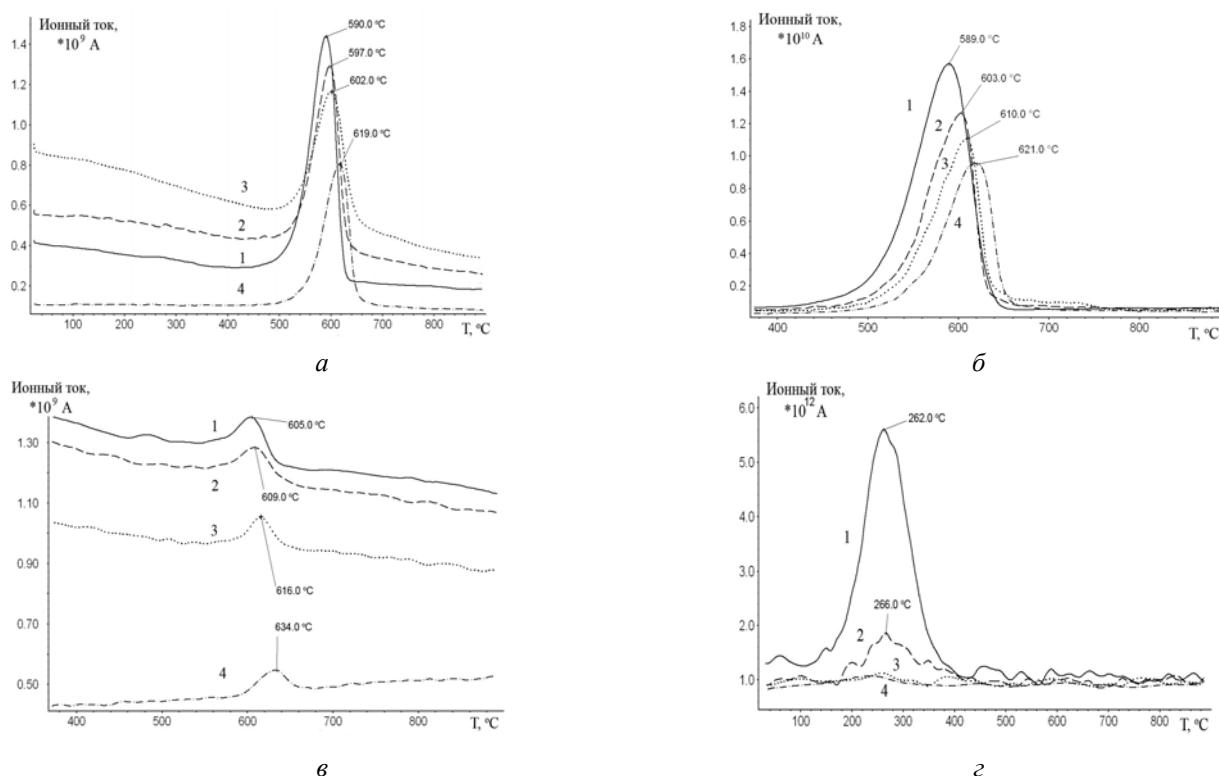


Рис. 6. Кривые выделения  $\text{CO}$  (а),  $\text{CO}_2$  (б),  $\text{H}_2\text{O}$  (в) и  $\text{CH}_3\text{COOH}$  (г) в процессе термоокисления КАД (1) и КУС КАД/5ПКС (2), КАД/10ПКС (3), КАД/15ПКС (4)

Благодаря снижению скорости процесса термоокислительной деструкции полученные КУС можно использовать в кислородсодержащей среде при повышенной температуре более длительное время, чем соответствующие немодифицированные УС. Так, при  $500^\circ\text{C}$  КУС могут эксплуатироваться в течение трех и более часов, тогда как исходные УС к этому времени полностью окисляются. Более того, в этих условиях КУС даже увеличивают свою удельную поверхность (образование новых пор при взаимодействии углерода с кислородом воздуха - процесс активации) (см. табл.).

Таким образом, КУС, полученные с использованием разных исходных УС, содержат на поверхности кремний в виде оксикарида кремния, не образующего сплошного защитного слоя. Вследствие этого удельная поверхность и сорбционная активность КУС хотя и ниже, чем соответствующих УС, однако в изученном концентрационном интервале ПКС остается на достаточно высоком уровне. Модифицированные сорбенты характеризуются повышенной устойчивостью к термоокислению – более высокой температурой начала термоокислительной деструкции и более низкой потерей массы, причем в процессе окисления сохраняют пористость и сорбционную активность практически до момента полного окисления. С увеличением количества добавленного ПКС термоокислительная устойчивость КУС возрастает, но снижается сорбционная активность.

Авторы выражают благодарность сотрудникам ИУХМ СО РАН С.Ю. Лыршикову за снятие микрофотографий и Л.М. Хицовой за проведение термогравиметрического и масс-спектрометрического анализов.

#### Список литературы:

1. Ryan T.A., Sharrock H. Activated carbon treated with silicon-containing compounds. Заявка 2391224 Великобритания (РЖХ, 2004, 19-19 Л 155П) (Ryan Thomas Anthony, Sharrock Harry. Activated carbon treated with silicon-containing compounds. Заявка 2391224 Великобритания, МПК<sup>7</sup> С 01 В 31/08, В 01 D 53/04. Sutcliffe Speakman Carbons Ltd, KN Technology Corp. № 0217391.2; Заявл. 26.07.2002; Опубл. 04.02.2004; НПК С1А. Англ.)
2. Jian Ke, Zhao-Hui Chen, Quing-Song Ma, Hai-feng Hu, Wen-Wei Zheng. // Ceramics International. 2007. V. 33. P. 905.
3. Батаев А.А., Батаев В.А. Композиционные материалы: строение, получение, применение. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. 384 с.
4. Ефимова О.С., Хохлова Г.П., Патраков Ю.Ф. // ХТТ. 2010. № 2. С. 50.
5. Kim Y.-K., Lee J.-Y. // Carbon. 1993. V. 31. N 7. P. 1031.
6. Беллами Л. Инфракрасные спектры сложных молекул. М.: Изд-во иностр. лит., 1963. 590 с. (Bellamy, L.T., The Infra-Red Spectra of Complex Molecules, London: Methuen, 1954.)
7. Инфракрасные спектры неорганических стекол и кристаллов. / Под ред. Власова А.Г., Флоринского В.А. Л.: Химия, 1972. 303 с.
8. Мухин В.М., Тарасов А.В., Клушин В.Н. Активные угли России. М.: Metallurgy, 2000. 352 с.
9. Ефимова О.С., Хохлова Г.П., Патраков Ю.Ф. // ХТТ. 2010. № 1. С. 7.

# НАНОПОРИСТЫЙ УГЛЕРОДНЫЙ МАТЕРИАЛ С ОДНОМЕРНОЙ ПРОВОДИМОСТЬЮ

*А.В. Самаров, к.х.н. Ч.Н. Барнаков, к.х.н. А.П. Козлов, д.х.н. З.Р. Исмагилов*  
*Институт углехимии и химического материаловедения СО РАН,*  
*г. Кемерово, E-mail: [barnakov@rambler.ru](mailto:barnakov@rambler.ru)*

Ранее методами электронной спектроскопии высокого разрешения (HRTEM) и дифракции электронов было показано [1], что нанопористый углеродный материал (ПУМ), в отличие от активированного угля, волокнистых углеродных материалов и наноуглерода, состоит из структуры, сформированной графитоподобными слоями (графенами) монокристаллической толщины (порядка 0,3 нм). Аналогичные результаты получены и при рентгенографических исследованиях образцов, приготовленных из ароматических соединений.

В табл.1 представлены характеристики образцов ПУМ, полученных из ароматических соединений с различными функциональными группами методом термокаталитического синтеза (карбонизация при 700-800 °С в присутствии щелочи – гидроокиси натрия или калия, либо их эквимолекулярной смеси) [1, 2]. Элементный анализ образцов, выполненный по стандарту ISO 625-75 на приборе CarboErba с CHN анализатором, показал наличие углерода (89-90 % масс.), водорода (0,5-0,6 % масс.) и кислорода (остальное). Азот и сера не были обнаружены. Удельная поверхность по БЭТ, объем и поверхность микропор полученных образцов ПУМ определяли на установке ASAP-2400 (Micromeritics) по адсорбции азота при 77 К. Перед измерениями проводили предварительную тренировку образцов при 300 °С и остаточном давлении менее 0,001 мм.рт.ст. до прекращения газовой выделенности. После тренировки до измерения изотермы адсорбции контакт с атмосферой был исключен. Изотермы адсорбции азота записывали в диапазоне относительных давлений от 0,005 до 0,995 и проводили их стандартную обработку с расчетом суммарной поверхности методом БЭТ, объема микропор с размером до 2 нм и поверхности мезопор, остающейся после заполнения микропор.

Для изучения спектров ЭПР ПУМ нами специально по методике [2] из ароматических соединений, представленных в табл. 1, синтезированы три образца, отличающихся только удельной поверхностью. Образец № 1 - имеет удельную поверхность 1800 м<sup>2</sup>/г, получен при карбонизации в течение 30 мин. при температуре 900°С. Образец № 2 - имеет удельную поверхность 2200 м<sup>2</sup>/г, получен при карбонизации в течение 15 мин. при 700°С. Образец № 3 - имеет удельную поверхность 2900 м<sup>2</sup>/г, получен при карбонизации в течение 15 мин. при 900°С.

Таблица 1. Текстуальные характеристики образцов ПУМ

| №  | Предшественник                         | A <sub>БЭТ</sub> ,<br>м <sup>2</sup> /г | A <sub>МЕ</sub> ,<br>м <sup>2</sup> /г | V <sub>S</sub> ,<br>см <sup>3</sup> /г | V <sub>м</sub> ,<br>см <sup>3</sup> /г |
|----|----------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|
| 1  | Нефтяной кокс                          | 3331.0                                  | 182.0                                  | 1.84                                   | 1.56                                   |
| 2  | Фенол                                  | 2240.1                                  | 369.0                                  | 1.53                                   | 0.98                                   |
| 3  | 8-оксихинолин                          | 2548.2                                  | 313.3                                  | 1.59                                   | 1.21                                   |
| 4  | Гидрохинон                             | 2453.2                                  | 111.3                                  | 1.36                                   | 1.22                                   |
| 5  | о-нитроанилин K <sup>+</sup>           | 1673.7                                  | 55.9                                   | 0.87                                   | 0.79                                   |
| 6  | о-нитроацетонилд K <sup>+</sup>        | 1691.8                                  | 30.7                                   | 0.85                                   | 0.80                                   |
| 7  | о-нитроанилин Na <sup>+</sup>          | 1920.6                                  | 242.0                                  | 1.34                                   | 1.05                                   |
| 8  | о-нитроанилин Na <sup>+</sup>          | 2559.0                                  | 392.3                                  | 1.74                                   | 1.25                                   |
| 9  | о-нитроанилин Na <sup>+</sup>          | 2508.0                                  | 156.7                                  | 1.51                                   | 1.31                                   |
| 10 | Гидрохинон K <sup>+</sup>              | 2697.4                                  | 104.6                                  | 1.50                                   | 1.38                                   |
| 11 | Гидрохинон K <sup>+</sup>              | 2835.0                                  | 171.9                                  | 1.70                                   | 1.50                                   |
| 12 | Гидрохинон K <sup>+</sup>              | 2764.8                                  | 172.0                                  | 1.64                                   | 1.43                                   |
| 13 | 2,4- динитроанилин                     | 1148.3                                  | 24.8                                   | 0.57                                   | 0.52                                   |
| 14 | Барбитуровая кислота K <sup>+</sup>    | 1400.0                                  | 610.0                                  | 1.47                                   | 0.41                                   |
| 15 | n- хинондиоксим<br>n-гидрохинон (1:2)  | 2470.0                                  | 304.0                                  | 1.64                                   | 1.27                                   |
| 16 | n- хинондиоксим<br>n- гидрохинон (1:2) | 2620.0                                  | 824.0                                  | 2.14                                   | 1.07                                   |
| 17 | n- хинондиоксим<br>n- гидрохинон (1:2) | 2770.0                                  | 499.0                                  | 1.92                                   | 1.29                                   |
| 18 | Хиноловый эфир                         | 2360.0                                  | 95.0                                   | 1.25                                   | 1.10                                   |

Для вакуумированных образцов №2 и №3 наблюдаются симметричные спектры ЭПР g = g<sub>e</sub> (рис.1). Ширина спектра образца №2 при 293 К – 15 Гс, при 77 К – 10 Гс. Образец №3 имеет ширины спектров 34 Гс (293 К) и 24 Гс (77 К). Отметим, что для углеродных систем (угли, коксы) ширина линий ЭПР заметно уже (менее 10



Гс). Для обоих образцов интегральная интенсивность спектров очень высокая и достигает  $10^{19} \div 10^{20}$  спин/г. Обнаружено, что для спектров этих двух образцов не выполняется закон Кюри: при понижении температуры измерений интегральная интенсивность не только не возрастает, а заметно уменьшается. Это уменьшение проявляется для образца №3 в существенно большей степени (в 4 раза), чем для образца №2 (в 1.5 раза).

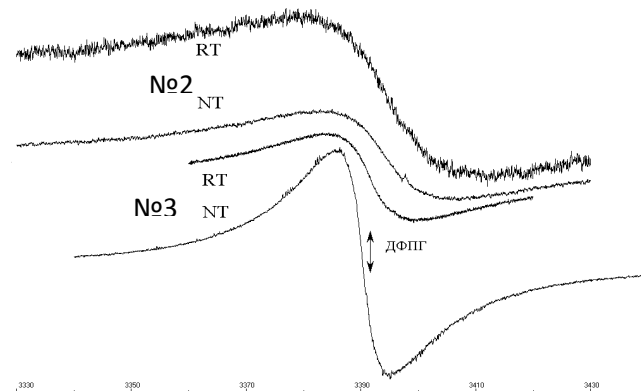


Рис. 1. Спектры ЭПР образцов №2 и №3. Сняты при комнатной температуре 293К (RT) и температуре жидкого азота 77К (NT)

Анализ обнаруженной особенности спектров ЭПР позволяет предположить, что исчезновение спектров, вероятно, связано с некоторой локализацией электронного газа при понижении температуры вокруг дефектов структуры, на которых локализуются наблюдаемые неспаренные электроны (модель С-S релаксации [3], где С – локализованные электроны, S – электронный газ). Измерения проводимости подтверждают это предположение.

Температурная зависимость проводимости измерялась четырехконтактным методом в интервале температур 4.2-300 К. Исследуемые образцы, представляющие собой порошок, запрессовывались в ампулу. Контакты к ампуле подводились серебряной проволокой диаметром 0.1 мм и для осуществления контакта образца с проволокой порошок в ампуле поджимали.

Температурные зависимости электропроводности образцов № 1-3 (рис. 2, 3) существенно различаются. Для описания этих зависимостей напомним, что электропроводность описывается формулой Друде (1):

$$\sigma = ne^2\tau/m \quad (1)$$

где  $\sigma$  — электропроводность,  $n$  — концентрация свободных электронов,  $m$ ,  $e$ ,  $\tau$  — масса, заряд и время свободного пробега электрона. В металлах и полуметаллах (к которым относится и графит) температурная зависимость электропроводности определяется температурной зависимостью времени свободного пробега электрона  $\tau \sim T^{-P}$ , где  $P > 0$ .

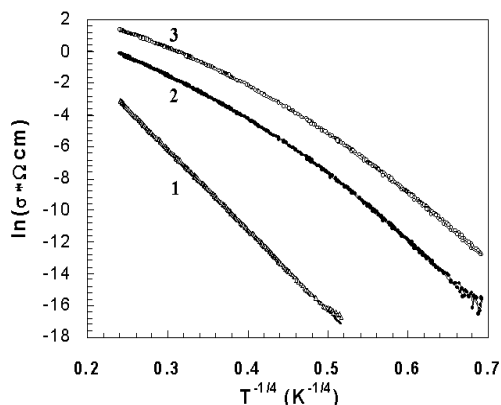


Рис. 2. Температурная зависимость логарифма электропроводности от температуры в степени -1/4

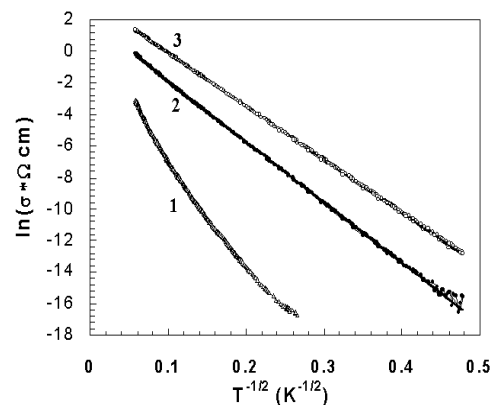


Рис.3. Температурная зависимость логарифма электропроводности от температуры в степени -1/2

Наличие беспорядка (при достаточно низкой концентрации носителей тока  $n$ ) ведет к подавлению металлической проводимости (отсутствие конечной проводимости при абсолютном нуле температуры) и к локализации электронов проводимости в ограниченной области пространства. В этом случае наблюдается прыжковая проводимость носителей тока между этими областями локализации. При понижении температуры обычная прыжковая проводимость между ближайшими центрами локализации сменяется прыжковой проводимостью с переменной длиной прыжка (ПППДП) и описывается обобщенным законом Мотта [4]:

$$\sigma_{\text{ПППДП}}(T) = \sigma_0 \cdot \exp(-B/T)^{1/(d+1)}, \quad (2)$$

где  $d$  – размерность движения носителей тока,  $B = [16a^3/k_B N(E_F)]$ ,  $a$  – обратная величина длины, на которой спадает амплитуда атомной волновой функции (обычно  $1/a \sim 8 \div 10 \text{ \AA}$ ),  $N(E_F)$  – плотность состояний на поверхности Ферми,  $\sigma_0$  – постоянная. Значение  $d=3$  соответствует трехмерному случаю. Во-вторых, при сильном кулоновском взаимодействии носителей тока при низких температурах закон Мотта (2) сменяется законом Эфроса-Шкловского [5]:

$$\sigma_{\text{ППДП}}(T) = \sigma_0 \cdot \exp(-B/T)^{(1+k)/(d+1+k)}, \quad (3)$$

где показатель степени  $k$  отражает энергетическое распределение плотности локализованных состояний  $g(E)$  вблизи уровня Ферми  $g(E) \sim (E-E_F)^k$ . В частности, если  $g(E)$  не зависит от энергии, то  $k=0$  и формула (3) переходит в (2) и при самых низких температурах по-прежнему наблюдается закон Мотта. При наличии в системе дальнегодействующего кулоновского взаимодействия спектр состояний вблизи уровня Ферми перестраивается с появлением минимума, часто называемого «кулоновской щелью». В этом случае  $g(E) \sim (E-E_F)^{d-1}$  и, поскольку  $k=d-1$ , выражение (3) переходит в (4) независимо от размерности движения носителей тока  $d$ :

$$\sigma(T) = \sigma_0 \cdot \exp(-T_0/T)^{1/2} \quad (4)$$

Следует отметить, что такая же зависимость (2) имеет место и для закона Мотта (2) при  $d=1$ .

Для образца №1 во всем исследованном интервале температур проводимость описывается зависимостью (2), соответствующей закону Мотта для трехмерного случая  $d=3$  (рис. 2).

$$\sigma_{\text{ППДП}}(T) = \sigma_0 \cdot \exp(-B/T)^{1/4} \quad (5)$$

Оценка величины  $B$  из данных рис. 2 для образца №1 (линия 1) дает  $B \sim 6.7 \cdot 10^6 \text{ K}$ . Оценка плотности состояний на поверхности Ферми  $N(E_F)$  из этого значения параметра  $B$  (в предположении  $1/a \sim 8 \div 10 \text{ \AA}$ ) дает  $N(E_F) \sim 2 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3} \text{ эВ}^{-1}$ , что типично для дефектных графитов. Итак, для образца №1 наблюдается обычный трехмерный закон Мотта типичный для неупорядоченных проводников с малой концентрацией носителей тока, которые локализованы в ограниченной области пространства (дефектный графит). Тогда уширение спектров ЭПР локализованных электронов  $S$  объясняется эффектом “узкого горла” в модели C-S релаксации ( $T_{SL}$  очень короткое) за счет электронного газа  $S$  графитовых структур [6, 7]. В отличие от образца №1 для образцов №2 и №3 наблюдается другая зависимость проводимости от температуры (рис. 3). Такая зависимость может появляться по двум причинам. Во-первых, размерность носителей тока в областях образца, дающих основной вклад в электропроводность, может быть одномерной ( $d=1$ ), и тогда закон Мотта приобретает вид зависимости (4). Во-вторых, закон Эфроса-Шкловского в системах с сильным кулоновским взаимодействием также приводит к зависимости (4). Таким образом, для образцов №2 и №3 наблюдается закон Мотта для температурной зависимости проводимости в одномерном случае. Выбор в пользу закона Мотта и игнорирование закона Эфроса-Шкловского связано с тем, что, во-первых, закон Эфроса-Шкловского обычно наблюдается как переход (излом кривой проводимости) от закона Мотта при высоких температурах к закону Эфроса-Шкловского при низких температурах (обычно ниже 10 K). У нас же зависимость (3) наблюдается во всем исследованном интервале температур – 4.2 – 300 K. Во-вторых – закон Мотта для одномерного случая уже наблюдался в углеродных структурах с карбиновыми цепочками [8-10], что сопровождается температурной зависимостью  $\sigma$  подобной рис. 3. Таким образом, в образцах №2 и №3 основной вклад в температурную зависимость электропроводности, вероятно, дают одномерные карбиновые цепочки. В связи с обнаружением одномерных структур для образцов №2 и №3 становится ясно, что зависимость  $1/T_{SL}$  от температуры в этом случае будет существенно более ослаблена по сравнению со случаем трехмерных структур [3]. Это приведет к более слабой зависимости ширины сигнала ЭПР от температуры для образцов №2 и №3 по сравнению со случаем трехмерных структур. Заметно большее значение ЭПР для образца №3 по сравнению с образцом №2, вероятно, связано с большей концентрацией носителей для образца №3. Это объясняет более слабую температурную зависимость интегральной интенсивности спектра ЭПР образца №2, поскольку в таком случае равновесие  $C \rightleftharpoons S$  сдвинуто вправо (типа химического обмена) и в целом для этой

системы реализуется что-то типа парамагнетизма Паули, что приводит к слабой зависимости интегральной интенсивности спектра ЭПР от температуры.

Результаты работы позволяют сделать вывод о том [11], что характеристика ПУМ только по элементному составу и текстурным характеристикам, полученным на основе анализа изотерм адсорбции азота, будет не полной. В процессе образования ПУМ, в частности, из ароматических предшественников, содержащих различные функциональные группы, в условиях термokatалитического синтеза при различных времени и температуре карбонизации, образуется углеродный материал, обладающий как одномерной, так и трехмерной проводимостью. Необходимо разделять эти материалы как два различных представителя ПУМ, обладающих разной проводимостью, на свойства которых будет влиять эта проводимость.

Например, в настоящее время в качестве электрокатализаторов в катодах твердополимерных топливных элементов используют платину и ее сплавы, нанесенные на углеродные материалы. Эффективность таких катализаторов в большей степени зависит от удельной поверхности, пористой структуры, электрической

проводимости и других характеристик углеродного носителя. Для оценки эффективности углеродных носителей платиновых катализаторов было проведено сравнение работоспособности платиновых катализаторов на различных углеродных носителях [12].

Для этого были синтезированы однородно структурированные углеродные нановолокна (УНВ), получены путем разложения метана в реакторе виброожиженного слоя. Носитель Vulcan XC-72 закуплен в Cabot Corp. Размер его частиц составляет 30 нм, поверхность по БЭТ – 25 м<sup>2</sup>/г. Носитель ПУМ получен из нефтяного кокса по описанной ранее методике. Катализаторы получены при различном содержании платины в образце (5, 10, 30 % масс.). Используемый для приготовления катализатора носитель подвергали измельчению до размера частиц 30-40 нм. В табл. 2 представлены средние размеры частиц Pt по данным рентгенофазового анализа и туннельной электронной микроскопии.

Таблица 2. Характеристики катализаторов для МEA тестирования

| Катализатор      | Содержание Pt, % | D <sub>Pt</sub> , нм (по РФА) | D <sub>Pt</sub> , нм (по ТЕМ) |
|------------------|------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 30%Pt/УНВ(⊥)     | 33,2             | 4,4                           | 3-5                           |
| 30%Pt/ УНВ(    ) | 31,9             | 4,1                           | 3-5                           |
| 30%Pt/ПУМ        | 30,0             | 3,2                           | 3-4                           |
| 30%Pt /XC-72R    | 36,4             | 4,7                           | 3-5                           |

Результаты тестирования, представленные на рис. 4, свидетельствовали о том, что для катодного катализатора на основе УНВ структура не влияет на его вольтамперные характеристики. При равном содержании платины в катод (0,02- 0,09 мг/см<sup>2</sup>) и размере частиц платины 3-5 нм выходная мощность топливного элемента, который использует в качестве носителя катализатора ПУМ, оказалась выше, чем при использовании углеродных нановолокнистых материалов различного строения и стандартного носителя Vulcan XC-72R., по-видимому, из-за одномерной электропроводности пористого углеродного материала, к которой оказались чувствительны реакции происходящие на катод.

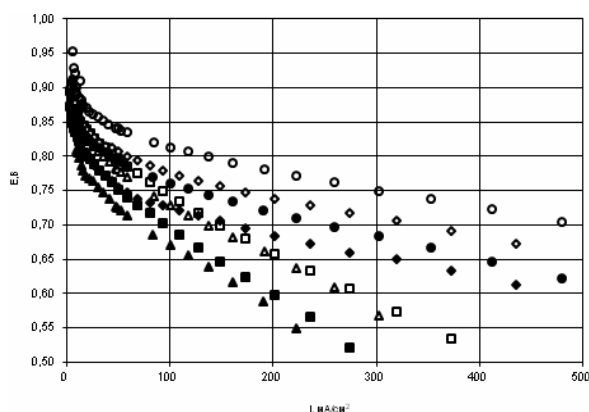


Рис. 4. Вольтамперная характеристика образцов, содержащих Pt:  
 Вулкан XC-72R, 0,0380 мг Pt/см<sup>2</sup> (◆); 0,0628 мг Pt/см<sup>2</sup> (◇)  
 ПУМ: 0,0175 мг Pt/см<sup>2</sup> (●); 0,0592 мг Pt/см<sup>2</sup> (○)  
 УНВ ( || ): 0,0400 мг Pt/см<sup>2</sup> (■); 0,0639 мг Pt/см<sup>2</sup> (□)  
 УНВ(⊥): 0,0185 мг Pt/см<sup>2</sup> (▲); 0,0914 мг Pt/см<sup>2</sup> (Δ)

Нами показано [12], что локализованные неспаренные электроны, дающие спектры ЭПР, связаны с образованием локальных дефектов графеновых фрагментов ПУМ. Когда число носителей одномерной проводимости невелико, то образцы дают спектр ЭПР. При возрастании числа носителей с сохранением одномерной проводимости спектр ЭПР уширяется. Уширение спектра ЭПР также возможно из-за перехода одномерной проводимости углеродного материала в трехмерную проводимость. Поэтому на основании полученных результатов пока невозможно разделить влияние значений величин проводимости и концентрации неспаренных электронов на изменение выходной мощности топливного элемента, где в качестве носителя катализатора используется ПУМ.

Ранее нами было отмечено [11], что одномерная проводимость может быть связана с присутствием карбина, как промежуточной стадии образования ПУМ при низких температурах (700°C), либо небольшом времени (до 15 минут) карбонизации при температуре 900°C.

#### Свойства карбина

Карбин рассматривается как одна из аллотропных модификаций углерода. Вопрос о существовании линейных модификаций углерода теоретически рассмотрен достаточно давно, например [13], рассмотрены электронное строение и свойства кумулированных систем. Теоретические расчеты показали, что линейные молекулы углерода могут существовать, при достаточно большой длине цепи они стабильны. Впервые

кристаллический продукт окислительной дегидрополиконденсации ацетилена, представляющий одну из аллотропных модификаций углерода, названную «карбином», получили в ИНЭОСе [14]. Кристаллическая фаза карбина была изучена методами электронной микроскопии и микродифракции. К сожалению, получить карбин в больших количествах пока никому не удалось, несмотря на относительно высокую инертность к различным окислителям, как отмечают авторы [15], особенно в кристаллическом состоянии. Стойкость карбина по отношению к кипячению в смеси азотной и серной кислот (1/1) приближается к алмазу [16].

В настоящее время трудно рассуждать о возможных путях практического применения карбина, т.к. пока не найден способ получения монокристаллического карбина в большом количестве. Разнообразие свойств углеродных материалов можно объяснить комбинацией в них углерода различных аллотропных форм и кристаллических модификаций. Фрагменты структур с разными типами связей, сочетающиеся в пространственном полимере – углероде, вносят свой вклад в свойства углеродного материала. По возможности, необходимо учитывать проявление структур с разного типа связями, их влиянии, на свойства углеродного материала. Как отмечалось ранее, при повторной карбонизации при температуре 900 °С и времени не более 15 минут отмечается максимальная концентрация ЭПР-сигнала (10 в 20 степени) и одномерная проводимость углеродного материала, которая переходит в трехмерную при увеличении времени карбонизации более 15 минут и уширению ЭПР-сигнала. Одномерную проводимость углеродного материала связывалась с присутствием карбина и, естественно, в наших случаях максимальная концентрация карбина в углеродном материале будет после прокаливания при температуре 900 °С не более 15 минут, хотя она может проявляться и после карбонизации при температуре 700 °С, концентрация неспаренных электронов в этом случае значительно ниже и может достигать 10 в 18 степени. Именно из образцов углеродного материала после прокаливания при температуре 900 °С и времени менее 15 минут была сделана попытка выделить карбин и его идентифицировать. Первая попытка была сделана с помощью окисления примесей смесью концентрированных азотной и серной кислот. Но она оказалась безуспешной. Вторая попытка заключалась в твердофазной кристаллизации, как отмечается в монографии [17], что «...твердофазная кристаллизация алмаза из карбиноподобного углерода происходит в условиях атмосферного давления при температуре до 400 °С в присутствии алмазов». Нами было проведено в присутствии взрывного алмаза твердофазная кристаллизация углеродного материала, обладающего одномерной проводимостью при температурах 340, 370 °С с целью оценки изменения кристаллической структуры углеродного материала. На рентгенограмме (рис. 5) углеродного материала после прокаливания при 340 °С градусах никаких изменений в течении указанного времени не отмечено. При кристаллизации 370 °С градусов начинают появляться графитовые «пачки», т.е. появляется на рентгенограмме пик  $d_{002}$  и не отмечается роста или увеличения кристаллов взрывного алмаза. Вряд ли это можно считать доказательством существования карбина, но образование графитовой фазы можно считать экспериментально доказанным. Это позволяет рассматривать как свойство нанопористого углеродного материала, обладающего одномерной проводимостью, к низкотемпературной кристаллизации (графитации).

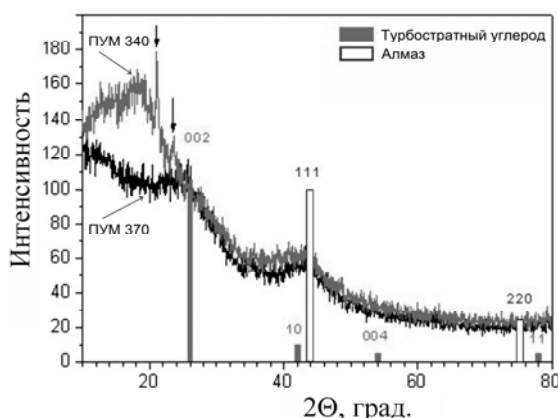


Рис. 5. Рентгенограмма образцов ПУМ после кристаллизации при температуре 340 и 370 °С в присутствии взрывного алмаза

Используя соли 3d-металлов (железо, кобальт, никель) нанесенные на нанопористый углеродный материал в качестве катализаторов при карбонизации углеродного материала из смеси игольчатых коксов и каменногоугольного пека при температуре 600-1000 °С [19], получен анодный материал, обладающий проводимостью графита. Проводимость анодного материала обеспечивается за счет низкотемпературной каталитической графитации углеродного материала в пенографит.

Используя в качестве углеродной матрицы образцы ПУМ синтезированы наночастицы 3d-металлов (железо, кобальт, никель) из их солей методом самосборки в щелочной среде с последующей карбонизацией углеродного материала с целью их защиты от окисления. На примере наночастиц кобальта, представленных на рис. 6 соответствующая гистограмма распределения частиц по размерам, варьируется в интервале 10 - 40 нм. На рентгеновской дифрактограмме исследуемых наночастиц Со (рис. 7) регистрировались рефлексy, соответствующие ГЦК фазе кобальта, ГПУ фазе кобальта, а так же рефлексy оксида кобальта СоО.

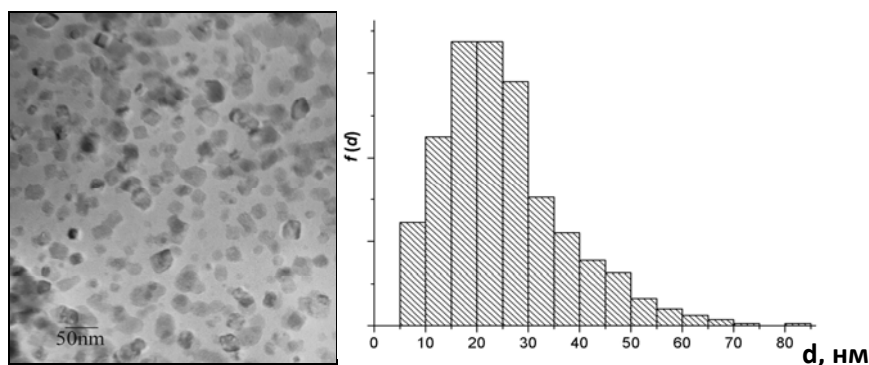


Рис. 6. Просвечивающая электронная микроскопия и гистограмма частиц Co в матрице НУМ

Размер области когерентного рассеяния (ОКР) составляет 24 нм для частиц ГЦК Co, 10 нм для частиц ГПУ Co и 14 нм для CoO. Отметим, что ГЦК-рефлексы частиц, характеризующих ГЦК фазу наиболее интенсивны, а величина ОКР ГЦК фазы хорошо согласуется со средним размером частиц, оцененным по электронно-микроскопическим снимкам.

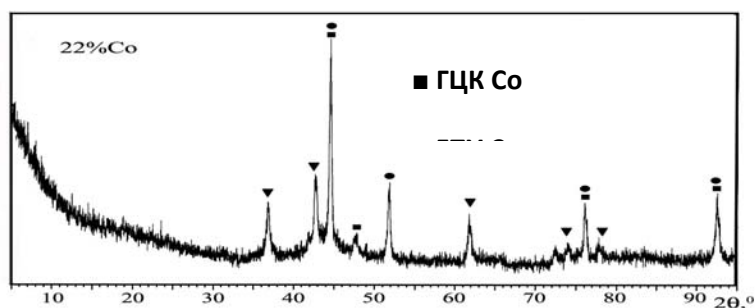


Рис. 7. Результаты рентгеновской дифракции образца с содержанием кобальта 22%

Форма линии ядерного магнитного резонанса (рис. 8, а) характеризуется ярко выраженным пиком на частоте 213.5 МГц, что соответствует ГЦК структуре частиц кобальта. Видно, что с уменьшением температуры форма спектра ЯМР практически не изменялась, наблюдалось лишь увеличение интенсивности и сдвиг интенсивной линии (ГЦК Co) в сторону высоких частот. Этот сдвиг связан с изменением спонтанной намагниченности частиц, подчиняющейся в области низких температур закону Блоха  $T^{3/2}$ :  $f(T) = f_0(1 - BT^{3/2})$ , связанному с возбуждением тепловых магнонов.

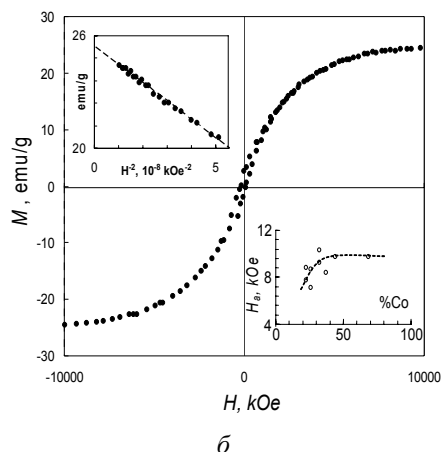
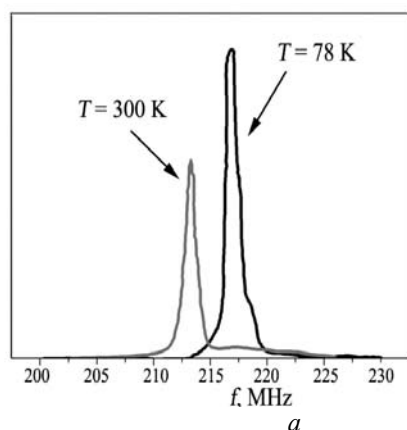


Рис. 8. а) ЯМР спектр  $\text{Co}^{59}$ , снятых при температурах 78 К и 300 К; б) кривая намагничивания для исследуемого композита.

\*На вставке в верхнем левом углу приведена кривая, характеризующая приближение намагниченности к насыщению. На вставке в нижнем правом углу приведена зависимость величины поля локальной магнитной анизотропии от содержания кобальта в композите.

Терромагнитные кривые  $M(T)$  исследуемых порошков наночастиц Co, измеренные во внешнем поле 10 кЭ, показали (рис. 8, б), что величины температурных градиентов магнитного момента в диапазоне 78-300 К во всех образцах не превышали 1%, а сами зависимости  $M(T)$  характеризуются отрицательной кривизной. Величина намагниченности при изменении температуры изменяется также согласно закону Блоха  $T^{3/2}$ . Описав

экспериментальную зависимость  $M(T)$  исследуемых наночастиц Со законом Блоха мы получили оценку константы  $B=2,0 \cdot 10^{-6} K^{-3/2}$ .

Как отмечено [20] в частицах Со реализуется также высокодефектное состояние, которое можно связать с дефектами типа смещенная плоскость (расположенных, в основном, ГПУ частицах). Магнитометрические исследования показали, что частицы в порошке находятся в ферромагнитном состоянии и характеризуются высокой величиной локальной магнитной анизотропии, зависящей от содержания Со в композите.

Работа выполнена при финансовой поддержке Интеграционного проекта РАН 27.58 и Интеграционного проекта СО РАН 88.

#### Список литературы:

1. Барнаков Ч.Н., Козлов А.П., Сеит-Аблаева С.К. и др. // Нефтехимия. 2004. № 6. С. 436
2. Барнаков Ч.Н., Сеит-Аблаева С.К., Козлов А.П. и др. Способ получения наноструктурированного углеродного материала. Патент 2206394 РФ // Б.И. 2003. № 17.
3. Шкляев А.А., Ануфриенко В.Ф., Васильева Л.М. // Докл. АН СССР. 1971. Т. 200. №5. С. 1165.
4. Hasegawa H. // Progress of Theoretical Physics. 1959. V. 21. № 4. P. 483.
5. Шкловский Б.И., Эфрос А.Л. Электронные свойства легированных полупроводников. М.: Наука, 1979. 413 стр.
6. Hirst L.L., Schafer W. // Phys. Rev., B. 1973. V. 8. № 1. P. 64.
7. Gossard A.C., Neugar A.J., Wernick J.H. // J. Appl. Phys. 1967. V. 38. № 1. P. 12.
8. С.В. Демидов, А. А. Пронин, В.В. Глушков и др. // Письма в ЖЭТФ. 2003. № 8. С. 984.
9. O.A. Shenderova, V.V. Zhirnov, and D.W. Brenner. Carbon Nanostructures. //Critical Reviews in Solid State and Materials Sciences, v. 27(3/4), p. 227–356 (2002)
10. Сладков А.М. Карбины - третья аллотропная форма углерода. //Отв. редактор Ю.Н. Бубнов. М. Наука. 2003. 151 стр.
11. Барнаков Ч.Н., Козлов А.П., Сеит-Аблаева С.К. и др. // Российский химический журнал. 2006. Т. 50. № 1. С. 54.
12. Ismagilov Z.R., Kerzhentsev M.A., Shikina N.V. at al. // Catalysis Today. 2005. № 102–103. P.58.
13. Барнаков Ч.Н., Козлов А.П., Романенко А.И. и др. // Кинетика и катализ. 2010. № 2. С. 1.
14. Е.М. Шусторович. // Журн. структур. 1963. Т. 4. № 4. С. 642
15. Сладков А.М. Касаточкин В.И. Кудрявцев Ю.П. Коршаков В.В. // Изв. АН СССР. Сер. Хим. 1968. № 12. С. 2697.
16. Коршаков В.В. Касаточкин В.И. Сладков А.М. и др. // Докл. АН СССР. 1961. Т. 136. № 6. С.1342.
17. Касаточкин В.И. Коршаков В.В. Сладков А.М. и др. // Докл. АН СССР. 1974. Т. 214. № 3. С. 587.
18. Шумилова Т.Г. Алмаз, графит, карбин, фуллерен и другие модификации углерода. Екатеринбург: УрО РАН, 2002. 72 с.
19. Барнаков Ч.Н., Сеит-Аблаева С.К., Козлов А.П. и др. Способ получения углеродного анодного материала. Патент 2370437 РФ // Б.И. 20.10.2009. № 29.
20. Комогорцев С.В., Исхаков Р.С., Барнаков Ч.Н. и др. // Физика металлов и металловедение. 2010. Т. 109. № 2. С.

## ИЗМЕНЕНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КАМЕННОУГОЛЬНОЙ СМОЛЫ ПРИ ЕЕ МОДИФИЦИРОВАНИИ ОЗОНОМ В РАЗЛИЧНЫХ СРЕДАХ

**К.х.н. С.А. Семенова, О.М. Гаврилюк, д.х.н. З.Р. Исмагилов, к.х.н. Л.В. Брюховецкая**  
**Институт углехимии и химического материаловедения СО РАН,**  
**г. Кемерово, e-mail: [semilight@mail.ru](mailto:semilight@mail.ru)**

Большинство исследований в области коксохимии направлены на интенсификацию процессов переработки каменноугольных смол (КУС), поскольку их химический состав и физические свойства оказывают существенное влияние на технологические характеристики пеков. Особая роль отводится разработке способов повышения температуры размягчения и уплотнения пека. Традиционно для этой цели используют термоокислительную продувку горячим воздухом [1, 2]. Опробованы способы обработки КУС и ее высокотемпературных фракций минеральными кислотами ( $HNO_3$ ,  $HCl$ ,  $H_2SO_4$ ,  $H_3PO_4$ ), перекисью водорода, органическими кислотами (муравьиной, пировиноградной, уксусной) [3, 4], нитробензойными кислотами и ангидридами ароматических кислот [5]. Большинство используемых модификаторов, выполняющих роль кислот Льюиса, являются эффективными комплексообразователями для ароматических соединений.

Наряду с воздушной обработкой [2] при термоокислении высокотемпературных фракций КУС также использовали небольшую добавку озона (0,3 % об.), действие которого приводит к ускорению окислительной дегидрополиконденсации коксохимических продуктов уже на начальной стадии процесса [1].

Данная работа посвящена исследованию влияния низкотемпературного озонирования в различных средах на изменение химического состава и выход групповых фракций КУС.

В качестве объекта исследования использовали каменноугольную смолу производства ОАО «Алтай-Кокс» (г. Заринск), имеющую следующие характеристики: плотность –  $1,18 \text{ кг/м}^3$ , влажность – 3,0 %, зольность – 0,1 %.

Групповой анализ КУС включал разделение КУС на органические (пиридиновые, хинолиновые) основания, кислотно-фенольную фракцию, асфальтены (высокомолекулярные высококипящие полициклические

гетероатомные соединения), нейтральные углеводороды и кислородсодержащие смолы. Ниже приведена схема группового анализа КУС.

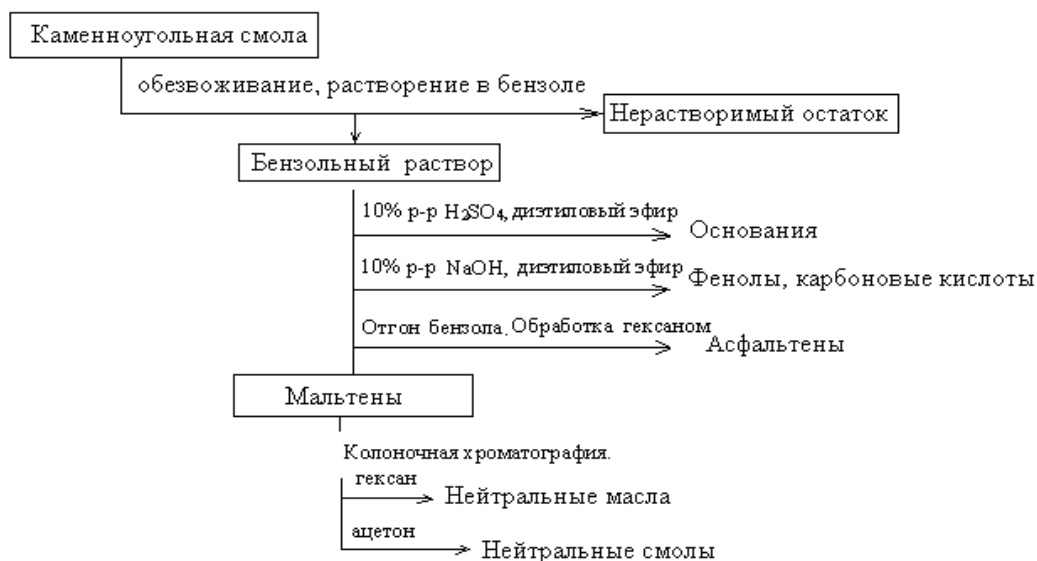


Схема группового анализа КУС

Озонирование отделенных от твердых примесей образцов КУС (~ 10 мл) проводили на озонаторе «Поликор-В» при 20 °С и атмосферном давлении в реакторе барботажного типа с непрерывной подачей озono-кислородной смеси (2-2.2 об. % озона, скорость газового потока 160 мл/мин). Оптимальная продолжительность озонирования, необходимая для насыщения КУС кислородом без выраженного увеличения вязкости продукта - 1 ч. Обработку КУС проводили тремя способами: без растворителя, в среде хлороформа и бензола (соотношение 1:5). В случае использования растворов КУС в бензоле и хлороформе, растворитель перед анализом отгоняли.

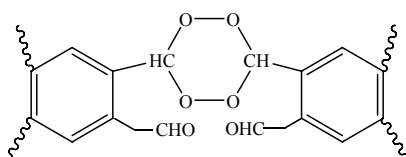
Обработка озонem приводит к изменению содержания основных элементов в органической массе КУС (табл. 1). Уменьшение содержания углерода, увеличение кислорода без заметных изменений водорода свидетельствует об «усвоении» кислорода соединениями КУС посредством деструкции их ароматических ядер без выраженных процессов окислительного дегидрирования. Для всех обработанных образцов характерно уменьшение содержания гетероатомов N и S, связи которых с углеродом (C-S, C≡N) являются весьма реакционными по отношению к озону [6]. При общем росте содержания кислорода изменения в функциональном составе КУС связаны главным образом с увеличением содержания гидроксильных и карбонильных групп при незначительном изменении количества карбоксильных групп.

Таблица 1. Химический состав исходного и озонированных образцов КУС

| Образец КУС, способ озонирования | Элементный состав, % на daf |     |     |     |     | Функциональный состав, мг-экв/г |      |      | Содержание веществ, нерастворимых в толуоле, % |
|----------------------------------|-----------------------------|-----|-----|-----|-----|---------------------------------|------|------|------------------------------------------------|
|                                  | C                           | H   | O   | N   | S   | COOH                            | OH   | CO   |                                                |
| Без обработки                    | 90.9                        | 5.3 | 1.1 | 2.2 | 0.5 | 0.01                            | 0.38 | 0.75 | 8.1                                            |
| Без растворителя                 | 89.1                        | 5.3 | 4.0 | 1.4 | 0.2 | 0.02                            | 0.81 | 0.90 | 17.0                                           |
| В хлороформе                     | 87.1                        | 5.3 | 6.2 | 1.3 | 0.1 | 0.07                            | 1.16 | 2.56 | 24.0                                           |
| В бензоле                        | 88.2                        | 5.3 | 5.2 | 1.2 | 0.1 | 0.03                            | 0.98 | 1.35 | 40.0                                           |

Содержание веществ, нерастворимых в толуоле, возрастает от 2 до 5 раз в зависимости от способа обработки; при этом на содержание веществ, нерастворимых в хинолине, озонирование заметного влияния не оказывает. Большая глубина окисления свойственна способам озонирования, когда смола находится в растворенном состоянии, что, по-видимому, связано с низкой вязкостью раствора на начальном этапе процесса и, как следствие, облегченной диффузией озона к реакционным центрам. Существенное увеличение вязкости смолы наблюдается при продолжительном озонировании без растворителя и в растворе смолы в бензоле, что свидетельствует об увеличении молекулярной массы образующихся соединений. После отгонки растворителя озонированный продукт представляет собой плотную гелеобразную массу, которая после термического

воздействия (100 °C) приобретает первоначальный, характерный для смолы вид. Последнее обстоятельство позволяет конкретизировать природу образующихся при озоноллизе в неполярном растворителе межмолекулярных связей, а именно термически нестойких связей пероксидного и/или ацетального типа [6, 7]:



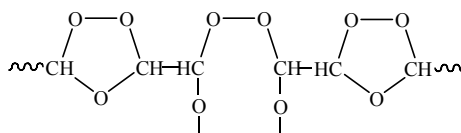
При озонировании в хлороформе увеличения вязкости раствора не наблюдается, что, вероятно, обусловлено более полярными свойствами данного растворителя.

Таблица 2. Групповой состав КУС

| Образец КУС, способ озонирования | Выход групповых фракций, отн. % |                  |            |                   |                   |
|----------------------------------|---------------------------------|------------------|------------|-------------------|-------------------|
|                                  | Органические основания          | Кислоты и фенолы | Асфальтены | Нейтральные масла | Нейтральные смолы |
| Без обработки                    | 8.61                            | 1.72             | 24.71      | 63.79             | 1.15              |
| Без растворителя                 | 3.71                            | 2.79             | 40.93      | 51.16             | 1.39              |
| В хлороформе                     | 3.69                            | 4.61             | 49.40      | 41.10             | 1.20              |
| В бензоле                        | 0.62                            | 31.64            | 32.58      | 34.07             | 1.09              |

Результаты разделения КУС на группы компонентов с общими свойствами (органические основания, кислоты и фенолы, асфальтены, масла, нейтральные смолы) свидетельствуют о перераспределении качественного и количественного состава фракций после ее модифицирования. Так, в групповом составе озонированной КУС (табл. 2) увеличивается выход продуктов, содержащих функциональные кислородные группы и кислород в гетероциклах: суммарная кислотно-фенольная фракция и асфальтены. Уменьшается выход органических оснований и нейтральных масел. Выход нейтральных смол изменяется незначительно. Очевидно, азотсодержащие соединения, обладающие основными свойствами, и нейтральные углеводороды, вступая во взаимодействие с озоном, переходят в состав других групповых фракций с более полярными свойствами.

О глубине озонолитических превращений КУС можно судить по выходу кислотно-фенольной фракции. Наибольший выход продукта с кислотными свойствами соответствует образцу КУС, озонированному в бензоле (табл. 2). При этом большая часть данной фракции (93 масс. %) при подкислении щелочного раствора выпадает в виде бурого хлопьевидного осадка, что свидетельствует об образовании высокомолекулярных полифункциональных продуктов. Можно полагать, что бензол, имея низкую реакционную активность по отношению к озону ( $k = 0.06$  л/моль·сек [6]) постепенно вступает с ним в реакцию с образованием дополнительного количества кислородсодержащих, комплексообразующих соединений [6]:



Поэтому именно при данном способе обработки максимально выражены процессы, способствующие увеличению межмолекулярных взаимодействий и уплотнению продукта.

Асфальтены, - высокомолекулярные полициклические гетероатомные соединения, состав которых определяет качество каменноугольного пека, подвергали более детальному анализу. В составе асфальтенов озонированных образцов КУС уменьшается содержание углерода, водорода, азота и серы; повышается содержание кислорода преимущественно за счет его «неактивных» форм. Увеличивается молекулярная масса асфальтенов (табл. 3).

Таблица 3. Химический состав асфальтенов КУС

| Образец КУС, способ озонирования | Элементный состав, % на daf |     |     |     |     | Функциональный состав, мг-экв/г |      |      | Кислород в группах, % |              | Молекулярная масса |
|----------------------------------|-----------------------------|-----|-----|-----|-----|---------------------------------|------|------|-----------------------|--------------|--------------------|
|                                  | C                           | H   | O   | N   | S   | COOH                            | OH   | CO   | «активных»            | «неактивных» |                    |
| Без обработки                    | 89.4                        | 5.0 | 2.4 | 2.6 | 0.6 | 0.01                            | 0.39 | 0.19 | 0.81                  | 1.59         | 278.4              |
| Без растворителя                 | 87.4                        | 4.8 | 5.0 | 1.8 | 0.3 | 0.12                            | 0.47 | 0.93 | 1.88                  | 3.12         | 439.3              |
| В хлороформе                     | 85.8                        | 4.6 | 7.2 | 1.3 | 0.1 | 0.15                            | 0.45 | 0.89 | 1.91                  | 5.29         | 515.9              |
| В бензоле                        | 84.5                        | 4.6 | 8.6 | 1.4 | 0.1 | 0.19                            | 0.28 | 1.10 | 1.94                  | 6.66         | 450.3              |



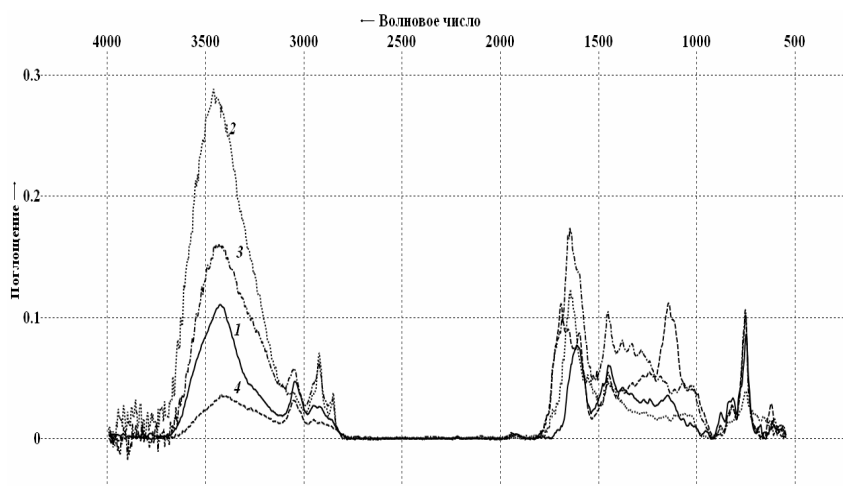
По данным  $^1\text{H}$  ЯМР-спектроскопии были определены значения нормализованных интегральных интенсивностей основных типов протонов асфальтенов КУС (табл. 4) [8].

Таблица 4. Значения нормализованных интегральных интенсивностей протонов асфальтенов

| Тип протона, $\delta$ (м.д.)                                                      | Интенсивность $I$ , %<br>для протонов асфальтенов КУС |                     |                 |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|---------------------|-----------------|-----------|
|                                                                                   | без<br>обработки                                      | без<br>растворителя | в<br>хлороформе | в бензоле |
| Ароматические (7.2...9.0)                                                         | 67.42                                                 | 61.44               | 60.69           | 63.97     |
| Олефиновые (5.0...6.2)                                                            | 1.42                                                  | -                   | -               | -         |
| Сложные эфиры, кетоны, лактоны (3.0...4.6)                                        | 7.16                                                  | 8.54                | 11.23           | 8.51      |
| Метильные или метиленовые в $\alpha$ -положении к ароматическому ядру (2.0...3.6) | 8.32                                                  | 5.43                | 7.35            | 7.03      |
| Метильные и метиленовые парафинов и нафтен (0.5...1.5)                            | 15.68                                                 | 24.59               | 20.70           | 20.48     |

Основным типом структурных единиц асфальтенов являются ароматические ( $\delta = 6.0-9.3$  м.д.), доля которых составляет 67 %. Характер ЯМР-спектра в данном диапазоне свидетельствует о присутствии широкой гаммы арильных структур с различным числом колец и типом замещения. Асфальтены озонированных образцов, вероятно, имеют более регулярный состав, о чем свидетельствует меньшее количество и интенсивность сигналов на данном слабо разрешенном участке спектра. После озонирования КУС в асфальтенах уменьшается доля ароматических (6.0-9.3 м.д.), в том числе алкилзамещенных (2.4-3.5 м.д.) структур и полностью исчезают непредельные (4.5-6.0 м.д.); возрастает доля структур алициклического характера. О наличии кислородсодержащих гетероатомов в составе асфальтенов свидетельствуют группа сигналов в диапазоне 3.0-4.6 м.д., интенсивность которых закономерно повышается после модифицирования КУС.

По данным ИК-спектроскопии, обработка КУС озоном ведет к уменьшению в составе асфальтенов доли ароматических (3040, 820, 750  $\text{см}^{-1}$ ) и относительному увеличению доли алифатических (вероятно, алициклических) группировок (2920, 2850, 1460, 1380, 960  $\text{см}^{-1}$ ) (см. рисунок) [8]. Исключение составляют асфальтены КУС, обработанной в бензоле, у которых на фоне увеличения доли циклоалкановых структур (960  $\text{см}^{-1}$ ) общее содержание алкильных структур (2920  $\text{см}^{-1}$ ) убывает. Вероятно, это связано с развитием процессов уплотнения и конденсации с образованием фуранов (1150  $\text{см}^{-1}$ ) и ангидридов (1780, 1150  $\text{см}^{-1}$ ). Для асфальтенов всех типов обработки характерно увеличение  $\text{C}=\text{O}$ -групп в карбоновых кислотах (1720  $\text{см}^{-1}$ ), альдегидах и кетонах (1690-1710  $\text{см}^{-1}$ ). Содержание в асфальтенах фенольных и/или спиртовых гидроксильных групп (около 3400  $\text{см}^{-1}$ ) уменьшается при обработке КУС в бензоле и увеличивается при обработке без растворителя, что не противоречит данным химического анализа (табл. 3).



ИК-спектры асфальтенов КУС: исходной (1), озонированной без растворителя (2), в хлороформе (3) и бензоле (4)

Таблица 5. Компонентный состав нейтральных масел

| Наименование групп соединений                                      | Содержание компонентов в фракции КУС, отн. % |                  |              |           | Содержание компонентов по отношению к КУС, масс. % |                  |              |           |
|--------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|------------------|--------------|-----------|----------------------------------------------------|------------------|--------------|-----------|
|                                                                    | без обработки                                | без растворителя | в хлороформе | в бензоле | без обработки                                      | без растворителя | в хлороформе | в бензоле |
| Непредельные УВ                                                    | 8.58                                         | 1.02             | 0.37         | 0.63      | 5.47                                               | 0.52             | 0.18         | 0.21      |
| Биароматические УВ                                                 | 8.47                                         | 8.54             | 27.77        | 10.00     | 5.40                                               | 4.37             | 13.72        | 3.41      |
| Триароматические УВ                                                | 21.86                                        | 41.30            | 20.56        | 43.27     | 13.94                                              | 21.12            | 10.16        | 14.74     |
| Тетраароматические УВ                                              | 25.74                                        | 19.44            | 20.75        | 15.99     | 16.42                                              | 9.94             | 10.25        | 5.45      |
| Пентаароматические УВ                                              | 15.08                                        | 9.57             | 6.90         | 10.88     | 9.62                                               | 4.90             | 3.41         | 3.71      |
| Гексаароматические УВ                                              | 2.50                                         | 1.41             | -            | 1.38      | 1.59                                               | 0.72             | -            | 0.47      |
| Гетероциклические УВ                                               | 16.83                                        | 16.36            | 15.43        | 15.52     | 10.73                                              | 8.37             | 7.62         | 5.29      |
| Кислородсодержащие соединения (спирты, кислоты, кетоны, альдегиды) | 0.92                                         | 2.36             | 6.40         | 2.33      | 0.59                                               | 1.21             | 3.17         | 0.79      |

Фракцию нейтральных масел изучали методом хромато-масс-спектрометрии (табл. 5). Масла составляют преимущественно ароматические углеводороды (УВ) с числом колец от двух до шести - от нафталина до бенз[*g,h,i*]перилена. Непредельные УВ представлены соединениями инденового ряда – индена, аценафтилена, ацепирена, инденопирена. Из гетероциклических соединений в масляной фракции присутствуют небольшие количества бензофуранов, бензотиофенов, карбазола и акридина.

После озонирования в нейтральных маслах заметно увеличивается доля би- и триароматических соединений в виде алкилзамещенных нафталинов и фенантронов - вероятных продуктов деструкции более конденсированных аренов. Существенно уменьшается содержание непредельных УВ, а также полициклических ароматических УВ, придающих смоле канцерогенные свойства: пирена, бенз[*a*]антрацена, бенз[*a*]пирена, перилена и бенз[*g,h,i*]перилена. Изменения в составе гетероциклических УВ связаны с уменьшением суммарного количества азотсодержащих соединений (бензонитрилов) и увеличением содержания бензофуранов (табл. 5).

Анализ химического и компонентного состава фракций КУС позволяет высказать предположение о наиболее предпочтительных направлениях реакций озона. Вероятно, на начальных стадиях процесса доминируют реакции озонирования циклоалкенов ( $k = 2-5 \cdot 10^5$  л/моль·сек [6]), полициклических аренов ( $k = 80-500$  л/моль·сек [6]) и азотсодержащих гетероциклов ( $k \approx 5$  л/моль·сек [6]) с образованием карбонильных соединений, мономерных и/или полимерных озонидов. Помимо характерных для озона реакций электрофильного присоединения по С=С-связям, часть озона расходуется на ускорение радикальных окислительных реакций. Соединения, образующиеся в результате присоединения озона к двойным связям, нестабильны и при дальнейшей рекомбинации участвуют в образовании межмолекулярных сшивок и ассоциатов, перегруппировок с образованием ароматических кислот и нейтральных углеводов [7], что в совокупности способствует конденсации и уплотнению продукта.

Таким образом, в результате озонирования КУС достигнуто преобразование ее компонентного состава с увеличением выхода кислородсодержащих фракций – фенольно-кислотной и асфальтеновой. В составе нейтральных масел увеличивается доля би- и триароматических углеводородов – производных нафталина и фенантрена, значительно уменьшается содержание токсичных гетероциклических и канцерогенных полициклических аренов, что способствует очистке и повышению качества продуктов каменноугольного происхождения.

Озонирование КУС сопровождается образованием межмолекулярных ассоциатов и сшивок. Процессы конденсации и уплотнения максимально выражены при озонировании КУС в среде бензола, что может быть положено в основу получения пека с повышенной температурой размягчения. В условиях производства бензол может быть заменен сырым каменноугольным бензолом.

#### Список литературы:

1. Коган Л.А., Сухорукова Е.А., Беднов В.М. // Кокс и химия. 1971. № 1. С. 96.
2. Пат. RU 2013415 С1. С 04 В 35/32.
3. Сидоров О.Ф., Сауль О.П. // Кокс и химия. 1985. № 4. С. 29.
4. Petrova B., Budinova T., Petrov N. et al. // Carbon. 2005. V. 43. P. 261.
5. Карпин Г.М., Кондратов В.К. // Кокс и химия. 2007. № 11. С. 32.
6. Разумовский С.Д., Заиков Г.Е. Озон и его реакции с органическими соединениями. М.: Наука, 1974. - 322 с.
7. Хазова Е.А., Шугурова Н.Н., Григорьев Е.И. и др. // Журнал прикладной химии. 2001. Т. 74. Вып. 7. С. 1186.
8. Преч Э. Определение строения органических соединений. Таблицы спектральных данных. – М.: Мир, 2006. - 438 с.

# ХАРАКТЕРИСТИКА УГЛЕЙ ХАРТАРВАГАТАЙСКОГО, НУУРСТХОТГОРСКОГО И ХУШУУТСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЙ МОНГОЛИИ

*К.х.н. С.А. Семёнова<sup>1</sup>, к.х.н. Н.И. Фёдорова<sup>1</sup>, д.х.н. З.Р. Исмагилов<sup>1</sup>, д.х.н. Б. Авид<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Институт углехимии и химического материаловедения СО РАН, г. Кемерово,*

<sup>2</sup>*Институт химии и химической технологии МАН, Улан-Батор, Монголия*

Главную роль в обеспечении энергией всех отраслей экономики играют топливные ресурсы, основными из которых являются угольные, так как их запасы многократно превышают запасы нефти и газа.

Монголия располагает крупнейшими ресурсами бурых и каменных углей, общие геологические запасы которых составляют 175 млрд. т [1]. В настоящее время известно более 40 угольных месторождений, расположенных в 15 аймаках Монголии. Большинство месторождений мелкие и имеют местное значение.

К одним из крупных месторождений каменных углей относятся Хартарвагатайское, Нуурстхотгорское и Хушуутское. Геологические исследования данных месторождений начали осуществляться в 30-40-х годах прошлого века. Хартарвагатайское месторождение расположено в Убсунурском аймаке в 50 км к югу от г. Улаангом и относится к Хархирайскому бассейну. Это месторождение представлено одним пластом мощностью 80-85 м и слоями толщиной 0,5-1,5 м. Разведанные запасы составляют около 20 млн. т. Нуурстхотгорское месторождение расположено в Убсунурском аймаке в 180 км к западу от г. Улаангом и также находится на территории Хархирайского бассейна. Месторождение представлено 8 пластами мощностью 2-50 м; разведанные запасы около 143,3 млн. т. Хушуутское каменноугольное месторождение расположено в Кобдоском аймаке в 210 км к юго-востоку от г. Кобд. Месторождение относится к Монголо-Алтайскому бассейну и представлено 2 угольными пластами мощностью 15-35 м. Разведанные запасы составляют около 88 млн. т. Промышленная разработка всех указанных месторождений углей в целевые продукты в настоящее время не осуществляется, уголь потребляется местным населением [2, 3].

Следует отметить, что при достаточно значимых запасах твердых горючих ископаемых в Монголии, систематических исследований свойств каменных углей недостаточно и по имеющимся в литературе разрозненным сведениям невозможно получить их полную характеристику. Следовательно, необходимо проводить изучение химико-технологических свойств различного рода твердых горючих ископаемых Монголии для обоснования современных рациональных направлений их использования.

В настоящей работе представлены результаты исследования состава и технологических свойств углей Хартарвагатайского, Нуурстхотгорского и Хушуутского месторождений Монголии. Образцы углей для исследований были предоставлены ТуВИКОПР СО РАН (г. Кызыл).

Технический анализ углей проводили стандартными методами. Низкотемпературную экстракцию осуществляли спиртобензольной смесью (1:1) по методу Грефе в течение 6 ч. Зола для химического анализа получали медленным озолением аналитических проб углей в муфельной печи при температуре 850 °С в течение 3 ч. Состав органической массы углей определяли методами элементного анализа. Петрографический анализ выполняли на автоматизированном комплексе оценки марочного состава углей системы «SIAMS-620» (Россия). Подсчет микрокомпонентов производился автоматически при увеличении в отраженном свете – 300 раз.

Результаты технического анализа и элементный состав исследуемых образцов монгольских углей приведены в табл. 1 и 2. Из представленных результатов следует, что угли № 1 и 2 являются зольными (более 20 %) с выходом летучих веществ ( $V^{daf}$ ), характерным для среднеметаморфизованных углей (20-30 %). Образец № 3 – малозольный (~ 6 %) с наименьшим значением  $V^{daf}$  (14 %).

Таблица 1. Характеристика качества углей месторождений Монголии

| Код образ-ца | Уголь, месторождение | Технический анализ, % |       |           |         | Теплота сгорания, МДж/кг |                 |
|--------------|----------------------|-----------------------|-------|-----------|---------|--------------------------|-----------------|
|              |                      | $W^a$                 | $A^d$ | $V^{daf}$ | $S_t^d$ | высшая, $Q_s^{daf}$      | низшая, $Q_i^r$ |
| 1            | Хартарвагатайское    | 6,2                   | 23,8  | 31,6      | 1,6     | 29,0                     | 20,0            |
| 2            | Нуурстхотгорское     | 2,1                   | 20,8  | 23,6      | 1,6     | 33,2                     | 25,0            |
| 3            | Хушуутское           | 2,3                   | 6,2   | 14,4      | 1,7     | 34,1                     | 30,4            |

Известно, что выход летучих веществ характеризует состав и химическое строение органической массы углей (ОМУ) и служит для оценки термической стабильности топлива. Чем выше выход летучих веществ, тем ниже устойчивость угля к нагреванию, а значит, тем легче и глубже протекают процессы разложения его ОМУ [4]. Следовательно, можно отметить, что наибольшей термической устойчивостью к нагреванию обладает образец угля № 3.

Содержание общей серы относится к числу важнейших показателей качества углей, так как от ее количества зачастую зависит выбор направления их использования. Аналитические данные показывают (табл. 1), что сера содержится во всех образцах исследованных углей, а по величине  $S_t^d$  их можно отнести к среднесернистым.

Одним из параметров качества углей, характеризующих их энергетическую ценность, является теплота сгорания. На основании элементного состава ОМУ по формуле Д.И. Менделеева [5] была рассчитана высшая теплота сгорания  $Q_s^{daf}$ , которая изменяется для разных образцов углей от 29 (№ 1) до 34 (№ 3) МДж/кг (табл. 1). С

учетом влияния влажности и зольности углей теплота сгорания топлива  $Q_i^f$  составила, соответственно, 20 и 30 МДж/кг.

Наибольшим содержанием кислорода, и, как следствие, атомным отношением О/С характеризуется образец угля № 1. Распределение кислорода по функциональным группам (табл. 2) показывает, что наивысшие значения содержания идентифицируемых карбоксильных, фенольных и карбонильных групп также принадлежат углю месторождения Хартарвагатай, что свидетельствует о наименьшей химической зрелости данного угля.

Таблица 2. Химический состав углей месторождений Монголии

| Код образца | Элементный состав, % на daf |     |      | Н/С  | О/С  | Функциональный состав, мг-экв/г ОМУ |      |      | Выход сп.-бенз. экстракта, % |
|-------------|-----------------------------|-----|------|------|------|-------------------------------------|------|------|------------------------------|
|             | С                           | Н   | О+Н  |      |      | COOH                                | ОН   | СО   |                              |
| 1           | 75,4                        | 4,0 | 20,6 | 0,64 | 0,20 | 0,45                                | 1,14 | 1,54 | 4,1                          |
| 2           | 84,6                        | 4,2 | 11,2 | 0,60 | 0,10 | -                                   | 0,29 | 0,38 | 2,3                          |
| 3           | 86,8                        | 4,0 | 9,2  | 0,55 | 0,08 | 0,03                                | 0,34 | 0,39 | 1,4                          |

Содержание битумов, извлекаемых из угольного вещества при помощи спирто-бензольной экстракции, закономерно уменьшается в ряду исследуемых углей от 4,1 % для образца № 1 до 1,4 % для № 3 (табл. 2).

По приведенным выше показателям согласно отечественным статистическим данным уголь № 1 Хартарвагатайского месторождения можно отнести к менее метаморфизованному, а образцы углей № 2 и № 3 Нуурстхотгорского и Хушуутского месторождений – к более высокометаморфизованным углям гумусовой природы.

Высказанное предположение подтверждается данными петрографического анализа углей. Как видно из результатов, представленных в табл. 3, показатель отражения витринита  $R_o$ , характеризующий степень карбонизации угольного вещества, увеличивается в ряду исследуемых углей от 0,90 до 1,85, что согласуется с уменьшением их выхода летучих веществ (табл. 1) и атомных отношений Н/С и О/С (табл. 2).

Таблица 3. Характеристика петрографического состава углей месторождений Монголии

| Код образца | Петрографические параметры, % |       |      |      |             | Показатель отражения витринита $R_o$ , % | Марка и группа угля согласно ГОСТ 25543-88 |
|-------------|-------------------------------|-------|------|------|-------------|------------------------------------------|--------------------------------------------|
|             | $V_t$                         | $S_v$ | $I$  | $Me$ | $\Sigma OK$ |                                          |                                            |
| 1           | 77,0                          | 8,0   | 14,7 | 0,3  | 20,1        | 0,90                                     | Г, 1ГВ                                     |
| 2           | 44,0                          | 7,8   | 46,9 | 1,3  | 52,7        | 1,16                                     | СС, 3СС                                    |
| 3           | 42,9                          | 15,2  | 40,7 | 1,2  | 51,4        | 1,85                                     | Т, 1ТФ                                     |

Основными петрографическими составляющими образцов углей № 2 и 3 являются витринит  $V_t$  (43-44 %) и инертинит  $I$  (41-47 %). При этом доля семивитринита  $S_v$  в образце № 3 вдвое выше, чем у образца № 2. По содержанию отошающих компонентов  $\Sigma OK$  (~ 50 %) данные угли являются фюзенизированными, и, следовательно, обладают низкими спекающими свойствами и не коксуются [4]. Наиболее витринизованным (77 %) среди исследуемых углей является образец № 1, доля витринита в котором в 3,3 раза выше, чем суммарное содержание других компонентов. Роль других компонентов - семивитринита и инертинита менее значительна.

Совокупность технологических параметров (показатель отражения витринита  $R_o$ , сумма отошающих компонентов  $\Sigma OK$ , выход летучих веществ  $V^{daf}$ , характер тигельного остатка) позволяет определить марочную принадлежность исследуемых углей месторождений Монголии. Согласно ГОСТ 25543-88 уголь №1 Хартарвагатайского месторождения можно отнести к технологической марке Г (газовый), подгруппа 1ГВ (витринитовый), образец угля № 2 Нуурстхотгорского месторождения - к марке СС (слабоспекающийся), подгруппа 3СС, а образец № 3 Хушуутского месторождения - к марке Т (тощий), подгруппа 1ТФ (фюзинитовый).

Комплексное использование твердых топлив, создание малоотходных и безотходных технологий их переработки, охрана окружающей среды обуславливают необходимость изучения неорганических компонентов, содержащихся в топливе. Химический состав золы – один из важнейших факторов, влияющих на плавкость золы и предопределяющих технологию сжигания углей, характер получающихся шлаков и зольных уносов, технологию их удаления и способы утилизации. Первая ступень решения множества задач, от экологических до технологических, - надежное количественное определение неорганических макроэлементов в углях и их золах.

Таблица 4. Химический состав проб золы исследованных углей (масс. %)

| Код образца угля | $SiO_2$ | $Al_2O_3$ | $Fe_2O_3$ | $CaO$ | $MgO$ | $TiO_2$ | $Na_2O$ | $K_2O$ | $SO_3$ | $I_0$ |
|------------------|---------|-----------|-----------|-------|-------|---------|---------|--------|--------|-------|
| 1                | 82,1    | 14,4      | 1,5       | 0,2   | 0,2   | 0,3     | 0,3     | 0,8    | 0,2    | 0,03  |
| 2                | 76,2    | 5,3       | 16,5      | 0,4   | 0,6   | 0,2     | 0,2     | 0,2    | 0,4    | 0,22  |
| 3                | 60,4    | 27,9      | 4,3       | 0,8   | 1,2   | 0,7     | 0,7     | 3,6    | 0,4    | 0,12  |

Химический состав проб золы исследованных углей приведен в табл. 4. Видно, что содержание основных оксидов, составляющих минеральную часть углей, изменяется в достаточно широких пределах. Например, в золе образца угля № 2 содержится наибольшее количество оксида железа (16,5 %), а зола образцов угля № 1 и 3 в основном состоит из оксидов кремния и алюминия. Величина  $I_0$ , рассчитанная по формуле:  $(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) / (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3)$  [6], для всех образцов углей меньше единицы, что указывает на низкую основность их золы. Образцы углей № 1 и 2 являются малоглиноземными, а № 3 можно отнести к среднеглиноземному виду ископаемых.

Таким образом, с использованием комплекса химических и физико-химических методов анализа охарактеризованы образцы углей некоторых месторождений Монголии. Установлено, что данные угли имеют разные стадии метаморфизма: от низкой у угля Хартарвагатайского месторождения до высокой у угля Хушуутского месторождения с изменением марочной принадлежности от газового до тощего. Все угли среднесернистые, среднезольные с низким показателем основности золы. Петрографический состав разнородный с большей долей витринизированных компонентов у угля месторождения Хартарвагатай. Исследованные образцы углей являются слабоспекающимися и по технологическим характеристикам могут быть рекомендованы для энергетического использования.

Работа выполнена в рамках интеграционного проекта СО РАН и МАН № 13 «Разработка научных основ энергосберегающих технологий глубокой переработки углей Монголии и Западной Сибири РФ методами активирующего химического и физического воздействия».

#### Список литературы:

1. Горная энциклопедия / Под ред. Козловского Е.В. и др. - М.: Сов. энциклопедия. Т. 3. 1987. - 560 с.
2. B. Erdenetsogt et al. Mongolian coal-bearing basins: Geological settings, coal characteristics, distribution and resources // International Journal of Coal Geology, November 2009. V. 80. I. 2, 1. P. 87-104.
3. Дангаа Оюунболд, Сыроежко А.М., Славошевская Н.В. др. Комплексная переработка бурых углей Монголии и России с получением гуминовых препаратов, малозольных углеродных восстановителей и углебрикетов // Кокс и химия, 2010. №3. С. 26.
4. Артемьев В.Б., Еремин И.В., Гагарин С.Г. Петрография углей и их эффективное использование. – М.: «Недра коммюникейшенс ЛТД», 2000. – 334 с.
5. Тайц Е.М., Андреева И.А. Методы анализа и испытания углей. – М.: Недра, 1983. – 301 с.
6. Улановский М.Л., Лихенко А.Н. Изменение минерального состава углей при обогащении и коксовании // Кокс и химия, 2009. №6. - С. 13-20.

### ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ ТЕТРАНИТРОПЕНТАЭРИТРИТА И НАНОРАЗМЕРНЫХ ЭНЕРГОЕМКИХ ЧАСТИЦ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В СИСТЕМАХ ДИСТАНЦИОННОГО ИНИЦИИРОВАНИЯ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ

**Адуев Б.П., Белокуров Г.М., Нурмухаметов Д.Р., Нелюбина Н.В., Фурега Р.И.**  
**Институт углехимии и химического материаловедения СО РАН, Кемерово**

Тетранитропентаэритрит (тэн) – одно из наиболее чувствительных твердотельных бризантных взрывчатых веществ, относящихся к классу нитроэфиров. В настоящее время имеет довольно широкое применение в ряде технических приложений.

В последнее время возрос интерес к бесконтактным методам инициирования взрывчатых веществ (ВВ) в применениях в аэрокосмической промышленности, а также военной и специальной технике. В этом плане представляют интерес исследования инициирования ВВ с помощью импульсных лазерных пучков.

Применение лазерного инициирования для подрыва взрывчатых веществ перспективно для создания светодетонаторов, которые имеют ряд преимуществ перед другими способами, в частности, возможностью обеспечения высокого уровня изоляции от случайных электрических и электромагнитных помех посторонних источников, способных вызвать несанкционированный подрыв ВВ. Поскольку именно детонатор является наиболее опасным фактором при работе с ВВ, то разработка светочувствительных материалов на основе бризантных ВВ при сохранении чувствительности к удару позволит в значительной мере решить проблему безопасности взрывных работ, в частности в угольной промышленности. Для решения таких задач перспективно использование композитных материалов и смесевых составов ВВ с различными ультра- и нанодисперсными материалами.

Одним из направлений является регулирование чувствительности вторичных ВВ с помощью добавок ультрадисперсных частиц различных материалов. В частности, в работе [1] получено значительное снижение порога взрывного разложения при введении в ряд вторичных ВВ 1-3 массовых процента микронных частиц Al. В работе [2] установлено влияние на чувствительность к лазерному воздействию тетранитропентаэритрита (тэна) ряда добавок микронных размеров.

Предложенный механизм влияния добавок – селективное поглощение лазерного излучения микрочастицами, в результате которого происходит их нагрев и испарение частицы, приводящей к образованию «горячей точки», вызывающей реакцию взрывного разложения ВВ [2].

В работах [3, 4] по результатам исследований взрывного разложения азида свинца в рамках модельных расчетов получены критические размеры частиц коллоидного металла, оказывающих наибольшее влияние на увеличение чувствительности к лазерному подрыву, которые составляют величину  $\sim 100$  нм. Увеличение размера частиц приводит к уменьшению чувствительности [3, 4].

В настоящее время разработаны методы получения металлов и их соединений нанометрических размеров. Представляет интерес исследовать влияние таких добавок к ВВ при бесконтактных методах инициирования.

В связи с выше изложенным, необходимо систематическое экспериментальное исследование процессов инициирования бризантных ВВ и смесевых составов на их основе с использованием наночастиц различных сортов для расшифровки физико-химических процессов, протекающих на начальной стадии взрывного разложения.

В данной работе представлены результаты исследования порогов взрывного разложения смесевых составов тэна с наночастицами Al, изготовленного двумя различными методами и механокомпозитов Ni-C и Al-C.

Для подготовки образцов использовался синтезированный нами порошок тэна с размерами зерен в максимуме распределения 1.5 мкм. Эксперименты проведены с использованием в качестве добавок порошка алюминия, изготовленного методом газофазного синтеза в Институте физики металлов УрО РАН с размером частиц в максимуме распределения 100-120 нм (далее Al(1)). Количественное содержание окиси алюминия ( $Al_2O_3$ ), рассчитанное по результатам электронно-зондового микроанализа (рентгеновская флуоресценция), проведенное при помощи сканирующего электронного микроскопа JEOL JSM63901A, оснащенного спектрометром JEOL JED2400, составило 23% по массе. Часть экспериментов проведено с использованием порошка марки ALEX<sup>TM</sup> размером в максимуме распределения 100-120 нм, изготовленного электровзрывным методом (далее Al(2)) Томским ООО «Передовые порошковые технологии». Количественное содержание окиси алюминия, составило 18% по массе.

Также использованы добавки механокомпозитов Ni-C с характерными размерами частиц  $\sim 100$  нм и Al-C с характерными размерами 220 нм, изготовленные в ИХТТМ СО РАН.

Проводилась следующая процедура подготовки образцов. В порошок тэна добавлялись наночастицы до получения нужной концентрации. Смесь помещалась в гексан и перемешивалась в ультразвуковой ванне для получения равномерного распределения наночастиц в объеме смеси. После этого производилось испарение гексана, сушка смеси и навеска образца. Образцы прессовались в медной пластине. Использовались образцы с плотностью  $1.73$  г/см<sup>3</sup>, которые накрывались стеклянной пластиной со стороны ввода излучения для уменьшения газодинамической разгрузки образца.

В качестве источника инициирования использовался лазер на фосфатном стекле с неодимом (1060 нм, 20 нс). Измерялась вероятность взрывов в зависимости от плотности энергии лазерных импульсов и определялась критическая энергия  $W_{0.5}$  соответствующая 50% вероятности взрыва для образцов с различным содержанием наночастиц алюминия.

В первой серии экспериментов исследовалось влияние добавок наночастиц Al на чувствительность тэна к лазерному излучению.

Воздействие на образцы, не содержащие добавок наночастиц, не приводит к взрыву даже при максимально возможной в условиях эксперимента плотности энергии  $90$  Дж/см<sup>2</sup>.

Был проведен эксперимент по влиянию добавок наночастиц на чувствительность к лазерному излучению, с содержанием 0.025, 0.1, 0.3, 1 массовых процента алюминия марки Al(1) и 0,1 массовый процент алюминия марки Al(2). Результат представлен на (рис. 1). По экспериментальным кривым (рис. 1) определялась критическая плотность излучения, соответствующая 50% - ной вероятности взрыва  $W_{0.5}$ , от содержания алюминия в образцах, которая имеет немонотонный характер (рис. 2).

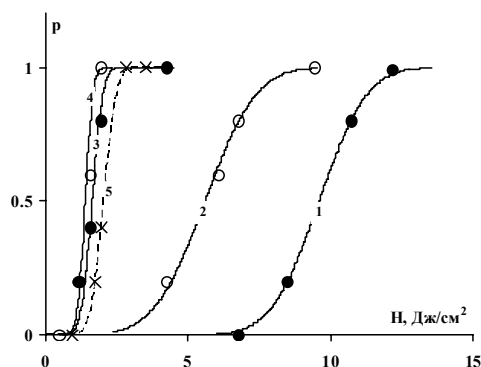


Рис. 1. Зависимость вероятности взрыва от плотности энергии инициирующего импульса для различных концентраций наночастиц Al в образце (в масс. %). Al(1): 1 – 0.025%, 2 – 1%, 3 – 0.3%, 4 – 0.1%; Al(2): 5 – 0.1%.

Таким образом наблюдается оптимальная концентрация наночастиц Al(1) в образце равной 0.1% по массе, с минимальной критической плотностью энергии инициирования  $W_{0.5} = 1.4 \text{ Дж/см}^2$ .

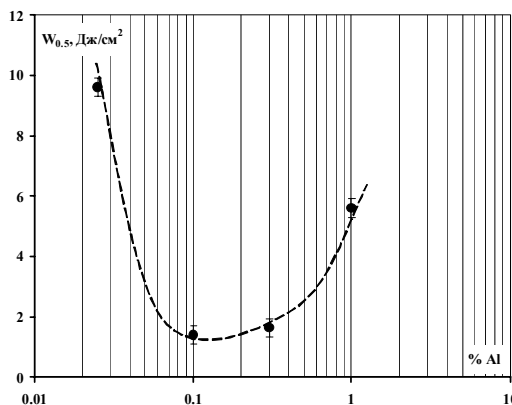


Рис. 2. Пороги иницирования для различных концентраций наночастиц Al в образце. Доверительный интервал указан при доверительной вероятности  $\alpha = 0.95$ . Погрешность связана с нестабильностью энергии импульса лазера.

Использование порошка марки Al(2) с оптимальной концентрацией наночастиц дает несколько большую величину порога  $W_{0.5} \approx 2 \text{ Дж/см}^2$  (кривая 5 рис. 1), несмотря на одинаковые размеры с порошком, изготовленным методом газозафазного синтеза. Таким образом, способ изготовления наночастиц влияет на вероятность лазерного зажигания тэна.

Для выяснения причины различия порогов взрывного разложения было проведено измерение удельной поверхности обоих типов порошков методом BET. Измерения показали, что для Al(1) площадь удельной поверхности  $S_{уд}=26 \text{ м}^2/\text{г}$ , а для Al(2)  $S_{уд}=14 \text{ м}^2/\text{г}$ . Таким образом, с нашей точки зрения, увеличение чувствительности образцов с добавками Al(1), относительно образцов с добавками Al(2), связана с большей удельной поверхностью и, следовательно, большей площадью контакта наночастиц с тэном, несмотря на несколько меньшее содержание активного алюминия.

Эксперименты по иницированию тэна с плотностью  $\rho > 1,4 \text{ г/см}^3$  отсутствуют, однако, используя эмпирическую формулу работы [5], можно получить оценку  $W_{0.5} \sim 170 \text{ Дж/см}^2$  для  $\rho = 1.73 \text{ г/см}^3$ . Таким образом эффект увеличения чувствительности к лазерному воздействию для образцов, содержащих оптимальную концентрацию Al, составляет  $\sim 10^2$  относительно чистых образцов. Наблюдаемый эффект можно связать с эффективным поглощением лазерного излучения наночастицами, в результате чего происходит их нагрев и образование очагов химического разложения в их окрестности, т.е. «горячих точек». Превышение концентрации наночастиц в образцах выше оптимальной приводит к их скоплению в близкорасположенных точках пространства и менее эффективному нагреву при поглощении лазерного излучения, что приводит к увеличению  $W_{0.5}$ .

Также были эксперименты, проведенные на образцах тэна, содержащих добавки Ni-C: измерена зависимость вероятности взрыва образцов содержащих 0.05, 0.1, 0.2, 0.5, 2 и 5 процентов Ni-C (по массе) от плотности энергии иницирующего импульса. Основной экспериментальный результат представлен на рис. 3.

Оптимальная концентрация наночастиц Ni-C, при которой образцы имеют максимальную чувствительность к лазерному излучению ( $5 \text{ Дж/см}^2$ ) составляет 0.3 % по массе.

Далее исследован порог взрывного разложения тетранитропентаэритрита (тэна) с добавками ультрадисперсных частиц Al-C при воздействии импульсов YAG:Nd<sup>3</sup> лазера (12 нс, 1064 нм).

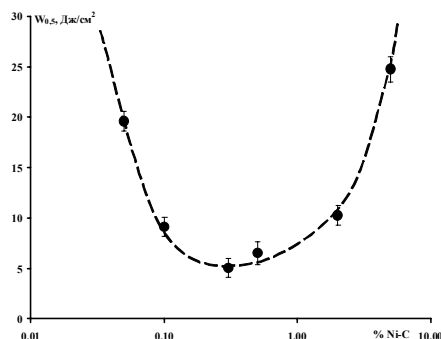


Рис. 3. Пороги иницирования для различных концентраций наночастиц Ni-C в образце. Доверительный интервал указан при доверительной вероятности  $\alpha = 0.95$ . Погрешность связана с нестабильностью энергии импульса лазера.

Результаты измерения порога взрывного разложения образцов, соответствующего 50% вероятности взрыва, в зависимости от содержания включений представлены на рис. 4.

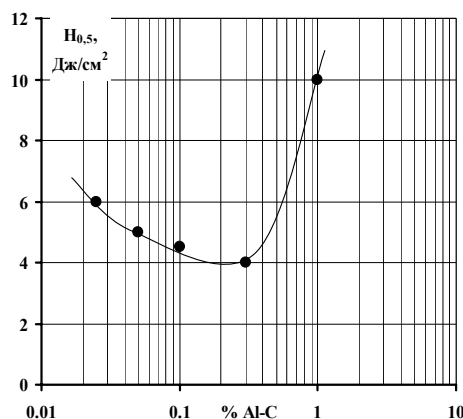


Рис. 4. Пороги инициирования для различных концентраций наночастиц Al-C в образце.

Оптимальная концентрация включений, при которой порог взрывного разложения достигает минимальной величины ( $W_{0,5} = 4$  Дж/см²) составляет 0.1 – 0.3 масс. %. Как было отмечено выше при использовании в качестве добавок порошка алюминия без содержания углерода с характерными размерами зерен 120 нм, порог взрывного разложения составил 1.4 Дж/см² с добавкой Al 0.1 – 0.3 масс.%. По данным дифференциально-термического анализа (ДТА) при отжиге порошков в атмосфере воздуха для порошка Al-C наблюдаются две характерные области энергосвечения 300–600 °С и резкий пик с максимумом 707 °С. Первая связана с окислением углерода, второй пик – с окислением алюминия. При отжиге частиц Al, не содержащих углерод, наблюдали один пик энергосвечения при 748 °С. При этом суммарное энергосвечение на единицу массы ( $S/m$ , где  $S$  – площадь под кривой ДТА) в относительных единицах в первом случае составило  $S/m = 626.67$  г⁻¹, во втором -  $S/m = 1261$  г⁻¹.

Из этих результатов можно сделать предварительный вывод, что в результате поглощения лазерного излучения включениями происходит не только их нагрев до высокой температуры, но и экзотермическое окисление, дающее вклад в инициирование химической реакции в горячих точках в матрице тэна. При этом углерод, находящийся в механокомпозите Al-C, скорее всего, снижает эффективность лазерного зажигания тэна.

Полученные результаты открывают способ управления чувствительностью бризантных ВВ при импульсном лазерном воздействии с помощью добавок наночастиц различных сортов и позволяют разработку светодетонаторов, повышающих безопасность при проведении работ с ВВ.

#### Список литературы:

1. Иоффе В. Б., Долголатев А. В., Александров В. Е., Образцов А. П. // Физика горения и взрыва. 1985. Т. 21. № 3. С. 51.
2. Александров В.Е., Долголатев А.В., Иоффе В.Б. и др. // ФГВ. 1983. Т.19. №4. С. 17.
3. Александров Е.И., Вознюк А.Г. // ФГВ. 1978. Т. 14. С. 86.
4. Александров Е.И., Вознюк А.Г. // ФГВ. 1986. Т. 25. С. 103.
5. Таржанов В.И., Зинченко А.Д., Сдобнов В.И. // ФГВ. 1996. Т. 32. № 4. С. 113.

## ОКИСЛЕНИЕ КОМПОНЕНТОВ КАМЕННОУГОЛЬНОЙ СМОЛЫ В НАНОРЕАКТОРЕ НА БАЗЕ СУЛЬФИРОВАННОГО ПОЛИКАЛИКСАРЕНА

д.х.н. Г.Н. Альтишулер

Институт углехимии и химического материаловедения СО РАН,  
Кемерово, E-mail: altshulerh@gmail.com

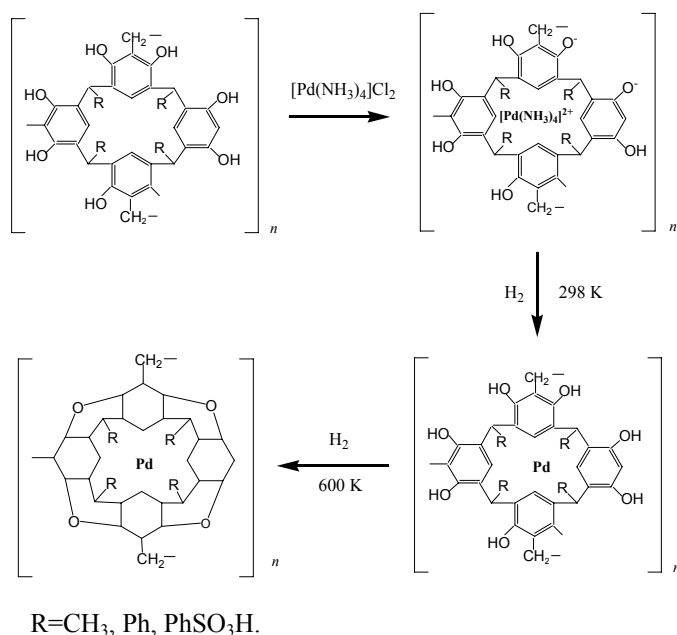
В условиях роста заболеваемости туберкулезом чрезвычайно актуальной становится разработка новых технологий получения пиридинкарбоновых кислот – прекурсоров важнейших биологически активных соединений, в том числе никотиновой кислоты и наиболее применяемых противотуберкулезных препаратов: изониазида, фтивазида, тубазида. Промышленный синтез никотиновой кислоты основан на окислении β-пиколина [1] или никотина [2]. Первый из них является продуктом коксохимии и стал предметом охоты зарубежных фармацевтических компаний в России последнего десятилетия, когда произошла ликвидация нашей фармацевтической промышленности [2]. Перспективным является нанореакторный синтез пиридинкарбоновых кислот каталитическим окислением компонентов пиколиновой и хинолиновой фракций переработки каменноугольной смолы.

Типичным нанореактором является молекула каликсарена [3], имеющая чашеобразную гидрофобную полость, окружённую гидрофильными группами. Расчётный объём полости каликс[4]резорциарена составляет 1–2 куб. нм. Нами синтезированы [4–6] сетчатые полимеры, содержащие иммобилизованные каликс[4]резорциарены. В работах [7,8] сетчатые полимеры на основе функционализированных cis-каликс[4]резорциаренов впервые



использованы в качестве матриц для создания твердофазных нанореакторов для каталитических процессов гидрирования. Показано [8], что нанореактор на основе иммобилизованного каликс[4]резорцинарена работает по схеме 1:

Схема 1



В полимерной матрице образуются кристаллические наночастицы чистого металлического палладия с дисперсностью 20-100 нм. Использована [9, 10] следующая стратегия получения полимерных композитов, содержащих наночастицы металлов регулируемого размера: катионы тетрааммиаката палладия вводятся в полимерную фазу в процессе ионного обмена из раствора, содержащего значительное количество инертных к восстановлению катионов (натрия, лития, аммония); реализуется определённая часть полной обменной ёмкости полимера (не более 1 иона металла на элементарное звено полимера). При этом сорбированные катионы отделены друг от друга стенками нанореактора и инертными к восстановлению неорганическими катионами. При термодинамической детерминированности процесса ионного обмена, в частности, при энергетической равноценности обменных мест, можно заранее задать среднее расстояние между восстанавливаемыми катионами, уменьшить среднее число элементарных частиц, входящих в атомный кластер металла. Таким образом, появляется возможность регулировать размер наночастиц. Рентгеновские дифрактограммы сульфированного поликаликсарена, содержащие различное количество палладия, (рис.1) были записаны на аппарате ДРОН-2 в медном фильтрованном излучении. Напряжение на трубке 30 кВ, ток 20 мА, скорость сканирования 2 град./мин.

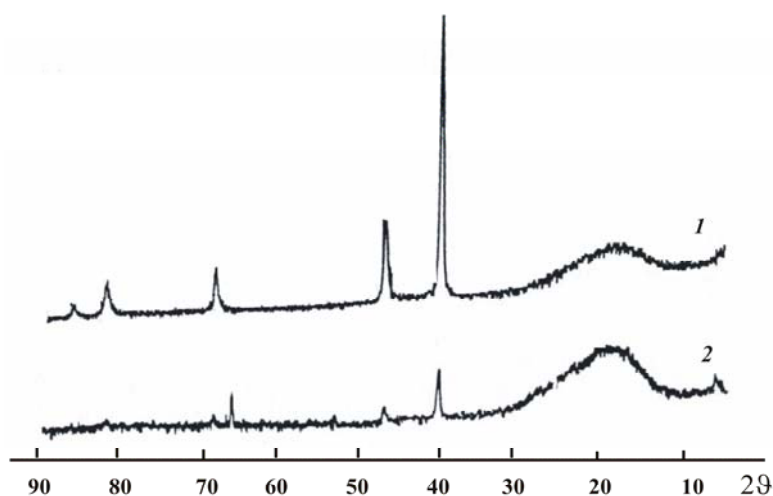
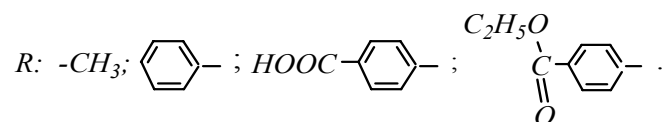


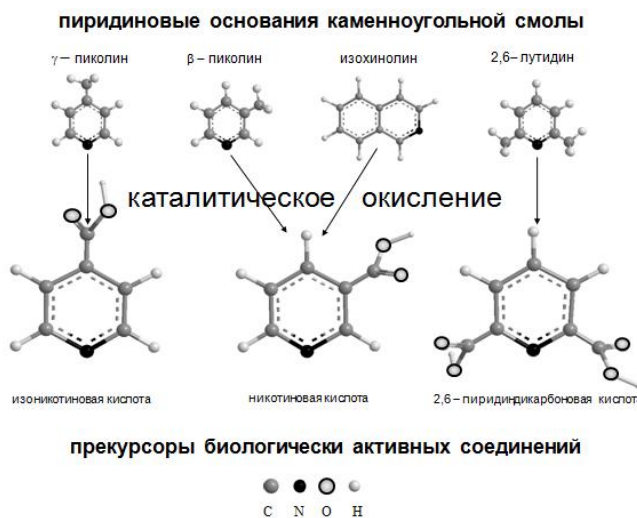
Рис. 1. Рентгенограммы сульфированного поликаликсарена, содержащего палладий 1- 34 г/дм<sup>3</sup>, 2 - 5.1 г/дм<sup>3</sup>.

На рентгенограммах (рис.1) присутствуют линии кристаллического палладия и широкая линия в области 20°, отвечающая рассеянию на аморфной структуре полимера. Судя по интенсивности линии кристаллического

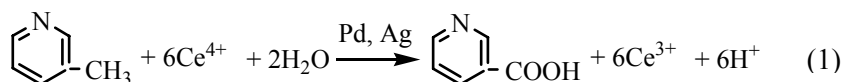
Наночастицы палладия, иммобилизованные в полимере, являются активными катализаторами окислительно-восстановительных процессов [11]. Ранее [7] сульфированный поликаликсарен, содержащий  $\text{Pd}^0$ , был выбран в качестве гетерогенного катализатора при гидрировании нитросоединений по схеме 2:

$$R-NO_2 \xrightarrow{H_2} R-NH_2,$$


В данной работе описаны методы нанореакторного синтеза пиридинкарбоновых кислот окислением пиридиновых оснований каменноугольной смолы:  $\beta$  и  $\gamma$ -пикколинов; 2,6-лутидина; изохинолина по схеме, представленной на рис. 2. Ключевыми стадиями процессов окисления являются активация пиридиновых оснований и окислителей в полости нанореактора.



В качестве примера на рис. 3 представлен разработанный методом молекулярного дизайна каталитический цикл получения никотиновой кислоты по реакции (1) в твердофазном нанореакторе на основе сульфированного поликаликсарена.



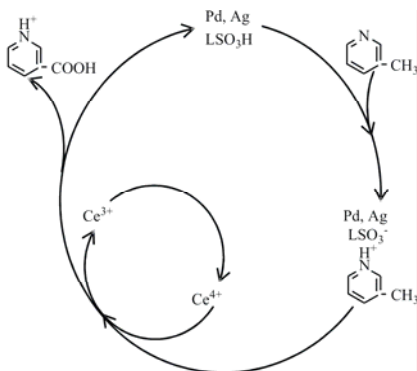


Рис. 3. Каталитический цикл получения никотиновой кислоты из β-пикколина.  
L – поликаликсарен, импрегнированный наночастицами металлов (Pd или Pd-Ag).

Изучены термодинамические и кинетические параметры элементарных стадий нанореакторного синтеза никотиновой кислоты по каталитическому циклу (рис. 3). По предложенному каталитическому циклу (рис. 3) водный раствор β-пикколина пропускается через ионообменную колонку, содержащую нанокompозит (матрицу сульфированного поликаликсарена, импрегнированную наночастицами Pd или Pd и Ag). Затем через ионообменную колонку пропускается раствор Ce(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>. Из фильтрата при pH 3.4-3.5 выделяется техническая никотиновая кислота. Температура плавления 226-228 °C; содержание азота 11.4 %. Все стадии нанореакторного синтеза никотиновой кислоты протекают селективно, с высокими степенями превращения и в мягких условиях – при давлении 1.013·10<sup>-5</sup> Па и температуре 300 К. В гомогенной водной среде (без катализатора) реакция (1) в этих условиях не протекает.

#### Список литературы:

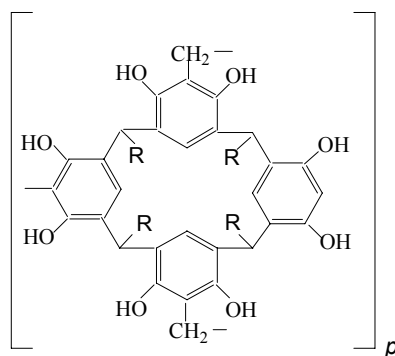
1. Яхонтов Л.Н., Глушков Р.Г. Синтетические лекарственные средства. М.: Медицина, 1983. 272 с.
2. Толстикова Т.Г., Толстиков А.Г., Толстиков Г.А. Лекарства из растительных веществ. Новосибирск: ГЕО, 2010. Гл.11. 215 с.
3. Бучаченко А.Л. // Успехи химии. 1999. Вып.2. С. 99.
4. Altshuler H., Ostapova E., Fedyaeva O. et al. // Macromol. Symp. 2002. V. 181. P. 1.
5. Altshuler H., Sapozhnikova L., Ostapova E. et al. // Solvent Extraction and Ion Exchange. 2002. V. 20. № 2. P. 263.
6. Альтишулер О.Г., Сапожникова Л.А., Альтишулер Г.Н. // ВМС, серия А. 2007. Т. 45. № 7. С. 1198.
7. Альтишулер Г.Н., Сапожникова Л.А. // Журн. структурной химии. 2004. Т. 45. Приложение. С. 178.
8. Альтишулер Г.Н., Сапожникова Л.А. // Журн. прикл. химии. 2004. Т.77. Вып. 11. С. 1914.
9. Альтишулер Г.Н., Сапожникова Л.А., Остапова Е.В., Альтишулер О.Г. // Журн. физ. химии. 2007. Т. 81. № 7. С. 1159.
10. Альтишулер О. Г., Малышенко Н. В., Шкурченко Г. Ю., Альтишулер Г. Н. // Теоретические основы химической технологии. Т. 43. 2009. № 1 С. 47.

## ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАНОКОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИТЕТРАФЕНИЛМЕТАЦИКЛОФАНОКТОЛА

Д.х.н. Е.В. Остапова, д.х.н. Г.Н. Альтишулер  
Институт углехимии и химического материаловедения СО РАН,  
Кемерово, E-mail: [ostapovaev@bk.ru](mailto:ostapovaev@bk.ru)

Перспективным направлением совершенствования химических источников электрической энергии является применение в них новых полимерных ионопроводящих мембран и электродов из пористых композитов. В качестве основы протонпроводящих мембран и композиционных материалов, пригодных для создания электродов нового поколения, могут выступать сетчатые полимеры на основе макроциклических полифенолов, в частности метациклофаноктолов, основным сырьевым источником получения которых являются продукты переработки коксующихся углей.

Целью данной работы являлось изучение электрохимических свойств материалов на основе сетчатых полимеров, элементарные звенья которых содержат иммобилизованные cis-метациклофаноктолы



I: R = Ph,  
II: R = Ph-SO<sub>3</sub>.

Для реализации поставленной цели были измерены электрическая проводимость полимеров I и II в форме одно и двухзарядных катионов и электродные потенциалы металлокомпозитов на матрице полимера II, содержащих наноразмерные частицы серебра и палладия.

Сетчатый полимер I (политетрафенилметациклофаноктол) получали в виде сферических гранул диаметром 0.05-0.5 мм каталитической резольной поликонденсацией *cis*-тетрафенилметациклофаноктола с формальдегидом по методике [1]. Полимер II (полисульфонатотетрафенилметациклофаноктол) получали двукратным сульфированием полимера I [2]. Полиметациклофаноктолы, содержащие ионогенные OH- и SO<sub>3</sub>H-группы, являются полиэлектролитами и диссоциируют при набухании в полярных растворителях с образованием свободных протонов. Протоны ионогенных групп полимеров могут обмениваться на катионы из раствора. Полная ионообменная емкость полимеров I и II по 0.1 М NaOH составляет 3.8 и 5.65 эквивалентов на кг соответствующего сухого полимера. Причем для полисульфонато-тетрафенилметациклофаноктола ионообменная ёмкость, равная 2.45 эквивалента, соответствует количеству обменивающихся протонов SO<sub>3</sub>H-групп.

Присутствие подвижных катионов определяет ионный характер электропроводности набухших полимеров, а тип подвижного катиона оказывает существенное влияние на значение электропроводности полимера. Нами измерена электрическая проводимость слоя полимер – равновесный раствор электролита в специальной ячейке с подвижным платиновым электродом на установке [3], схема которой представляет мост переменного тока. Удельная электрическая проводимость собственно полимеров рассчитана с помощью известной зависимости [4] на основании экспериментальных данных об электропроводности слоя полимер - равновесный водный раствор электролита и электрической проводимости равновесного раствора электролита вблизи точки изоэлектропроводности. В таблице представлены значения удельной электропроводности различных катионных форм полиметациклофаноктолов, приведённых в равновесие с изоэлектропроводными растворами электролитов.

Таблица. Удельная электрическая проводимость полиметациклофаноктолов ( $\chi \cdot 10^4$ , См/см), приведенных в равновесие с растворами электролитов при 298 К

| Полимер | Электролит |      |      |      |      |                   |                   |                     |                   |                   |
|---------|------------|------|------|------|------|-------------------|-------------------|---------------------|-------------------|-------------------|
|         | HCl        | LiCl | LiOH | NaCl | NaOH | AgNO <sub>3</sub> | BaCl <sub>2</sub> | Ba(OH) <sub>2</sub> | CuCl <sub>2</sub> | NiCl <sub>2</sub> |
| I       | 3.3        | -    | 100  | -    | 119  | -                 | -                 | 18                  | -                 | -                 |
| II      | 2080*      | 120  | 132  | 135  | 157  | 117               | 39                | 28                  | 43                | 40                |

\*Концентрация изоэлектропроводящего раствора HCl достигала 0.5 М, в остальных случаях концентрация равновесных растворов электролитов не превышала 0.1 М

Как видно из таблицы, удельная проводимость металлических форм полимера II несколько выше электропроводности соответствующих форм полимера I и для обоих полимеров она увеличивается при переходе от двухзарядных к однозарядным катионам. Наблюдается существенное различие электропроводности Н-формы полимеров. Значительное превосходство электропроводности Н-формы полимера II определяется тем, что ионофорные свойства полимера I обусловлены наличием слабодиссоциирующих фенольных (резорциновых) OH-групп, а полимер II содержит, помимо фенольных OH-групп, сильнокислотные SO<sub>3</sub>H-группы, диссоциирующие с образованием свободных протонов в широком диапазоне pH. Причиной большей электрической проводимости Н-формы полимера II по сравнению с солевыми формами, вероятно, является эстафетный механизм переноса заряда в системах, содержащих H<sup>+</sup>.

Можно отметить, что электрическая проводимость полиметациклофаноктолов в форме однозарядных катионов металлов, составляющая 0.01-0.015 См/см, сопоставима с ионной проводимостью неводных растворов электролитов в литиевых источниках тока [5] и твердого алюмината натрия, предложенного в качестве электролита в химических источниках тока [6], а электропроводность Н-формы полисульфонатотетрафенилметацикло-фаноктола (0.2 См/см) соответствует уровню эксплуатационных характеристик протонообменных мембран топливных элементов [7].

Создание высокоэффективных топливных элементов предполагает применение новых катализаторов реакций катодного окисления топлива и анодного восстановления кислорода, в частности, металлополимерных композитов. В качестве катализаторов электродных процессов обычно применяются высокодисперсные платина, палладий, медь, никель, серебро. Присутствие в структуре полисульфонатотетрафенилметациклофаноктола сильнокислотных групп позволяет вводить в него широкий спектр катионов с целью последующего получения металлокомпозитов, обладающих каталитической активностью в окислительно-восстановительных реакциях и представляющих интерес в качестве электродных материалов для топливных элементов. Нами были получены композиты, содержащие наноразмерные частицы палладия и серебра на матрице полисульфонатотетрафенилметациклофаноктола (полимера II).

Палладиевые композиты с заданным содержанием металла (от 0.02 г до 0.05 г палладия на 1г сухого полимера) получали введением тетрааммиака палладия в полимер II методом ионного обмена из раствора, содержащего значительное количество инертных к восстановлению катионов (натрия, лития, аммония), и последующим гидрированием полимера при 363 К и  $1.013 \cdot 10^{-5}$  Па [8]. На рис. 1 приведены рентгеновские дифрактограммы композитов на матрице полисульфонатотетрафенилметациклофан-октола, записанные на дифрактометре ДРОН-2 в медном фильтрованном излучении при напряжении на трубке 30 кВ и скорости сканирования 2 град/мин.

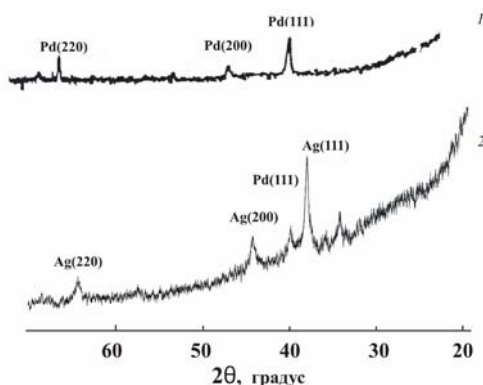


Рис.1. Рентгеновские дифрактограммы палладиевого (1) и палладиевосеребряного (2) нанокомпозитов на матрице полисульфонатотетрафенилмета-циклофаноктола.

Дифрактограмма (1) полимера с палладием, обработанного водородом, содержит только рефлексы, по расположению и относительной интегральной интенсивности соответствующие индексам Миллера (hkl) - (111), (200), (220), (311) кубической решетки металлического палладия. Дисперсность металлических частиц палладия, рассчитанная по данным рентгеновского рассеяния по полуширине рефлекса при  $2\theta = 40.1^\circ$ , составляет  $25 \pm 5$  нм.

Для получения палладиевосеребряного композита в палладиевый композит вводили ионы серебра и восстанавливали их в полимерной фазе водородом при 363 К и  $1.013 \cdot 10^{-5}$  Па [9]. В отсутствие в системе палладия восстановление катионов серебра в полимере в заданных условиях не идёт. На рентгеновской дифрактограмме композита, содержащего палладий и серебро, обработанного водородом (рис.1, 2), присутствуют рефлексы, соответствующие индексам (111), (200), (220) кубических решеток металлического серебра и металлического палладия. Дисперсность металлического серебра, рассчитанная по полуширине рефлекса при  $2\theta = 38.1^\circ$ , равняется  $50 \pm 5$  нм. Палладиевосеребряный композит содержит 0.02 г палладия и 0.1 г серебра на 1г сухого полимера.

Для оценки возможности использования полученных нанокомпозитов в качестве электродных материалов для водородного топливного элемента были измерены электродные потенциалы металлокомпозитов, погружённых в водные растворы  $H_2SO_4$ , через которые пропускался  $H_2$  или  $O_2$ . Использован насыпной тип электрода в виде стеклянного цилиндра диаметром 8 мм и высотой в 12 мм. В качестве токоотвода взята платиновая пластина, впаянная в дно цилиндра, на которую помещался слой исследуемого материала. Электродом сравнения служил насыщенный хлорсеребряный электрод, находящийся во вспомогательном отделении ячейки. Контакт между исследуемым раствором и раствором вспомогательного отделения осуществлялся агар-агаровым мостом. Разность потенциалов регистрировалась высокоомным ампервольтметром Р-386. Результаты потенциометрии приведены на рис. 2.

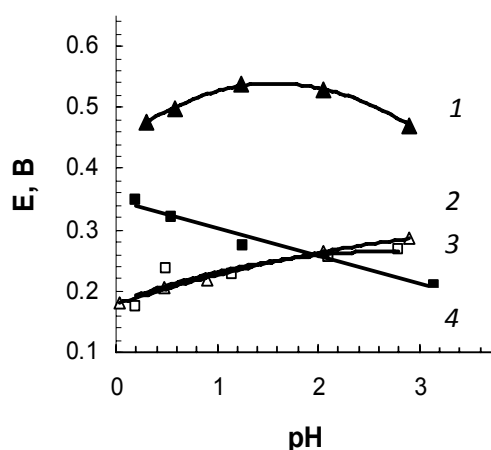


Рис. 2. Электродные потенциалы палладиевосеребряного композита в системах водный раствор  $\text{H}_2\text{SO}_4 - \text{O}_2$  (1) и водный раствор  $\text{H}_2\text{SO}_4 - \text{H}_2$  (2), палладиевого композита в системах водный раствор  $\text{H}_2\text{SO}_4 - \text{H}_2$  (3) и водный раствор  $\text{H}_2\text{SO}_4 - \text{O}_2$  (4), измеренные относительно насыщенного хлорсеребряного электрода при 298 К.

Палладиевосеребряный композит в присутствии кислорода (рис. 2, кривая 1) имеет наибольший потенциал во всем интервале значений pH растворов. Потенциалы палладиевосеребряного и палладиевого композитов в присутствии водорода (кривые 2 и 3) практически не отличаются, уменьшаясь от 0.3 В до 0.2 В при изменении pH раствора от 3 до 0. Максимальная разность наблюдается между потенциалом палладиево-серебряного композита в атмосфере  $\text{O}_2$  и потенциалами палладиево-серебряного или палладиевого композита в присутствии  $\text{H}_2$ , погруженных в водные растворы  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , pH которых лежит в интервале 0 - 2. Таким образом, по данным потенциометрии (рис.2) для достижения большей э.д.с. водородного топливного элемента нанокompозит на матрице полисульфонатотетрафенилметациклофаноктола, содержащий 2-5 % палладия, представляет интерес в качестве материала для отрицательного электрода, на котором идет окисление водорода, нанокompозит на матрице полисульфонатотетрафенил-метациклофаноктола, содержащий 2 % палладия и 10 % серебра, может быть использован как функциональный материал положительного электрода, на котором идет восстановление кислорода.

#### Список литературы:

1. Altshuler H., Ostapova E., Fedyaeva O., Sapozhnikova L., Altshuler O. // Macromol. Symp. 2002. V.181. P. 1.
2. Альтишулер О. Г., Сапожникова Л.А., Альтишулер Г.Н. // Высокомолекулярные соединения, серия А. 2007. Т.45. № 7. С. 1198.
3. Николаев Н.И., Филимонова Ф.М. В кн. Исследование свойств ионообменных материалов. М.: Наука, 1964. 232 с.
4. Гнусин Н. П., Гребенюк В.Д., Фомин А.Г. // Электрохимия. 1966. Т. 2. С. 47.
5. Колосницин В.С., Духанин Г.П., Думлер С.А. и др. // ЖПХ. 2005. Т. 78. N 1. С. 3.
6. Багоцкий В.С. // Журн. ВХО им. Д.И. Менделеева. 1971. Т. 16. N 6. С. 685.
7. Alberti G., Casciola M, Massinelli L., Bauer B. // J. Membr. Sci. 2001. V. 185. P.73.
8. Альтишулер Г.Н., Сапожникова Л.А. // ЖПХ. 2004. Т.77. N 11. С. 1914.
9. Альтишулер Г. Н., Сапожникова Л. А., Альтишулер О. Г. и др. // ЖФХ. 2011. Т.85. N 4. С. 743.

### СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ НАНОРАЗМЕРНЫХ ЧАСТИЦ МЕТАЛЛОВ И СОЗДАНИЕ НА ИХ ОСНОВЕ КАТАЛИЗАТОРОВ ДЛЯ КОНВЕРСИИ МЕТАНА

**К.х.н. И.И. Образцова, д.х.н. Н.К. Еременко, к.х.н. Г.Ю. Сименюк,  
к.х.н. А.Н. Еременко, д.х.н. Б.Г. Трясунов  
Институт углеродной и химической материаловедения СО РАН,  
Кемерово, e-mail: [iuxm@yandex.ru](mailto:iuxm@yandex.ru)**

В современной науке весьма перспективным направлением является разработка катализаторов для различных процессов тонкого органического синтеза, а также переработки нефти, угля, природного газа, торфа и др. Одной из основных проблем в углеродной химии является поиск путей рационального использования метана угольных пластов, шахтного метана и метана закрытых угольных шахт, который, с одной стороны, создает взрывоопасные смеси с

воздухом, с другой – является ценным продуктом. В основном, метан используется для отопления жилых помещений, для производства электроэнергии и как топливо для автотранспорта, для заправки автомобилей, а также для получения синтез-газа ( $\text{CO}$  и  $\text{H}_2$ ). Образующийся синтез-газ может быть использован для синтеза аммиака, метанола, формальдегида, углеводов, уксусной кислоты, ацетальдегида и других продуктов.

Также представляет интерес использование компонентов синтез-газа (водорода и оксида углерода (II)) для гидрирования различных ароматических нитросоединений в соответствующие амины, так как последние находят широкое применение [1-4] в производстве различных красителей, лекарственных препаратов, ингибиторов коррозии, антидетонационных присадок к бензинам и моторным топливам и др. В связи с этим актуальным направлением является разработка и исследование высокоэффективных и селективных катализаторов гидрирования ароматических нитросоединений.

Ранее нами были разработаны [4] палладиевые трифенилфосфиновые катализаторы, обладающие высокой активностью, селективностью (до 100 %) и стабильностью (более 50 циклов гидрирования без потери каталитической активности) при восстановлении различных ароматических нитросоединений молекулярным водородом при низкой температуре 30-60°C и атмосферном давлении. Выход и чистота получаемых аминов близки к 100%. Предлагаемые нами технологии являются экологически чистыми, так как в ходе реакции не образуется побочных продуктов. Изучено [4, 5] влияние соотношения  $\text{Pd/P}$ , структуры различных типов углеродных носителей (активированный уголь, углеродное волокно, наноалмаз и др.), природы растворителя и заместителей в ароматическом кольце на каталитическую активность.

Известно [6], что при приготовлении нанесенных палладиевых катализаторов существует проблема миграции атомов палладия на поверхности носителя, в результате чего происходит образование крупных кластеров палладия, и, как следствие этого, наблюдается снижение активности соответствующих катализаторов. Введение же второго металла приводит к рассредоточению активных центров на поверхности катализатора и уменьшению их размеров за счет разбавления поверхностных атомов основного металла атомами второго металла [7].

В настоящей работе в качестве катализаторов гидрирования ароматических нитросоединений были исследованы различные наноструктурированные биметаллические системы ( $\text{Pd-Ni}$ ,  $\text{Pd-Cu}$ ,  $\text{Pd-Ag}$ ), так как, согласно литературным данным [7-8] введение второго металла способствует повышению селективности и стабильности катализатора. Влияние второго металла и других промоторов на эффективность катализаторов в реакции гидрирования связано с их влиянием на геометрические и/или электронные свойства активных центров катализатора.

Поэтому мы предположили, что методика приготовления катализатора также может оказывать сильное влияние на каталитическую активность. В качестве модельной реакции была выбрана реакция гидрирования нитробензола молекулярным водородом.

Приготовление биметаллических катализаторов проводили восстановлением растворов соли палладия (0.0613 г  $\text{K}_2\text{PdCl}_4$  в 25 мл  $\text{H}_2\text{O}$ ) и солей других металлов (1.8860 г  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  или 0.7559 г  $\text{AgNO}_3$  или 1.9439 г  $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  в 75 мл  $\text{H}_2\text{O}$ ) гидразином при температуре 70°C. Для каждой биметаллической пары было апробировано четыре методики получения, отличающихся последовательностью введения и восстановления реагентов.

Согласно методике № 1 к раствору соли палладия добавляли раствор соли другого металла ( $\text{Cu}$ ,  $\text{Ag}$ ,  $\text{Ni}$ ), тщательно перемешивали на магнитной мешалке при температуре 70°C, приливали 4 мл 72%-го раствора гидразина. Реакцию проводили при постоянном перемешивании в течение 30 мин до полного восстановления солей металлов. В результате происходило совместное восстановление растворов солей палладия и другого металла гидразином.

По методике № 2 к раствору соли металла, нагретому до 70°C, добавляли 4 мл гидразина и перемешивали в течение 15 мин. Затем к полученной реакционной смеси приливали соль палладия и перемешивали еще 15 мин до полного восстановления. По методике № 3, наоборот, вначале восстанавливали соль палладия, затем соль металла. В результате происходило поочередное восстановление солей палладия и другого металла гидразином.

По методике № 4 проводилось раздельное восстановление солей палладия и металла с последующим их смешением и перемешиванием. С этой целью в одной емкости к раствору  $\text{K}_2\text{PdCl}_4$ , нагретому до 70°C, приливали 1 мл гидразина; в другой емкости – к раствору соли металла ( $\text{Cu}$ ,  $\text{Ag}$ ,  $\text{Ni}$ ), также нагретому до 70°C, приливали 3 мл гидразина. Полученные реакционные смеси выдерживали отдельно, при тщательном перемешивании в течение 15 минут до полного восстановления солей металлов. После этого реакционные смеси сливали вместе и перемешивали еще 15 минут для равномерного распределения частиц металлов. Содержание палладия во всех биметаллических катализаторах составляло 4%.

Реакцию гидрирования нитробензола проводили в статической системе при постоянном (нормальном) давлении при температуре 60°C. Катализатор и другие реагенты помещали в термостатируемый стеклянный реактор с магнитной мешалкой, реактор герметично соединяли с термостатируемой бюреткой при атмосферном давлении. С помощью трехходового крана на бюретке реактор продували сначала аргоном, затем водородом. За ходом реакции следили по изменению объема водорода в измерительной системе через определенные промежутки времени. Прекращение поглощения водорода свидетельствовало об окончании реакции.

Исследовано влияние природы второго металла (медь, серебро, никель) в биметаллической паре и методики приготовления биметаллических систем на их каталитическую активность в реакции гидрирования нитробензола молекулярным водородом.

Результаты по исследованию влияния методики приготовления биметаллических систем (Pd-Cu, Pd-Ag, Pd-Ni) на скорость гидрирования нитробензола представлены в табл. 1.

Таблица 1. Скорость (W) гидрирования нитробензола молекулярным водородом на биметаллических катализаторах Pd-Cu, Pd-Ag, Pd-Ni в зависимости от методики их приготовления\*

| Биметаллическая система | W, мл H <sub>2</sub> /(г Pd·мин)    |       |       |       |
|-------------------------|-------------------------------------|-------|-------|-------|
|                         | методика приготовления катализатора |       |       |       |
|                         | 1                                   | 2     | 3     | 4     |
| Pd-Cu                   | 37.5                                | 57.3  | 146.3 | 38.0  |
| Pd-Ag                   | 38.2                                | 61.0  | 84.3  | 99.5  |
| Pd-Ni                   | 22.4                                | 461.2 | 433.1 | 671.5 |

\* Условия гидрирования: объем раствора – 10 мл; растворитель – этанол, навеска катализатора – 200 мг, объем нитробензола – 0.3 мл, температура – 60°C, давление водорода – 760 мм.рт.ст.

Видно, что наименее активными оказались катализаторы, полученные по первой методике. Для системы Pd-Cu наиболее активными оказались катализаторы, полученные по методике № 3. Для систем Pd-Ag и Pd-Ni наиболее активными оказались катализаторы, полученные по методике №4.

Следует отметить, что природа второго металла оказывает существенное влияние на каталитические свойства палладия. Наиболее активен никель. В зависимости от методов получения (№ 2-4) каталитическая активность системы Pd-Ni превышает другие системы (Pd-Cu, Pd-Ag) в 3-17 раз.

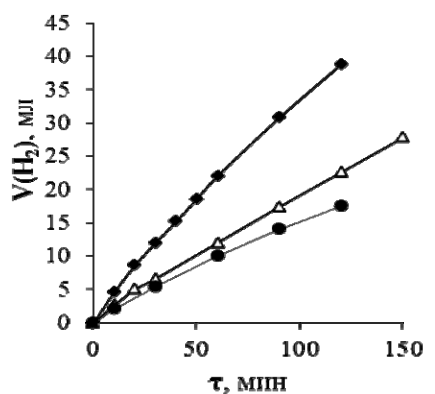
На рис. 1 представлены кинетические кривые реакции гидрирования нитробензола на биметаллических катализаторах. Видно, что по каталитической активности катализаторы можно расположить в следующей последовательности Pd-Cu < Pd-Ag << Pd-Ni. Исключением являются катализаторы, приготовленные по первой методике, где система Pd-Ni оказалась менее активной и катализаторы, приготовленные по третьей методике, у которых система Pd-Cu более активна, чем система Pd-Ag. Более высокая активность системы Pd-Ni обусловлена каталитическими свойствами металлического никеля в реакциях гидрирования [9].

Кроме того были приготовлены катализаторы системы Pd-Ni в присутствии комплексообразователей аммиака и лимонной кислоты. Данные представлены в таблице 2.

Таблица 2. Скорость (W) гидрирования нитробензола молекулярным водородом на катализаторах Pd-Ni в зависимости от условий приготовления катализатора\*

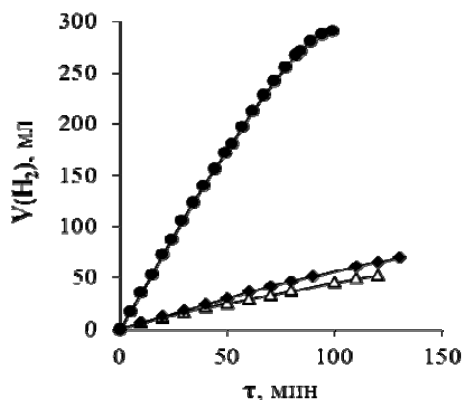
| Комплексообразователь     | W, мл H <sub>2</sub> /(г Pd·мин)    |       |       |       |
|---------------------------|-------------------------------------|-------|-------|-------|
|                           | Методика приготовления катализатора |       |       |       |
|                           | 1                                   | 2     | 3     | 4     |
| Без комплексообразователя | 22.4                                | 461.2 | 433.1 | 671.5 |
| Аммиак                    | 18.6                                | 452.6 | 451.4 | 596.8 |
| Лимонная кислота          | 11.8                                | 14.5  | 746.8 | 551.3 |

\*Условия гидрирования: объем раствора – 10 мл; растворитель – этанол, навеска катализатора – 200 мг, объем нитробензола – 0.3 мл, температура – 60°C, давление водорода – 760 мм.рт.ст.



—△— Pd-Cu-1 —●— Pd-Ag-1 —●— Pd-Ni-1

a



—△— Pd-Cu-2 —●— Pd-Ag-2 —●— Pd-Ni-2

b



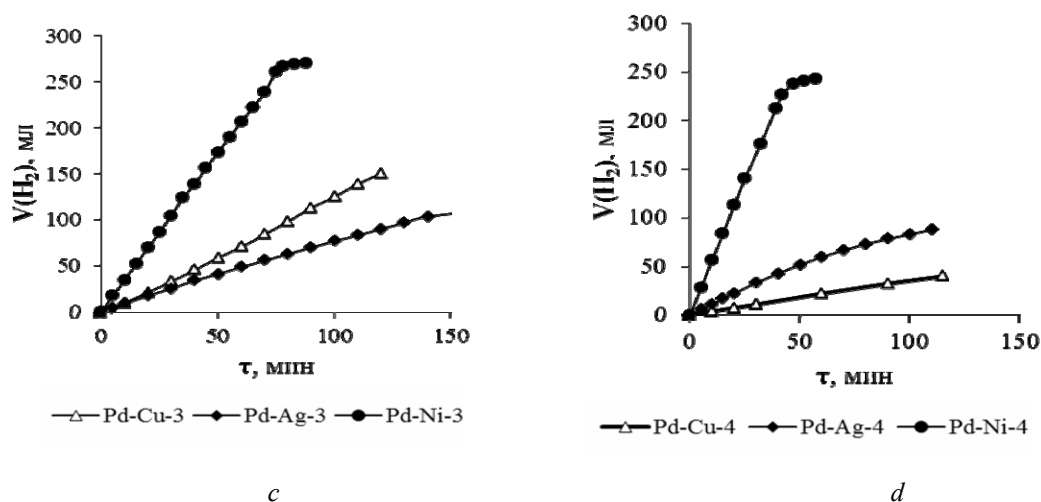


Рис. 1. Кинетические кривые зависимости объема поглощенного водорода ( $V$ ) от времени реакции ( $\tau$ ) гидрирования нитробензола на биметаллических катализаторах.  
a, b, c, d – методики (1, 2, 3, 4) приготовления катализаторов, соответственно

Очевидно, что введение аммиака при получении биметаллических катализаторов Pd-Ni практически не влияет на их каталитические свойства. В случае проведения синтеза биметаллических катализаторов в присутствии лимонной кислоты, катализаторы, полученные по методикам 1 и 2, оказались неактивными, в то время как катализатор, приготовленный по методике 3, оказался наиболее активным из всех исследованных нами катализаторов.

На основании вышеизложенных данных четко показано, что методика приготовления катализатора оказывает существенное влияние на их каталитические свойства.

Для оценки влияния второго металла на каталитическую активность были приготовлены катализаторы со 100%-ым содержанием палладия. Скорость гидрирования нитробензола на них составила в среднем 72 мл  $H_2$ /(г Pd·мин).

Очевидно, что большинство исследованных нами биметаллических катализаторов обладают более высокой каталитической активностью, чем металлический палладий.

Согласно литературным данным [6], введение второго металла приводит к увеличению активности атомов палладия в реакции гидрирования. По нашему мнению, это связано с электронным взаимодействием атомов палладия и второго металла. Кроме этого наличие промотора обуславливает диспергирование атомов палладия и уменьшение их агломерации.

Таким образом, в работе получены биметаллические катализаторы и изучена их активность в реакции гидрирования нитробензола. Обнаружено, что на активность биметаллических катализаторов влияет методика приготовления катализатора вследствие возможности воздействия на электронные и структурные свойства катализаторов, размеры активных центров катализатора и на их устойчивость к агломерации. Установлено, что каталитическая активность биметаллических систем возрастает в ряду Pd-Cu < Pd-Ag << Pd-Ni.

#### Выводы:

Разработаны четыре методики получения биметаллических катализаторов Pd-Cu, Pd-Ag и Pd-Ni восстановлением солей металлов (Cu, Ag или Ni) и соли палладия гидразином, отличающиеся порядком введения компонентов, и исследована их каталитическая активность в реакции гидрирования нитробензола.

Показано, что природа второго металла (Cu, Ag, Ni) в биметаллической паре Pd-металл оказывает существенное влияние на их каталитическую активность.

Установлено, что полученные биметаллические катализаторы обладают более высокой активностью по сравнению с металлическим палладием.

Обнаружено, что каталитическая активность изученных биметаллических систем зависит от условий их приготовления и увеличивается в ряду Pd-Cu < Pd-Ag << Pd-Ni. Наиболее оптимальный катализатор будет использоваться для конверсии метана.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 10-03-98001).

#### Список литературы:

1. Пономарев В.Г., Калинин А.И., Кудрявский Ю.П. // Современные наукоемкие технологии. 2005. № 6. С. 78.
2. Дорохов В.Г., Барелко В.Г., Бальжинимаяев Б.С. и др. Катализатор для гидрирования ароматических нитросоединений: Патент РФ № 2156654.
3. Бакланов А.В., Дегтярев В.В., Шубаев Д.И., Шубаев С.Д. Многофункциональная антидетонационная добавка к моторному топливу: Патент РФ № 2246527. Б.И. 2005. № 5.
4. Образцова И.И., Ефимов О.А. // Журнал прикладной химии. 2004. Т. 77. Вып. 3. С. 517.

5. Образцова И.И., Еременко Н.К., Велякина Ю.Н. // Кинетика и катализ. 2008. Т.49. № 3. С. 422.
  6. Николаев С.А., Занавескин Л.Н., Смирнов В.В. и др. // Успехи химии. 2009. Т.78. № 3. С. 248.
  7. Семиколонов В. А. // Успехи химии. 1992. Т. 61, № 2. С. 320.
  8. Deghedi L., Basser J.M., Candy J.P. etc. // Chemical Engineering Transactions. 2009. № 17. P. 31.
- Пивоненкова Л.П., Чекова О.А., Милицин И.А. и др. Никелевый катализатор гидрирования на носителе и способ приготовления модифицированного никелевого катализатора на носителе: Патент РФ № 2095136.

## СЕКЦИОННЫЕ ДОКЛАДЫ

### NOVEL NATURAL OXYGEN CARRIERS SUCH AS SEWAGE SLUDGE ASHES USED FOR EFFECTIVE CHEMICAL LOOPING COMBUSTION PROCESS

*Ewelina Ksepko, Ph.D.*

*Institute for Chemical Processing of Coal, 1 Zamkowa, 41-803 Zabrze, Poland*

*Tel: + 48 32 271-00-41 ext. 228, E-mail: ksepko@ichpw.zabrze.pl*

*Grzegorz Labojko, Ph.D.*

*Marek Sciazko, Ph.D.*

#### Abstract:

The presented paper encloses results of study on novel combustion technology named chemical looping combustion (CLC). The main purpose was to prepare innovative and low cost materials as effective oxygen carriers. Multi-cycle CLC tests in thermogravimetric analyzer combined with mass spectrometer utilizing both solid and gaseous fuels were conducted. One cycle test at 900°C showed that oxygen transported by sewage sludge ashes successfully reacted with coal. The released oxygen was fully used for coal combustion. Three cycle CLC test at temperature range of 600-900°C for hydrogen or methane used as fuel, indicated that stable performance during the test was attained. Oxygen transport capacity has strongly varied depending on process temperature.

The fractional conversions were calculated, as well. Oxidation reaction took about 2 minutes and was much faster than reduction. Moreover, only the low agglomeration tendency was observed during cyclic test. What is interesting, the high mechanical strength studied in fluidized bed reactor with attrition index of 1% after the 5 hours test was found, as well as high melting temperature was observed. It is expected that sewage sludge ashes might be successfully used in CLC as low cost and suitable oxygen carrier.

#### Introduction

Chemical looping combustion is an answer for a need to reduce carbon dioxide emission. In the process of fuels combustion or gasification in a system with oxygen looping, the agents supplying oxygen for the fuel conversion are oxides or their mixtures obtained on the basis of various metals oxides. Many potential oxygen carriers are known, including various compositions of copper, manganese, iron, cobalt or nickel oxides used as active materials and aluminium oxide, titanium dioxide, zirconium dioxide, used as an inert material.

There are many challenges associated with direct CLC of coal using oxygen carriers. The oxygen carrier should have a sufficient combustion rate suitable for various reactor systems, sufficient oxygen release capacity enabling the coal-oxygen carrier interactions, stable reactivity during multiple cycles. High attrition resistance and high melting points would be highly beneficial. Recently, the researchers are focusing attention on natural oxygen carriers typically ores, mineral, concentrates from minerals because their lower cost comparing to synthetic oxygen carriers.

The objective of the work was preparation of low cost oxygen carriers such as sewage sludge ash and their application for oxygen transfer in chemical looping combustion.

#### Experimental Section

Preparation of sewage sludge ash sample. The sewage sludge samples were provided from sewage treatment plant for 100 thousand inhabitants from Upper Silesia region in Poland. The ash from sewage sludge was prepared according to standard procedure by complete combustion in oven. For comparison purposes synthetic sewage sludge ash was prepared in the same way. Thermo gravimetric analysis (TGA). TGA experiments were conducted in a Thermal Analyzer (Netzsch STA 409 PG Luxx) coupled with QMS (403C Aeolos). In TGA weight change of the various metal oxide oxygen carriers was measured isothermally as a function of time. Two-three reduction/oxidation cycles were conducted to determine the stability and reactivity of oxygen carriers. A 3% H<sub>2</sub> or 3% CH<sub>4</sub> balanced by argon was used for the reduction segment, while air was utilized for the oxidation segment. In general, to understand temperature effect measurements were carried out at temperature 600-900°C. The coal combustion test were carried out at 1000°C. The fractional conversions (fractional reduction and fractional oxidation) were calculated utilizing the second cycle TGA data. The fractional conversion (X) is defined as follows:

$$\text{Fractional Reduction (X)} = (M_{\text{oxd}} - M) / (M_{\text{oxd}} - M_{\text{red}}) \quad (1)$$

$$\text{Fractional Oxidation (X)} = (M - M_{\text{red}}) / (M_{\text{oxd}} - M_{\text{red}}) \quad (2)$$

Where M is the instantaneous weight, M<sub>oxd</sub> is the weight of a completely oxidized sample in TGA (maximum weight after oxidation), and M<sub>red</sub> is the weight of completely reduced sample in TGA (minimum weight after reduction with synthesis gas).

X-ray powder diffraction XRD. X-ray Diffraction patterns of sewage sludge ashes, was carried out using a Pan Analytical X'Pert pro X-ray diffractometer with Cu K $\alpha$ ,  $\lambda = 1.54056 \text{ \AA}$  radiation. The diffraction patterns were obtained in the  $2\theta$  range 10-80° while ICSD data base was used for identification of the phase. Inductively coupled plasma ICP. The chemical composition was tested by the ICP-OES, Thermo ICAP 6500 in accredited laboratory. Particle size distribution analysis. Malvern Mastersizer 2000 particle analyzer was used for particle size distribution analysis. Determination of melting behavior. The pellet was placed in an oven (PR 25/1750/PIE) and to 1650°C in CO while observing the melting

behavior. Average shrinking, deformation, hemisphere and flow temperatures were determined during the second stage of heating. Attrition was studied in fluidized bed BAT by Vinci-Technologies according to ASTM method D5757-95.

### Result and discussion

Reaction Performance of CLC Reaction of natural sewage sludge ash with hydrogen at 600-800°C. In order to evaluate the performance stability of the natural sewage sludge ash oxygen carrier, three reduction and oxidation cycles were conducted in TGA for within the temperature range 600-800°C with hydrogen (3% $H_2$ /Ar). TGA results are shown in Figure 1.

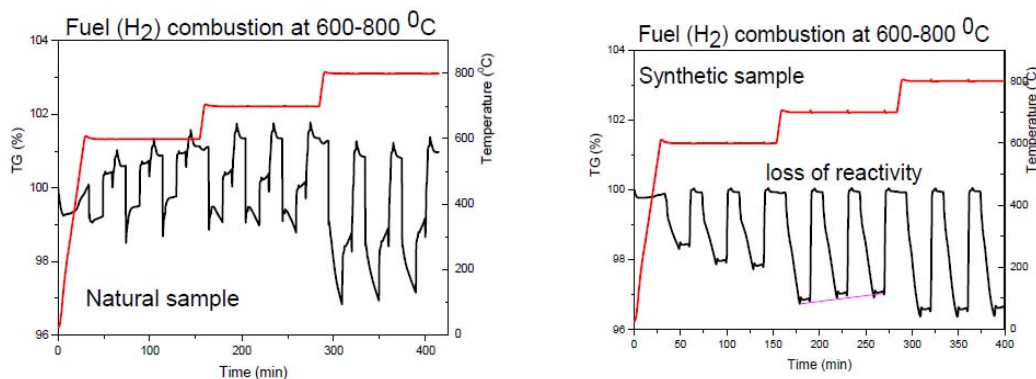


Figure 1. Three-cycle reduction (3% $H_2$ ) /oxidation (air) TGA data for natural and synthetic sewage sludge ash at 600 - 800 °C

After the first cycle some loss of the mass during heating occurred. That may be due to water lost and was additionally supported by mass spectrometer data. Stable reactivity was observed during the three-cycle test at 600°C. Similar results were obtained at 700°C and 800°C. The CLC activity of synthetic sewage sludge ash was also tested at 600-800°C for three cycles, and a continuous increase in reactivity was observed at 700°C during three cycles.

The fractional conversions (reduction and oxidation) were calculated utilizing the second cycle of TGA data. The plots of fractional reduction and oxidation of sewage sludge ash as a function of time at 700°C is shown in Figure 2.

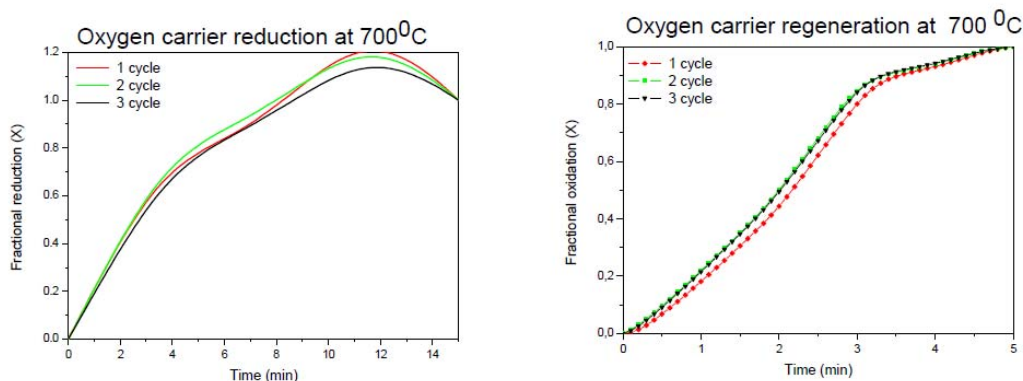


Figure 2. Fractional reduction and oxidation as a function of time for sewage sludge ash at 700°C

As Figure 2 shows that the rapid reduction reaction of ash takes place within two minutes with hydrogen. Then some decrease of reaction rates is visible. It is not clear why the reaction slows down. Interesting is the fact that more or less the stability of fractional reduction for the all three cycles is the same. However, the temperature raises the sample shows more stable performance. In this study, sewage sludge ashes species demonstrating stable activity and no deactivation. The similar results were obtained for synthetic sewage sludge ash but a continuous small decrease in reactivity was observed during three cycles at 700°C. That behavior may be attributed to interaction of hematite and silica. The XRD data supported that fact has taken place. The observed formation of iron silicate at high temperature during reduction stage indicating and there will be not available the same amount of reactive hematite for next redox cycles. In natural sewage sludge ash the presence of other natural occurring elements prevents decreasing reactivity.

What is interesting that the higher temperature the higher oxygen content might be released from oxygen carrier structure in both samples. The data indicates that oxygen capacity might vary from 1 to 4 wt%, with slight better performance for natural oxygen carrier at lower temperatures than for synthetic. However, at 800°C both materials show the same oxygen carrying capacity.

Reaction Performance of CLC Reaction of natural sewage sludge ash with hard coal. As a one of the option is direct coal combustion for CLC, the one cycle TGA reduction/oxidation tests were performed. While, direct combustion of metaloxide and carbon is thermodynamically favorable under high temperature the combustion was proceed at 1000°C .

Hard coal was mixed physically with the sewage sludge ash sample. The weight profile and reaction rate obtained by differentiating mass data for combustion of coal with sewage sludge ash in the TGA showed the sharp mass decrease in the beginning of reduction reaction which corresponds to water, where coal dehydration takes place. Second mass decrease corresponds to hard coal volatilization reaction with the maximum rate at 612°C and coal combustion with maximum rate at 826°C.

The rate of oxidation is comparatively as fast as rates reduction reaction. The weight gain during the regeneration reaction is consistent with the amount of oxygen present in the natural sewage sludge ash sample, which indicates that the reduced oxygen carrier might be oxidized. In order to obtain full combustion at an appreciable rate, the suitable reaction temperature, the appropriate amount of oxygen carrier has been used as well as good surface contact between carrier and coal has to be provided. In other case, low reaction rates might be expected.

Characterization of Oxygen Carrier Particles by XRD and ICP. XRD patterns of used and fresh oxygen carriers samples were recorded at room temperature after reaction with fuel. The powder diffraction data and ICP displayed that  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  and  $\text{SiO}_2$  have been the main components. Additionally, the XRD data did not show any phase transformation that may not occurred after regeneration. That means that natural oxygen carrier successfully maintain their crystal structure both under multiply reduction oxidation cycles within high temperature.

Melting behavior and attrition testing. What is interesting, the natural oxygen carrier showed extremely high melting temperatures above 1000°C. Noteworthy, the five hour attrition testing according to ASTM method showed the low attrition index as low as 1%. This indicates that sewage sludge ash might be extremely attrition resistant, because high mechanical strength parameter was observed.

#### Conclusions

This paper was aimed at the use of a sewage sludge inorganic fraction as an oxygen carrier in chemical looping. Multiply reduction and oxidation cycles in high temperature by using TGA instrument showed that inexpensive material might be practically applied in CLC system. Ashes from sewage sludge possess reasonable oxygen transport capacity of 3.5-1.5 weight % (at 800°C) and showed good regeneration ability. Moreover, excellent physical properties suitable for fluidized bed process were also found.

#### Acknowledgement

Work partially founded by the Polish Ministry of Higher Education and Science within grant No 5/PMPP/U/1-09.10/E-134/2011.

## EFFECT OF INCREASED PRESSURE IN $\text{CO}_2$ REACTIVITY OF COALS

*Zbigniew Robak, Slawomir Stelmach, Andrzej Mianowski*

*Institute for Chemical Processing of Coal (IChPW), 1 Zamkowa St., 41-803 Zabrze, Poland*

#### Abstract

New research stand for testing of  $\text{CO}_2$  reactivity of coals under increased pressure has been designed and constructed in Institute for Chemical Processing of Coal. In the first phase of studies, measurements procedure have been elaborated, which consist of two steps. In the first step, char from studied coals by pyrolysis in temperature higher than temperature of reactivity measurement is obtained. Measurements of  $\text{CO}_2$  reactivity is carried out in the second step. In this work results of reactivity determination for three coals have been presented. Processes were carried out at temperatures of 900 and 950°C and pressures of 1.52, 2.5 and 3.4 MPa. Ratio of obtained during measurement level of  $\text{CO}_2$  conversion and extent of conversion in equilibrium state is determined as reactivity coefficient of coal from thermodynamical point of view we can recognize it as thermodynamical efficiency  $\eta$ . It was found that the process of coal char's  $\text{CO}_2$  gasification in experimental conditions was unsteady, far from the theoretical state of equilibrium.

#### Introduction

$\text{CO}_2$  reactivity of coals is a very important parameter which may determine their suitability for the gasification processes. Coal gasification is often conducted at elevated pressures, and therefore it was decided to determine reactivity of coals under conditions simulating nearly operational parameters of real gasification process. New, prototype research stand for testing of  $\text{CO}_2$  reactivity of coals under increased pressure has been designed and constructed in Institute for Chemical Processing of Coal. A new method for the measurement of solid fuel reactivity against carbon dioxide using this apparatus has been developed. This new method takes into account high-pressure and temperature effects. The result of measurement is CO and  $\text{CO}_2$  concentration in flue gas.

#### Equipment and basis of procedure

The research stand for determination of coal reactivity consist of electric furnace, pressure reactor, system of dosing, flow of  $\text{CO}_2$  regulation, pressure control system and also CO/ $\text{CO}_2$  on-line analyzer (SICK S-700). Scheme of research stand is presented in Figure 1.

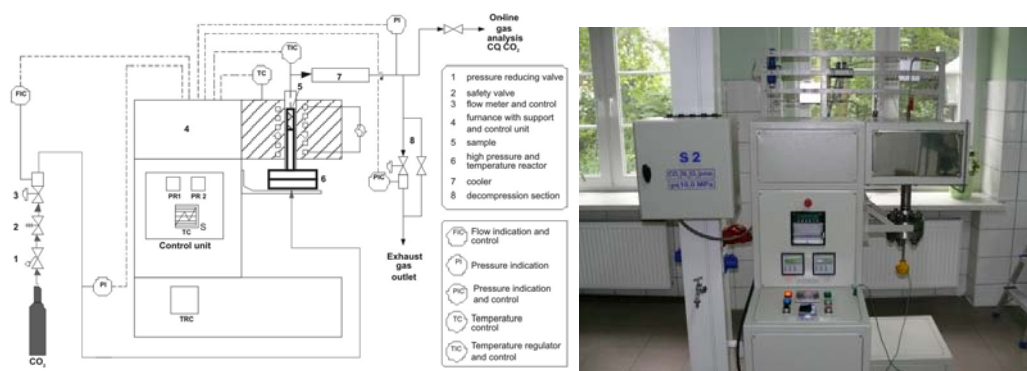


Figure 1. Research stand for determination of coal reactivity in increased pressure.

Carbon dioxide is supplied from the bottle through a reduction valve (1) at the established flowrate, set by means of the controller (9), to the pressure pipe reactor (6) placed vertically in an electric oven (4). In the initial zone of the reactor (6), filled in with the ceramic balls to increase thermal capacity of the system, carbon dioxide is heated up to the required temperature. Afterwards it is transferred to the reaction zone where the cylinder barrel (5) is placed. The cylinder contains an precisely weighed sample of the char. The product gas leaving reactor flows through the pipe cooler (7), where the gases are cooled down, and then flows through the pressure regulation system (9), which also constitutes the pressure expansion system. After the cooling down process and pressure expansion, the product gas is directed to the on-line connected gas analyzer that measures concentrations of CO, CO<sub>2</sub> and O<sub>2</sub>. Process data (temperature, pressure, composition of the product gases) are gathered in a data collection system with the possibility for export into an Excel spreadsheet. A principle of measurements based is on endothermic and reversible Boudouard reaction which, in chemical terminology, is defined as carboxy reactivity:



For reaction (1), from both a thermodynamic point of view and from the Le Chatelier-Brauns principle ( $\Delta v = 2 - 1 = +1$ ), an increase in pressure results in a shift of the reaction equilibrium to the left (in the direction of the reactants); however, because of mechanism of Boudouard reaction can be complicated depend from different characteristics of the carriers of carbon in chars increased pressure is sometimes aids the reaction [1].

Determination of reactivity is made for sample of char obtained from investigated coal in equal, repeatable conditions, temperature of carbonization should be higher then measurement temperature. Conditions of reactivity measurements are given below:

- Maximal pressure in pressure reactor is 5 MPa,
- Temperature: to 950°C,
- Mass of sample about 5g,
- Size grain of sample 1 – 3,15 mm,
- Time of reaction: 30 – 45 min (for obtaining constant concentration of CO and CO<sub>2</sub>),
- Flow rate of CO<sub>2</sub>: 22 g/h (half of mol),

The procedure of measuring the reactivity of coal (char) in conditions of elevated pressure by means of the above-described research stand is as follows:

- o procurement of the char of the tested coal in accordance with the procedure accepted in ICHPW that comprises a temperature program and corresponds to the flowrates of the inert gas during pyrolysis;
- o pumping of carbon dioxide at an increased flowrate (in relation to the rate applied during process) through the cold sample bed to evacuate the air until the oxygen concentration drops below 1%;
- o setting of the established CO<sub>2</sub> flow and pressure during measurement (of the reactivity) and switching on the oven to reach the assumed test conditions;
- o observation of concentration changes of CO and CO<sub>2</sub> after the final, assumed test temperature is reached until the readings of the analyzer stabilize on one level (with a deviation of up to ±3%), approximately 30–45 minutes after the temperature of the test has been reached.

Ratio of obtained during measurement level of CO<sub>2</sub> conversion and extent of conversion in equilibrium state is determined as reactivity coefficient of coal from thermodynamical point of view we can recognize it as thermodynamical efficiency  $\eta$  [2].

$$\eta = \frac{\alpha_m}{\alpha_{eq}} \quad \begin{array}{l} p = \text{const.} \\ t = \text{const.} \end{array} \quad (2)$$

For the integral form of the kinetic equations the kinetic (dependent) variable is the level of CO<sub>2</sub> conversion:

$$\alpha = \frac{1 - [CO_2]}{1 + [CO_2]} \quad \text{for } 0 \leq [CO_2] \leq 1 \quad (3)$$

Extend of conversion in equilibrium state may be calculated from equation (4):

$$\alpha_{eq} = \left[ \frac{\exp\left(\frac{-20744,5}{T} + 21,3\right)}{4P - \exp\left(\frac{-20744,5}{T} + 21,3\right)} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

## Results of experiments

The aim of the work was to determine the effect of pressure on Boudouard reaction and simultaneously CO<sub>2</sub> reactivity of selected Polish coals. For studies two hard coals and one brown coal was used. The main properties of studied coals and chars obtained for measurements of reactivity as given in table 1.

Table 1. Properties of studied coals as well as chars obtained in received conditions.

|                                                    | Hard coal 1 |       | Hard coal 2 |       | Brown coal |       |
|----------------------------------------------------|-------------|-------|-------------|-------|------------|-------|
| Parameter                                          | Coal        | Char  | Coal        | Char  | Coal       | Char  |
| Content of moisture, W <sub>t</sub> <sup>f</sup>   | 12,07       | -     | 11,42       | -     | 48,39      | -     |
| Content ash, A <sup>d</sup> , [%]                  | 9,31        | 13,80 | 12,00       | 18,80 | 26,51      | 42,40 |
| Content of volatile matter, V <sup>daf</sup> , [%] | 39,63       | 1,30  | 38,05       | 1,00  | 58,67      | 2,50  |
| C <sub>fix</sub> content, [%]                      | 54,75       | 85,08 | 54,52       | 80,39 | 30,37      | 56,16 |
| Content of C <sup>d</sup>                          | 71,60       | -     | 70,73       | -     | 48,98      | -     |
| Content of S <sup>d</sup>                          | 1,08        | -     | 1,34        | -     | 2,85       | -     |
| Content of H <sup>d</sup>                          | 4,60        | -     | 4,57        | -     | 3,69       | -     |

Measurements of reactivity was made in three values of pressure (1,52; 2,50 and 3,40 MPa) and two temperatures (900 and 950°C).

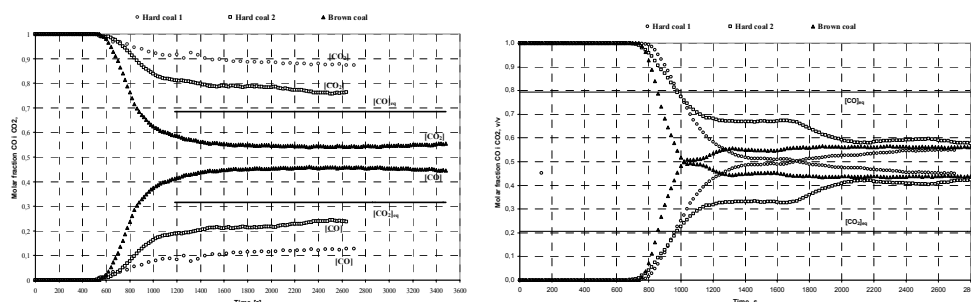


Figure 2. Changes of concentration of CO<sub>2</sub> and CO during tests for 2,5 MPa and temperature 900 and 950 °C

Results of all executed tests and comparison coefficient of reactivity in two temperatures are presented in table 2.

Table 2. Results of reactivity tests for studied coals.

|                                                        | Hard coal 1   |       |       | Hard coal 2   |       |       | Brown coal    |       |       |
|--------------------------------------------------------|---------------|-------|-------|---------------|-------|-------|---------------|-------|-------|
|                                                        | Pressure, MPa |       |       | Pressure, MPa |       |       | Pressure, MPa |       |       |
|                                                        | 1,52          | 2,50  | 3,40  | 1,52          | 2,50  | 3,40  | 1,52          | 2,50  | 3,40  |
| Temperature 900°C                                      |               |       |       |               |       |       |               |       |       |
| Level of conversion $\alpha$                           | 0,072         | 0,068 | 0,075 | 0,116         | 0,129 | 0,142 | 0,350         | 0,298 | 0,332 |
| Level of conversion in equilibrium state $\alpha_{eq}$ | 0,575         | 0,481 | 0,425 | 0,575         | 0,481 | 0,425 | 0,575         | 0,481 | 0,425 |
| Thermodynamical efficiency, $\eta$ , %                 | 12,6          | 25,3  | 17,5  | 20,2          | 26,7  | 33,3  | 60,8          | 61,9  | 77,9  |
| Temperature 950°C                                      |               |       |       |               |       |       |               |       |       |
| Level of conversion $\alpha$                           | 0,263         | 0,378 | 0,303 | 0,164         | 0,265 | 0,241 | 0,313         | 0,391 | 0,467 |
| Level of conversion in equilibrium state $\alpha_{eq}$ | 0,747         | 0,658 | 0,606 | 0,747         | 0,658 | 0,606 | 0,747         | 0,658 | 0,606 |

|                                            |      |      |      |      |      |      |       |      |      |
|--------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|
| Thermodynamical efficiency, $\eta$ , %     | 37,1 | 61,3 | 54,3 | 23,0 | 42,9 | 43,3 | 44,2  | 63,3 | 83,7 |
| Difference between $\eta$ in 950 and 900°C | 24,5 | 36   | 36,8 | 2,8  | 16,2 | 10   | -16,6 | 1,4  | 5,8  |

Analysis of first series of tests in temperature 900°C shown, that influence of pressure for run of reaction is rather small. Second series of tests in increased temperature 950°C lets observe stronger influence of pressure for reactivity of studied coals. Chosen results of studies are presented by graphic mode on fig. 2.

#### Summary

Received results confirm that crossing of both temperature and pressure influences for run of Boudouard reaction is very complicated. Pressure is a very important factor in the technological processing of solid fuels because of the very different and variable characteristics of the solid carriers of carbon. Influence of pressure on CO<sub>2</sub> reactivity for studied coals is diverse for tested coals but we can observe some trends for individual samples (see table 1). For the sample of hard coal 1 in temperature 900°C as well as 950°C “mixed” influence of pressure was observed. For the hard coal 2 we can see increasing of CO<sub>2</sub> reactivity (thermodynamical efficiency) for higher pressure in both measurement temperatures but with difference slot. Interesting dependence for the brown coal can be observed because CO<sub>2</sub> reactivity in pressure 1,52 MPa for temperature 900°C is higher then in 950°C, for higher pressure reactivity with temperature increase.

Analysis of the results obtained for studied samples of coals permit for below conclusions.

1. The new, prototype research stand in Institute for Chemical Processing of Coal give good possibility for evaluation of coals usefulness for gasification process also in increased pressure conditions.
2. Index of coals reactivity defined as thermodynamical efficiency calculated as ratio of maximal extend of CO<sub>2</sub> conversion (obtained in conditions of measurement) and extent of conversion in equilibrium state show distance of reaction from equilibrium state.
3. Better results of coals evaluation are received in higher temperature of measure. Reactions run closer to equilibrium state.
4. Results of reactivity determination can be used for further kinetic analyses of reversible Boudouard – Bell reaction.

#### References:

1. A.Mianowski, Z.Robak, M.Tomaszewicz, S.Stelmach, The Boudouard-Bell reaction analysis under high pressure conditions, J Therm Anal Calorim., in press.
2. Szarawara J. Termodynamika chemiczna stosowana. Warsaw: WNT; 2007 p.405 (In Polish)

#### Acknowledgments:

The studies and paper has been made in the framework of a key project POIG (Program Operacyjny Innowacyjna Gospodarka - Innovative Economy Programme) "Intelligent Coking Plant fulfilling requirements of the best available technique" co-financed by the European Regional Development Fund (ERDF).

**УДК 662.74**

## **СЫРЬЕ ДЛЯ УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ ПРОДУКТОВ ПЕРЕРАБОТКИ УГЛЕЙ**

***Е.И. Андрейков, Институт органического синтеза им. И.Я. Постовского  
УрО РАН, ФГУП ВУХИН, Екатеринбург***

Переработка ископаемых углей является основным направлением получения исходного сырья для современных углеродных материалов (УМ). Традиционным продуктом, широко используемым в производстве УМ, является каменноугольный пек (КП), остаток дистилляции каменноугольной смолы. КП в больших количествах используется для производства пекового кокса, как связующее в производстве анодов для алюминиевых электролизеров и электродов для электрометаллургии. КП применяется также для получения прогрессивных УМ: углерод/углеродных композитов, углеродных волокон, углеродных пен, самоспекающихся мезофазных порошков, анодов для литиевых батарей и электродов для суперконденсаторов. Объем производства последних материалов относительно невелик, но для него, в большинстве случаев, требуется модифицирование КП, производимого промышленностью.

Для получения КП из слабопиролизированных каменноугольных смол, а также КП с повышенной температурой размягчения (Т<sub>р</sub>) на коксохимических предприятиях РФ используется термоокислительная обработка КП после испарителя каменноугольной смолы, варианты которой редставлены на рис.1 [1].

На использование КП для получения УМ оказывают влияние снижение выработки каменноугольной смолы вследствие уменьшения производства металлургического кокса и возможного перехода на новые коксовые батареи с полным сжиганием летучих продуктов, канцерогенность КП и присутствие в нем твердых частиц ( $\alpha_1$ -фракции).



Пути решения этих проблем являются разработка низкоканцерогенных нефте/каменноугольных пеков и пеков на основе фракций каменноугольной смолы, получение сырья для УМ растворением углей и модификация КП.

*Низкоканцерогенные пеки.* Нефте/каменноугольные пеки с пониженным содержанием канцерогенных полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), получаемые компаундированием нефтяных пеков и КП, предложены в качестве связующих пеков для самообжигающихся анодов [2]. Нефте/каменноугольные пеки также могут быть получены, минуя отдельное производство нефтяного пека, путем совместной дистилляции каменноугольной смолы и тяжелой смолы пиролиза этиленовых производств на действующих установках переработки каменноугольной смолы [3,4]. Разработан процесс получения не содержащего твердых частиц пекоподобного материала с пониженным содержанием ПАУ путем термоокислительной конденсации антраценовой фракции [5].

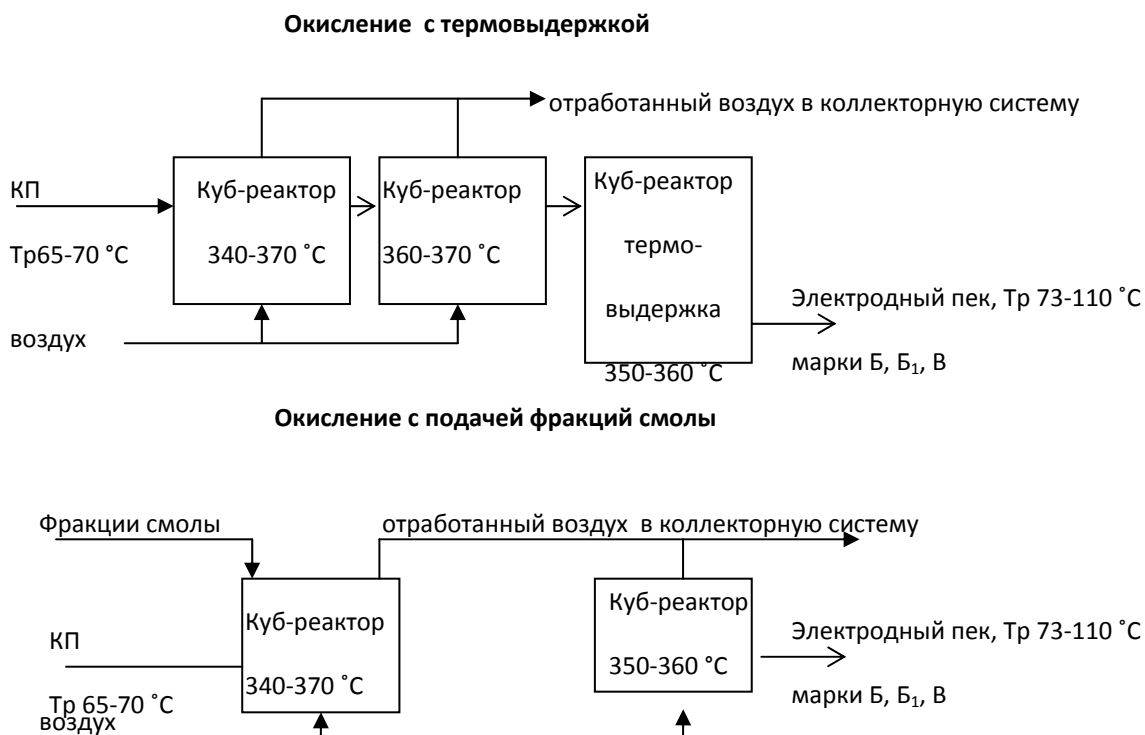


Рис. 1. Термоокислительная обработка КП

*Получение сырья для УМ термической экстракцией углей.* Схема термической экстракции углей для получения пеков с различной температурой размягчения или пекового кокса приведена на рис. 2.

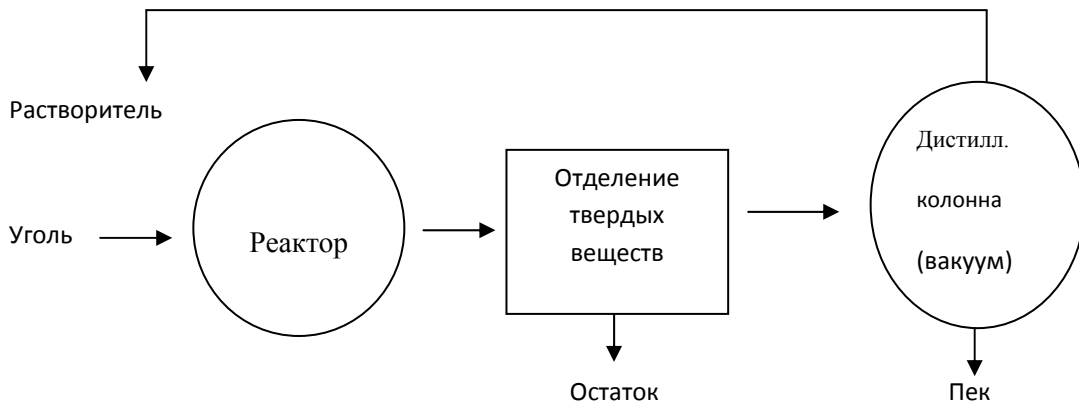


Рис. 2. Схема термической экстракции углей с целью получения сырья для УМ

В процессе используются битуминозные угли и в качестве растворителя, который находится в цикле, антраценовая фракция или ароматизированные фракции нефтепереработки [6,7]. Процесс обработки угля осуществляется в относительно мягких условиях: температура 410 °С, давление 1,4 МПа, отношение растворитель:уголь 2:1 и продолжительность 1 час; конверсия угля может достигать 80-90 % [6]. После деполимеризации ароматические фрагменты макромолекул органической массы угля переходят в экстракт и далее в пек. В зависимости от условий на стадии отгонки циркулирующего растворителя могут быть получены пеки с различной температурой размягчения или пековый кокс. В отличие от технологий ожижения углей для получения жидкого топлива, получение из углей сырья для УМ не требует применения высоких давлений, водорода и катализаторов и может быть рентабельно при относительно небольших объемах производства при рациональном выборе исходных углей.

Коксы, полученные из экстрактов углей, по сравнению с нефтяным коксом, содержат значительно меньше серы и металлов, оказывающих отрицательное влияние на свойства анодов для получения алюминия.

Экстракционные пеки не содержат твердых частиц ( $\alpha_1$ -фракции), которые характерны для КП, и могут использоваться как в качестве пеков – связующих, так и исходного сырья для получения углеродных волокон, углеродных пен, углеродных молекулярных сит, мезофазных микросфер и других УМ, вместо КП.

*Модифицирование КП.* Целью модифицирования КП, получаемого на установках переработки каменноугольной смолы коксохимических предприятий, является повышение потребительских свойств электродных пеков, используемых в производстве анодной массы и графитированных электродов, и получение специальных видов пека для производства различных углеродных материалов. Способы модифицирования можно условно разделить на физические и химические.

К первому способу относятся: “пластификация” пеков низкомолекулярными соединениями, оказывающая влияние на реологические свойства пека и адсорбционное взаимодействие с наполнителями; компаундирование пеков, модифицирование свойств пека добавками мелкодисперсных углеродистых материалов, в том числе, наноразмерных, и очистка от  $\alpha_1$ -фракции.

При химическом модифицировании термообработкой в присутствии реакционноспособных соединений компоненты пека вовлекаются в реакции окисления, переноса водорода, полимеризации и поликонденсации, преимущественно с участием свободных радикалов, что приводит к изменению химического состава и молекулярного распределения пековых составляющих. Эти изменения определяют реакционную способность пека при его термической переработке, оказывая влияние на скорость образования и свойства мезофазы, выход и свойства конечного углеродного материала. Широко применяются термическая и термоокислительная обработка КП. Перспективным направлением химического модифицирования является проведение в жидких пеках, как растворителях [8], термической деструкции веществ макромолекулярной природы, в том числе, отходов синтетических полимеров. Незначительное содержание в КП веществ, выделяющихся при температурах до 380°С, позволяет осуществить этот процесс при атмосферном давлении.

Основными химическими процессами, инициируемыми термической деструкцией полимеров в КП, являются перенос водорода от пека к радикальным промежуточным соединениям и конечным продуктам деструкции с двойными связями и присоединение продуктов деструкции к компонентам пека [9,10]. Первый процесс приводит к поликонденсации компонентов КП, увеличению содержания высокомолекулярных фракций и температуры размягчения пека. Присоединение к компонентам пека структур с алифатическими группами увеличивает его реакционную способность в термических реакциях. Соотношение между этими процессами сильно зависит от температуры процесса обработки КП с полимерами.

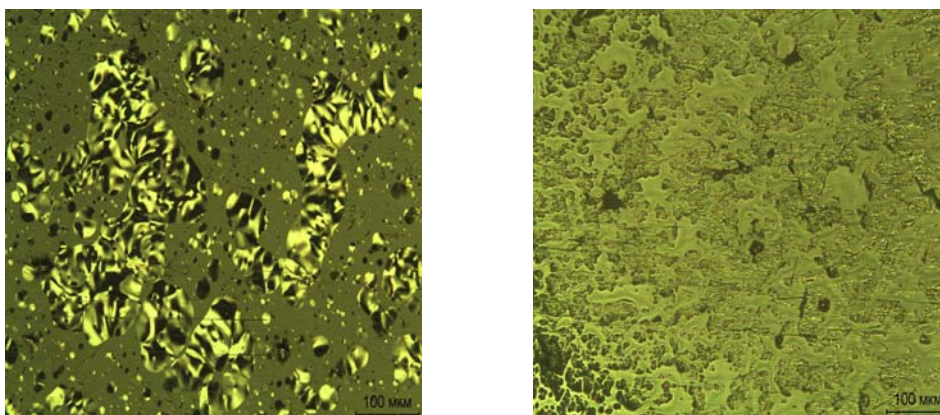


Рис. 3. Оптические микрофотографии полукоков, полученных при 440 °С из КП, термообработанного с полистиролом (А - термообработка при 360 °С, Б - термообработка при 380 °С)

Как видно из рис. 3, условия модификации КП полистиролом, оказывают сильное влияние на процессы образования мезофазы и структуру карбонизата при коксовании модифицированного пека.

Очевидно, что различные способы модификации, разработанные для КП, могут быть применены также для пеков, полученных экстракцией углей.

#### Список литературы:

1. Андрейков Е.И., Куркин В.В. Совершенствование производства каменноугольного пека // Кокс и химия. 2006. № 3. С. 47-49.
2. Perez M. et.al. Preparation of binder pitches by blending coal-tar and petroleum pitches // Light Metals. 2001. P. 573.
3. Андрейков Е.И., Красникова О.В., Амосова И.С. Получение нефтекаменноугольных пеков совместной дистилляцией каменноугольной смолы и тяжелой смолы пиролиза // Кокс и химия. 2010. № 8. С. 39-46.
4. Красникова О.В. и др. Пеки с пониженным содержанием ПАУ для анодной массы / Тезисы докладов. Шестая международная конференция Углерод: фундаментальные проблемы науки, материаловедение, технология. Троицк. 28-30 октября 2009. С. 164.
5. Alvares P. et al. Preparation of low toxicity pitches by thermal oxidative condensation of anthracene oil // Environ Sci Technol 2009. V. 43. P. 8126-32.
6. Andrews R.J. et al. Mild coal extraction for the production of anode coke from Blue Gem coal // Fuel 2010. V. 89. P. 2640-47.
7. Okuyama N. et al. Hyper - coal process to produce the ash-free coal // Fuel Proc. Technol. 2004. V. 85. P. 947-967.
8. Polaczek J., Pielichowski J., Lisicki Z. Coal tar pitch as a high-boiling solvent for polymers // Fuel. 1987. V. 66. P. 1556-1557.
9. Андрейков Е.И., Ляпкин А.А., Амосова И.С. Модификация каменноугольных пеков термообработкой с поливинилхлоридом // Журнал прикладной химии. 2009. Т. 82. Вып. 9. С. 1523-1528.
10. Андрейков Е.И. и др. Пиролиз полистирола в каменноугольном и пиролизном пеках // Журнал прикладной химии. 2011. В печати.

УДК 52.53.55. 56

### ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЗЕМНОЙ СФЕРЫ НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ЗЕМНОЙ КОРЕ

*Г.М. Белокуров, Институт углехимии и химического материаловедения СО РАН г. Кемерово*

На основе электрических параметров земной сферы представлена новая модель механизма происхождения вулканов и предложено новое направление в исследовании угольных разработок, с целью повышения безопасности работы в шахтах.

On the basis of electric parameters of Earth's sphere new model of volcanoes origin mechanism is presented and with the purpose of work safety increasing in mines new direction of coal workings investigation is offered.

Считается, что познание природы электрического заряда Земли относится к специалистам в области атмосферных процессов. В докладе доказываю, что атмосферные электрические процессы явления имеют тесную связь с глубинными геофизическими и химическими процессами. В начале доклада краткий обзор механизма происхождения заряда Земли в современных теориях.

В таблице № 1 представлены цифры, которые известны со школьной программы. Особое внимание следует обратить на последнюю строчку в этой таблице. Именно параметра гидросферных токов меняют отношение к разработанным в прошлом веке теориям о атмосферном электричестве.

Таблица № 1.

|   |                                                              |                        |                   |
|---|--------------------------------------------------------------|------------------------|-------------------|
| 1 | Земля имеет постоянный отрицательный заряд                   | $5,7 \cdot 10^5$       | Кл                |
| 2 | Средняя поверхностная плотность электрического заряда Земли  | $1,15 \cdot 10^{-9}$   | Кл/м <sup>2</sup> |
| 3 | Напряженность электрического поля над поверхностью Земли     | 130                    | В/м               |
| 4 | Плотность электрического тока в атмосфере при хорошей погоде | $(2-3) \cdot 10^{-12}$ | А/м <sup>2</sup>  |
| 5 | — “ — при спокойных дождях                                   | $10^{-7} - 10^{-6}$    | А/м <sup>2</sup>  |
| 6 | — “ — при грозовых ливнях                                    | $10^{-4}$              | А/м <sup>2</sup>  |
| 7 | Плотность электрического тока в гидросфере                   | $10^{-2}$              | А/м <sup>2</sup>  |

Изучение атмосферного электричества началось в 18 веке. С середины 19 века начались усиленные попытки практического освоения атмосферного электричества, и вначале 20 были получены существенные экспериментальные результаты. Но реализовать их практически не было возможности из-за отсутствия соответствующих технологий по преобразованию высоковольтной слаботоочной энергии к промышленным параметрам.

Было разработано множество теорий, объясняющих существование атмосферного электричества. Наибольшее признание получили теории английского учёного Ч. Вильсона и советского учёного Я. И. Френкеля, согласно которым отрицательный заряд Земли генерировался в грозовых областях за счёт поляризации облаков и их взаимодействием с Землёй. Но анализ грозовой статистики показывает, что молнии на четыре порядка больше уносят электронов с Земли, чем возвращают. Ни одна теория не объясняет природу токов в гидросфере, направление которых совпадает с атмосферными токами, а плотность, как минимум, на два порядка больше максимальных атмосферных. Именно грозовые разряды являются той дополнительной ветвью в электрической цепи, которая разницу токов, наблюдаемую на границе гидросферы и атмосферы, приводит в соответствие с законом Кирхгофа.

Существование гидросферных токов свидетельствует, что электрические свойства планеты не объясняются только атмосферными процессами. Глубинные геофизические процессы также участвуют в формировании электрического поля Земли.

Многолетние поиски генератора и ветви электрической цепи, по которой этот генератор закачивает в Землю огромный отрицательный заряд, не дали положительных результатов. Но факт существования атмосферных и гидросферных токов свидетельствуют, что Земля является генератором электронов. Этот вывод пришлось принять как аксиому, которая дала неожиданный толчок к реальному объяснению множества электрофизических процессов и явлений, существующих в природе (табл. 2). Это множество выстраивается в единый логический ряд, доказывающий реальность этой аксиомы. Рассмотрим два примера из приведённых в таблице № 2.

Таблица № 2.

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Процессы и явления, перечисленные в таблице, выстраиваются в единый логический ряд, т.к. получают достоверное и убедительное объяснение на основании существующих законов электротехники в рамках модели, что Земля, планеты, Солнце являются генераторами электронов                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• существование магнитного поля Земли и перемещение его полюсов;</li> <li>• рождение залежей полезных ископаемых из столь однородных магматических выбросов базальта;</li> <li>• существование вулканов по границам конвергентных зон;</li> <li>• разрушение буровых инструментов при сверхглубоком бурении скважин;</li> <li>• механизм рождения циклонов и вихрей торнадо в циклонических зонах;</li> <li>• молнии;</li> <li>• спрайты, джеты и эльфы – высотное продолжение грозовых разрядов;</li> <li>• полярные сияния Земли и других планет;</li> <li>• кольцевая форма полярных сияний вокруг полюсов;</li> <li>• полярные озоновые дыры;</li> <li>• ионосфера;</li> <li>• магнитные бури;</li> <li>• искажение формы магнитного поля Земли в космосе под воздействием Солнечного излучения;</li> <li>• эффект Тунгусского метеорита;</li> <li>• существование хвостов у комет;</li> <li>• разрушение комет под воздействием Солнечного излучения;</li> <li>• существование колец у Юпитера, Сатурна и Урана;</li> <li>• существование у планет поясов повышенной радиации;</li> <li>• ускоренное вращение экваториальных областей относительно полярных у газовых планет и у Солнца;</li> <li>• рождение тёмных пятен на Солнце и горение факелов по их периметру;</li> <li>• высота и разряжение Солнечной атмосферы, не укладывающиеся в гравитационные зависимости;</li> <li>• тысячекратное превышение температуры солнечной короны над температурой поверхности Солнца;</li> <li>• корональные выбросы Солнца и их воздействие на Землю.</li> </ul> |

В схеме конвергентной границы материковой и океанической плит механизм существования вулканов объясняется разогревом пород давлением на стыке плит. С точки зрения термодинамики такой механизм не является бесспорным.

Предлагаю рассмотреть эту же схему с точки зрения предложенной модели (рис.1), в которой Земля является генератором электронов.

Осадочный слой – хороший проводник. Коренные породы коры – базальты, граниты – это очень хорошие изоляторы. У кристаллических изоляторов сопротивление электрическому току сильно зависит от температуры.

Разница температуры в сотню градусов даёт разницу в сопротивлении изоляции в пределах порядка. Поэтому глубинные слои литосферы имеют проводимость на порядки более высокую, чем верхние.

Для анализа возьмём прилегающая к вулкану площадь океана 10 000 км<sup>2</sup>, которая даёт в суммарный ток, согласно табл. 1, порядка ста миллионов ампер. Это ток по осадочному слою идёт под континентальную литосферу в зону с более высокой проводимостью.

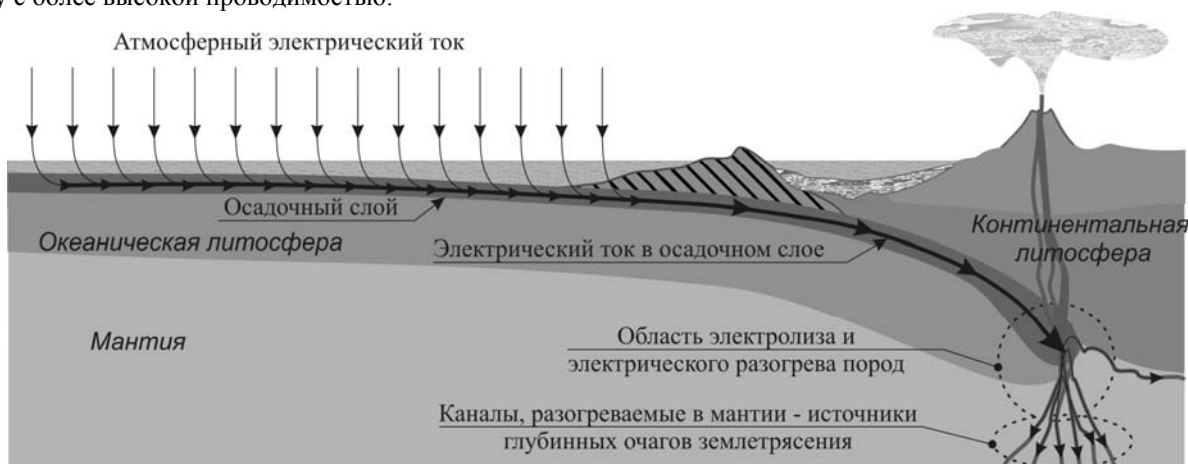


Рисунок 1.

В месте сближения осадочных пород с нижними разогретыми слоями литосферы и с мантией происходит интенсивный разогрев пород электрическим током. Механизм разогрева можно модельно сравнить с горением дуги при электросварке, когда основная энергия выделяется в месте сближения электрода (слой осадочных пород) с конструкцией (мантия). За счёт локального разогрева в мантии образуются трещины, возникновение которых порождает глубинные очаги землетрясения. Расплавленные продукты разогрева поднимаются вверх, образуя вулканы.

В области интенсивного электрического разогрева пород происходит электролитическое разделение расплава. Именно электрический ток является главным создателем того многообразия минералов, обнаруженных в потерявших активность и застывших разломах и вулканах. За счёт электролиза происходило обогащение периферийных областей расплава отдельными элементами и минералами. А иначе, откуда взяться такому разнообразию полезных ископаемых из довольно однородного состава базальта, выбрасываемого вулканами. Со стороны океана расплав обогащается минералами анодного происхождения, со стороны мантии концентрируются минералы катодного происхождения.

Наши учёные выиграли гонку в сверхглубоком бурении потому, что начали бурить на континенте. Скважина становится проводником между осадочным слоем и разогретыми глубинными слоями коры (рис.2). В океанической коре более близкое расстояние до мантии уже на трёх километровой глубине создаются условия, когда электрический ток разрушающий буровые инструменты. В континентальной коре такую силу электрический ток набирает только на двенадцати километровой глубине.

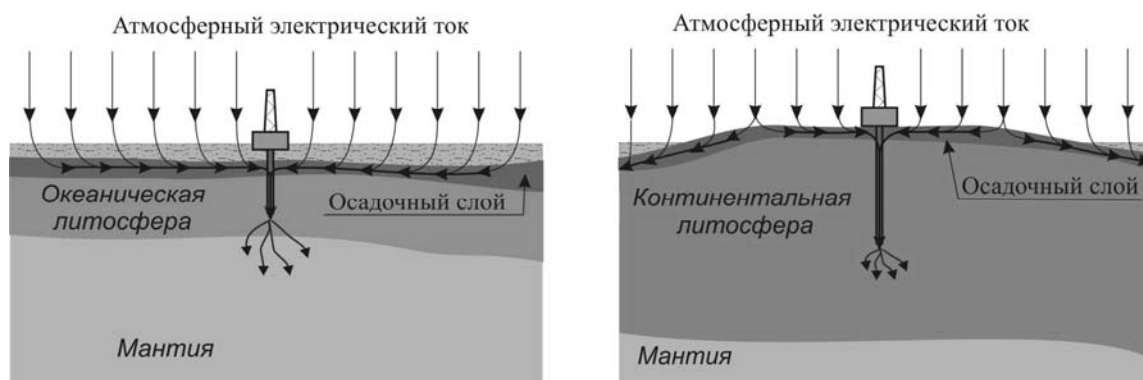


Рисунок 2.

По окончании института я длительное время занимался высоковольтными испытаниями электрооборудования, и поэтому утверждаю, что описание акустических сигналов из Кольской скважины очень точно соответствует звуку, сопровождающих электрический пробой в изоляторах. В зависимости от материала изолятора, характера повреждения, напряжения пробоя, и многих других условий, звуки могут быть свистом, щелчками, шипением, бульканьем.

Полярность электрического тока в скважине как раз такая, что разрушает металлические буровые инструменты электролитическим растворением. Но разрушение инструментов – это малая беда. Человек своими

руками создал действующую мини модель настоящего вулкана. Один взрыв уже прогремел на Кольской сверхглубокой. По представленной модели вулкана можно с большой вероятностью утверждать, что взрывы ещё будут. Но предугадать их как по времени, так и по мощности также трудно, как трудно предугадать, когда проснётся настоящий спящий вулкан.

Предлагаю рассмотреть возможное влияние электрических токов в земной коре на угольные разработки. Строительством шахт человек нарушает сложившееся за миллионы лет динамическое равновесие газовых скоплений в угольных горизонтах. За счёт шахтовых конструкций перераспределяются электрические токи, протекающие по угольным горизонтам. И там, где эти токи усиливаются, происходит более интенсивный разогрев пород. Незначительный разогрев приводит к более интенсивному выделению газов (метана).

Исследование электрической карты угольных залежей позволит более точно определять очаги генерации метановых выбросов. А значит, позволит более эффективно обеспечивать безопасность подземных работ.

Бурение электроотводящих скважин, возможно, переместит очаги электрического разогрева на безопасную глубину, и снизит тем самым интенсивность выделения метана.

УДК 662.749.351+542.925.7:547.53

## ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ КАТАЛИЗАТОР ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ РЕСУРСОВ БЕНЗОЛА В ПРОДУКТАХ ПЕРЕРАБОТКИ УГЛЯ

*А.Г. Бяков<sup>1</sup>, И.Я. Петров<sup>2</sup>, Б.Г. Трясунов<sup>1,2</sup>*

*<sup>1</sup>Кузбасский государственный технический университет,*

*<sup>2</sup>Институт углехимии и химического материаловедения СО РАН*

*e-mail: [baykov79@inbox.ru](mailto:baykov79@inbox.ru)*

В докладе изложен результат исследований  $\text{NiO-V}_2\text{O}_5/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{NiO-V}_2\text{O}_5\text{-MoO}_3/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  катализаторов. Показана возможность переработки различных углеводородов на данных катализаторах. Установлены основные закономерности приготовления катализаторов.

In the report the result of  $\text{NiO-V}_2\text{O}_5/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  and  $\text{NiO-V}_2\text{O}_5\text{-MoO}_3/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  catalysts is stated. Possibility of processing of various hydrocarbons on the given catalysts is shown. The basic laws of preparation of catalysts are established.

Процесс производства металлургического кокса сопровождается выделением жидких продуктов пиролиза, содержащих в своем составе значительные ресурсы бензола, применение которого затруднено из-за наличия в нем гомологов бензола и серосодержащих соединений. Эта проблема может быть решена переработкой данной продукции с применением новых катализаторов.

Цель работы: Установить возможность превращения на катализаторах  $\text{NiO-V}_2\text{O}_5/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{NiO-V}_2\text{O}_5\text{-MoO}_3/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  индивидуальных углеводородов присутствующих во фракции бензол – I. Установить оптимальное количество активных компонентов в катализаторах и условия изготовления катализаторов.

Исследуемые каталитические системы готовились методом пропитки промышленного  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  (марки А-64 ( $S_{\text{уд}}=200 \text{ м}^2/\text{г}$ )) водными растворами димолибдата аммония  $(\text{NH}_4)_2\text{Mo}_2\text{O}_7$ , гексагидрата нитрата никеля  $\text{NiNO}_3\cdot 6\text{H}_2\text{O}$  и метаванадата аммония  $\text{NH}_4\text{VO}_3$  с последующими сушкой ( $120^\circ\text{C}$ , 4 ч) и прокаливанием ( $500^\circ\text{C}$ , 6 ч) после нанесения каждого компонента. Сырьё для исследования описано в [1].

Исследования каталитической активности проводилось на микрокаталитической импульсной установке. Схема установки и методика эксперимента были рассмотрены в [2]

Изучение никель-ванадиевых катализаторов с концентрацией активных компонентов от 1% до 25%, позволило создать никель-ванадиевую каталитическую систему с концентрацией активных компонентов от 1% до 10%. Наиболее эффективное деалкилирование толуола наблюдалось на никель-ванадиевом катализаторе с концентрацией активных компонентов 5% при температуре  $420^\circ\text{C}$  с выходом бензола 25% (Рис.1). При этом селективность процесса была достаточно высокой 34%.

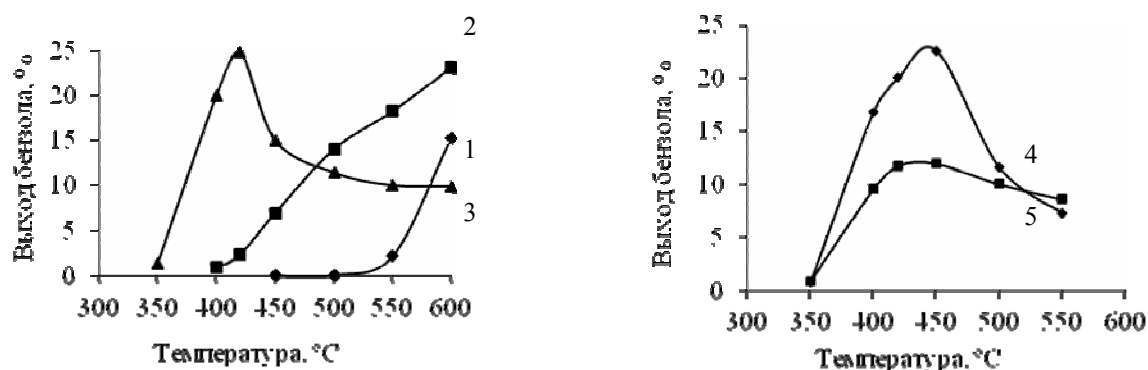


Рис. 1. Температурная зависимость выхода бензола в реакции гидродеалкилирования толуола при концентрации никеля и ванадия на  $\text{NiO-V}_2\text{O}_5/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  в количестве: 1 – 1% и 9%; 2 – 7% и 3%; 3 – 5% и 5%; 4 – 3% и 7%; 5 – 9% и 1%

Так как реальное сырье в своем составе содержит серу, то для усиления обессеривающей активности в состав катализатора был введен  $\text{MoO}_3$ . Проведена оценка концентрации его в каталитической системе и его обессеривающая активность при этом. Установлено оптимальное содержание  $\text{MoO}_3$  в количестве 10% [1]. Исследование влияния оксида молибдена различной концентрации на каталитическую активность никельванадиевого катализатора показало, что введение 10% оксида молибдена снижает каталитическую активность не значительно, выход бензола 23%, селективность около 40%.

Исследована каталитическая активность  $\text{NiO-V}_2\text{O}_5\text{-MoO}_3/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  катализатора в реакции гидродеалкилирования толуола при нанесении активных компонентов катализатора в различной последовательности. Установлено, что лучшей последовательностью нанесения компонентов является последовательность V-Mo-Ni. Выход бензола составляет 23%, селективность ~ 40% (рис.2).

Исследованием влияния степени превращения тиюфена в реакции гидродеалкилирования толуола при нанесении активных компонентов в различном порядке установлено, что порядок нанесения активных компонентов не влияет на обессеривающую активность.

Исследование каталитической активности никельванадиймолибденового катализатора, прокаленного при температуре 500°C и 600°C (рис.3), показало, что оптимальной температурой прокаливания является температура 500°C.

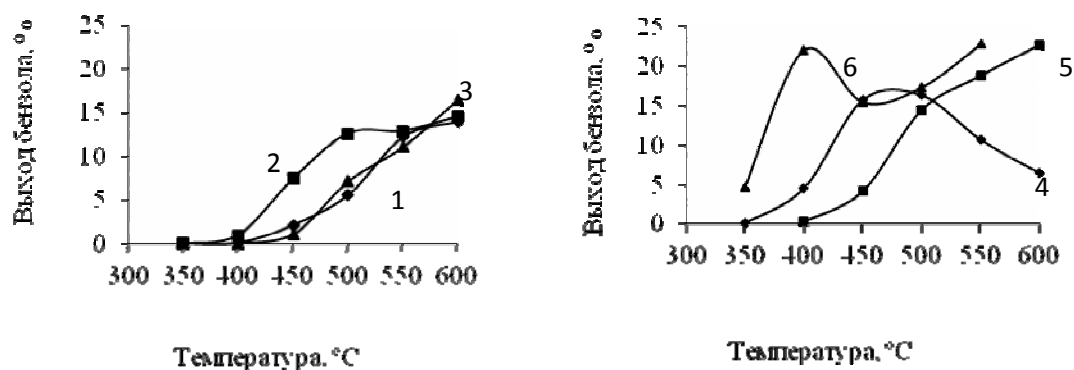


Рис. 2. Зависимость выхода бензола от температуры в реакции гидродеалкилирования толуола при нанесении активных компонентов  $\text{NiO-V}_2\text{O}_5\text{-MoO}_3/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  катализатора в следующей последовательности: 1 – NiVMo, 2 – MoNiV, 3 – NiMoV, 4 – MoVNi, 5 – VNiMo, 6 – VMoNi

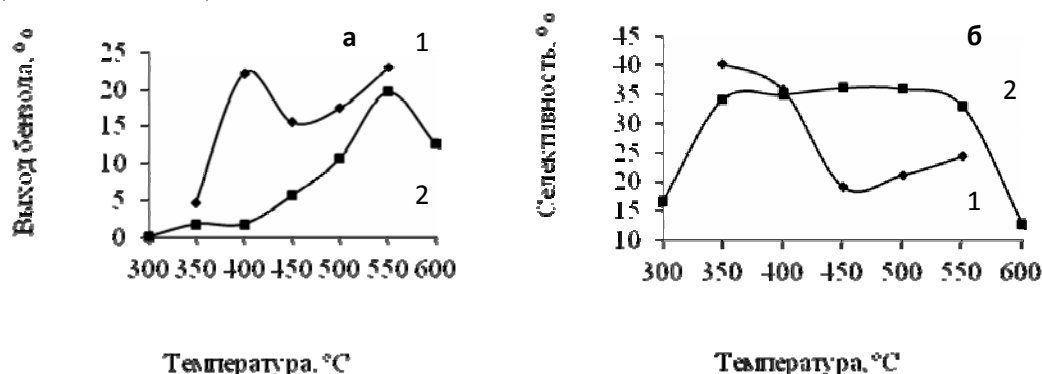


Рис. 3. Зависимость выхода бензола (а) и селективности (б) от температуры на катализаторе 5% NiO - 5%  $\text{V}_2\text{O}_5$  - 10%  $\text{MoO}_3/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ , прокаленного при температуре: 1 – 500°C, 2 – 600°C  
Дана сравнительная характеристика промышленных катализаторов с предлагаемым (табл. 1).



Предлагаемые новые полифункциональные катализаторы на основе нанесенных на  $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  оксидов никеля (II), ванадия (V) и молибдена (VI), способные в относительно мягких условиях ( $T = 400^\circ\text{C}$ ,  $P_{\text{H}_2} = 0,1$  МПа) с достаточно высокой эффективностью осуществлять одновременное гидрообессеривание тиофена и гидродеалкилирование алкилароматических углеводородов. Полученные результаты свидетельствуют о том, что гидрообессеривающая активность синтезированного алюмоникельванадиймолибденового (Al-Ni-V-Mo) образца состава 5%NiO-5%  $\text{V}_2\text{O}_5$ -10%  $\text{MoO}_3/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  сопоставима с активностью промышленного алюмоникельмолибденового катализатора гидроочистки: степень конверсии тиофена в модельной бензольно-тиофеновой смеси (42% тиофена) - 98,0 и 98,3%, соответственно. Причем в модельной реакции гидродеалкилирования толуола значения активности указанного Al-Ni-V-Mo образца при  $400^\circ\text{C}$  заметно выше (выход бензола 22,1% при селективности 36%), чем у промышленных алюмохромового катализатора гидродеалкилирования (катализатор "Гудри-Детол"), также испытанного при  $600^\circ\text{C}$  (выход бензола 19,7%; селективность - 78%). Это позволяет рассматривать нанесенные на  $\gamma$ -оксид алюминия NiO- $\text{V}_2\text{O}_5$ - $\text{MoO}_3$ -композиции как весьма перспективные катализаторы, которые могут быть использованы в качестве катализаторов для гидропереработки фракций коксохимического происхождения с целью получения высокочистого бензола.

Таблица 1. Сравнение активности промышленных и синтезированных катализаторов

| Катализатор                                                                       | T,<br>$^\circ\text{C}$ | Гидродеалкилирование<br>толуола***, мол. % |         |          | Конверсия<br>тиофена,<br>мол. % |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------|--------------------------------------------|---------|----------|---------------------------------|
|                                                                                   |                        | $\alpha$                                   | $\beta$ | $\gamma$ |                                 |
| 10% $\text{MoO}_3/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$                                   | 600                    | 0,1                                        | 0,0     | 0        | 100,0                           |
| 10% $\text{V}_2\text{O}_5$ - $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$                       | 600                    | 0,29                                       | 0,0     | 0        | 16,2                            |
| 10% $\text{V}_2\text{O}_5$ -10% $\text{MoO}_3/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$       | 600                    | 0,15                                       | 0,0     | 0        | 63,8                            |
| 10% NiO/ $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$                                           | 500                    | 2,3                                        | 23,1    | 9        | 10,3                            |
| 5% NiO-10% $\text{MoO}_3/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$                            | 400                    | 94,2                                       | 13,6    | 14       | 86,6                            |
| 5% NiO-5% $\text{V}_2\text{O}_5/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$                     | 420                    | 74,1                                       | 24,2    | 44       | 19,5                            |
| 5% NiO-5% $\text{V}_2\text{O}_5$ -10% $\text{MoO}_3/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ | 400                    | 61,7                                       | 22,1    | 36       | 98,0                            |
| 18% $\text{Cr}_2\text{O}_3/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ *                        | 600                    | 25,3                                       | 19,7    | 78       | 6,9                             |
| 1 1,8% $\text{MoO}_3/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ **                             | 600                    | 31,7                                       | 12,1    | 38       | 90,0                            |
| 3,4% NiO- 12,0% $\text{MoO}_3/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ **                    | 550                    | 32,3                                       | 13,2    | 41       | 98,3                            |

\* Промышленный алюмохромовый катализатор фирмы "Гудри".

\*\* Промышленные катализаторы гидроочистки отечественного производства.

\*\*\*  $\alpha$  - конверсия толуола,  $\beta$  - выход бензола,  $\gamma$  - селективность по бензолу.

#### Список литературы:

1. Бяков А.Г., Зубицкий Б.Д., Петров И.Я. и др. Полифункциональный катализатор для переработки фракций сырого бензола// Кокс и химия. – 2009. - №5. – С.27-30.
2. Петров И.Я., Допшак В.Н., Золотарев О.В. и др. Каталитические превращения примесей, сопутствующих бензолу, в процессе гидрокрекинга бензолсодержащих фракций продуктов пиролиза твердых топлив // Вестник КузГТУ. – 2004. - №4. – С.64- 74.

УДК 66.061.081.074.532

### НЕТРАДИЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ОЧИСТКИ СЫРОГО КОКСОХИМИЧЕСКОГО БЕНЗОЛА

С. Э. Вагнер<sup>1</sup>, Б. Г. Трясунов<sup>2</sup>, Е.И. Бунеева<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ГУ Кузбасский государственный технический университет им.Т.Ф. Горбачева

<sup>2</sup>Учреждение Российской академии наук Институт углехимии и химического  
материаловедения СО РАН, г. Кемерово, e-mail: [Sergio-Pacinni@yandex.ru](mailto:Sergio-Pacinni@yandex.ru)

Предложен нетрадиционный метод очистки сырого коксохимического бензола, заключающийся в экстрагировании ароматических углеводородов из фракции бензол-толуол-ксилол сырого бензола с последующей доочисткой от тиофена сильноокислыми ионообменными смолами. Испытаны методы адсорбционной очистки и



карбамидной депарафинизации сырого бензола, выявлена возможность применения данных методов в качестве доочистки бензола или бензольной фракции.

Suggested an untraditional method for purifying raw coking benzene, which consists in extracting aromatic hydrocarbons from the fraction of benzene-toluene-xylene of raw benzene, followed by posttreatment from thiophene strongly acidic ion-exchange resins. Tested methods of adsorption purification and of carbamide dewaxing of raw benzene, identified the possibility of using these methods as the posttreatment benzene or benzene fraction.

Производство бензола в России начиная с 2000 росло по 2007 г. и составило 1.2 млн. т (табл. 1) [1], а затем снизилось до 1 млн. т в 2009 г. Однако, цена и спрос на бензол увеличиваются в связи с развитием производства синтетических волокон, смол, пластмасс и др. продукции.

Таблица 1. Производство бензола в России, тыс.т

| Год    | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Бензол | 869  | 983  | 968  | 1056 | 1168 | 1183 | 1152 | 1204 | 1153 | 1053 |

На рис. 1 представлено распределение производства бензола по предприятиям, основу которого составляет нефтехимические заводы. Однако наибольшим сырьевым потенциалом обладает углехимическая отрасль. Возможно, что исторически зародившееся на базе угольного сырья производство ароматических углеводородов в будущем снова будет ориентировано на переработку угля.

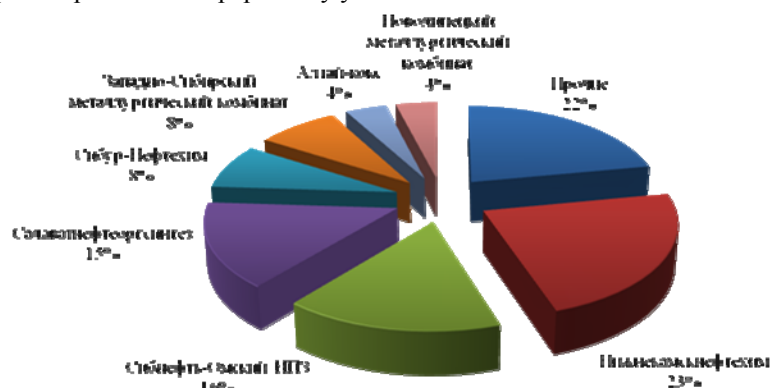


Рис. 1. Производство бензола в России в 2004 г.

Сырой бензол - это смесь химических соединений, основу которого составляет ароматические углеводороды. В качестве примесей, в сыром бензоле присутствуют парафиновые и нафтеновые углеводороды, непредельные, сернистые, азотистые соединения. Одним из ценных компонентов сырого бензола является тиофен. Использование в химической промышленности синтетического тиофена и его производных затруднено вследствие ограниченности их ресурсов и высокой стоимости.

Основные направления применения тиофена - это производство биологически активных веществ (модифицированные пенициллины, антигельминтные препараты, тиамин (витамин B1, алеврин, тиаминпирофосфат-кокарбоксилаза), синтез ценных лечебных препаратов, выпуск химикатов (гербициды, пестициды), производство проводящих и светоизлучающих полимеров, присадок к смазочным маслам. Однако собственное производство тиофена в России отсутствует, а импортируемые препараты характеризуются высокой стоимостью. Известно, что компания АО «Пурин» планирует создать опытно-промышленную установку производства тиофена мощностью 20 тонн в год из «дисульфидного масла», являющегося побочным продуктом процессов очистки газов и нефти. Однако, в коксохимической промышленности из 4 млн. т угля, можно получить 40 тыс. т сырого бензола, из которого в свою очередь можно получить 200 тонн тиофена в год (при содержании 0.5% в сыром бензоле).

Бензол для ряда производств органического синтеза должен иметь исключительно низкое содержание тиофена и сероуглерода (не более 0.0001 %), следы примесей насыщенных углеводородов, а также высокую температуру кристаллизации согласно ГОСТ 8448-78. Ниже представлены методы очистки бензола (жирным курсивом выделены методы, которые не приводят к разрушению компонентов сырого бензола):

- Ректификация: обычная, четкая, под давлением, азеотропная, экстрактивная;
- Адсорбция (хемосорбция);
- Кристаллизация;
- Сернокислотная очистка;
- Каталитическая гидроочистка под давлением, парофазный каталитический метод, гидрокрекинг;
- Экстракционная очистка рафината гидроочистки;
- Электростатическое обессеривание;
- Фтористоводородный, способ с фтористым бромом, обработка бромом;

- Хлорирование, гипохлоритный способ, способ с хлористым алюминием;
- Очистка сплавами металлов и их амидами, гидридами, карбидами;
- Очистка формальдегидом и ацетальдегидом;
- Очистка солями ртути и окисью ртути, обработка гидроокисью железа;
- Окислительная очистка активным кислородом, перекисью водорода, озонирование, электрохимическое окисление на аноде, каталитическое и парофазное окисление;
- Мембранный метод;
- Методы клатрации;
- Хроматографический метод.

Из всех перечисленных методов наиболее перспективным являются адсорбция и экстракция.

Исследована сорбционная очистка от предельных углеводородов сырого бензола. В качестве сорбента использовали цеолит СаА с пористой структурой, который способен поглощать алканы до  $C_{20}$ . Исследования адсорбционной очистки бензола проводили на лабораторной установке – колонне, заполненной цеолитом. Бензол пропускали в жидком и парофазном состоянии. Данные сведены в табл. 2.

Таблица 2.

| Физическое состояние очищаемого бензола | Температура, °С | Снижение количества парафиновых углеводородов, % |
|-----------------------------------------|-----------------|--------------------------------------------------|
| Жидкое                                  | 25              | 43,2                                             |
|                                         | 40              | 29,7                                             |
| Парофазное                              | –               | 18,5                                             |

Адсорбционная очистка позволяет снизить содержание предельных углеводородов, но в недостаточной степени, это связано с тем, что в процессе адсорбции цеолит, имеющий селективность к предельным углеводородам, адсорбирует в меньшей степени другие углеводороды, снижая адсорбционную емкость. Процесс требует предварительно обезвоживать бензол. Повышенная температура процесса приводит к низкой эффективности адсорбции, а образование полимеров на поверхности цеолита приводит к его осмолению и выходу из строя. Поэтому возможно применение адсорбционной очистки только в качестве тонкой доочистки бензола или бензольной фракции от насыщенных углеводородов.

Так как содержание ароматических соединений в исходной фракции БТК сырого бензола достигает 95%, то желательно селективно извлекать парафины, а не ароматические углеводороды. Однако пригодные для этой цели перфторуглероды (перфторгексан, перфторгептан и др.) слишком дорогие [2].

Из литературных данных известно, что карбамид образует с парафинами комплекс, начиная с н-гептана, и частично с н-гексаном [3]. Нами проведено исследование одноступенчатой карбамидной депарафинизации [4]. Эффективность карбамидной депарафинизации представлена в табл. 3. Была доказана возможность очистки бензола от предельных углеводородов. Однако в сыром бензоле содержатся в малом количестве серо-, азот- и кислородсодержащие вещества, они действуют как ингибиторы, что увеличивает индукционный период и ухудшает процесс образования комплекса, а так же способствует деформации кристаллической решетки карбамида, в результате он может образовать комплекс с ароматическими углеводородами.

Таблица 3.

|                                                    | Исходный бензол | Очищенный бензол |
|----------------------------------------------------|-----------------|------------------|
| Содержание примесей, %                             | 8,28            | 6,79             |
| Содержание парафиновых углеводородов в примесях, % | 24              | 18               |

Для извлечения тиюфена и непредельных соединений предложена очистка на сильноокислом сульфокатионите. Данный метод апробирован для очистки бензольной фракции, предварительно выделенной из фракции БТК сырого бензола ректификацией на колонке (21 тарелка,  $T + 79-80.5^{\circ}\text{C}$ ) с получением бензольной фракции, основные примеси которой составили циклогексан, н-гептан и тиюфен. Далее бензол подвергали очистке на сильноокислом сульфокатионите КУ-2-8. Под действием остатка серной кислоты в матрице катионита происходит не только сульфирование тиюфена, но и его осмоление. Применение катионита сухого, в этом случае позволяет помимо очистки осушать готовый продукт.

Наиболее перспективным методом очистки бензола является метод жидкостной экстракции, который позволяет очищать одновременно от насыщенных, нафтеновых, непредельных углеводородов и тиюфена, без разрушения ценных компонентов и без образования вредных отходов, так как метод в большей степени относится к физическим процессам. Проведено сравнительное исследование эффективности различных растворителей [5]. Для разделения фаз и увеличения селективности добавляли определенный объем воды. Результаты одноступенчатой экстракции сырого бензола сведены в табл. 4. Основными критериями оценки эффективности

экстрагентов являются избирательность ( $\beta$ ) и растворяющая способность ( $V_{\text{бенз}}$ ) (табл. 5). В ходе исследований было установлено, что селективность к ароматическим углеводородам растворителей увеличивается в следующем ряду: ДМФА, ДМСО, ДЭГ; а их растворяющая способность увеличивается в обратном порядке.

Таблица 4.

| Растворитель (вода%)    | Содержание примесей до, % | Содержание примесей после, % |
|-------------------------|---------------------------|------------------------------|
| Диэтиленгликоль (15%)   | 8,44                      | 3,4                          |
| Диметилсульфоксид (20%) | 8,44                      | 6,0                          |
| Диметилформамид (30%)   | 8,44                      | 7,9                          |

Таблица 5.

| Растворитель | $\beta$ гекс/бенз | $\omega$ |
|--------------|-------------------|----------|
| ДЭГ          | 0,16              | 10,2     |
| ДМСО         | 0,31              | 12,2     |
| ДМФА         | 0,68              | 7,6      |

Разрабатывая новые промышленные экстракционные процессы необходимо осуществление имитации процесса непрерывной противоточной многоступенчатой экстракции в лабораторных условиях. На рис. 2 показана схема, состоящая из трех ступеней. В качестве экстрагента применяли смесь растворителей 25% ДЭГ – 75% ДМСО, один из которых обладает высокой селективностью (ДЭГ), а другой – большой емкостью (ДМСО). Каждый кружок на схеме обозначает отдельную операцию экстракции в делительной воронке. В операции 1 определенное количество сырого бензола (СБ) экстрагируется смесью растворителей (С), экстракт (Э) сливается для дальнейшего выделения из него ароматических углеводородов, а рафинат (Р) экстрагируется свежим экстрагентом (С) в воронке 2. После этого экстракт подается в воронку 4, где взаимодействует с сырым бензолом, а рафинат экстрагируется в воронке 3. В процессе происходит обогащение экстракта ароматическими углеводородами. Результаты, полученные таким методом, приблизительно описывают имитируемый процесс непрерывной экстракции, и с увеличением числа операций (горизонтальные ряды на схеме) практически совпадают [2]. Данная очистка позволяет снизить содержание алканов и циклоалканов на 90% (до уровня, установленного ГОСТ 8448-78) и сконцентрировать, что особенно важно, в рафинате предельные и непредельные углеводороды и тиофен, не разрушая их. В связи с ужесточением экологического контроля предприятий находящихся в черте города при применении в качестве экстрагента ДМСО возможно выделение ароматических соединений из экстракта кристаллизацией растворителя, так как температура плавления растворителя – 18 °С, что позволило бы исключить ректификацию, следовательно исключить парогазовые выбросы в атмосферу.

Подводя итоги исследований, создается предпосылка создания нетрадиционной технологической схемы очистки фракции БТК сырого коксохимического бензола экстрагированием из нее ароматических соединений растворителями с последующей доочисткой на сульфокатионите, с получением бензола «для синтеза», толуола, смеси ксилолов и фракцию тиофена с предельными и нафтеновыми углеводородами.

#### Список литературы:

1. Российский статистический ежегодник. 2010: Стат. сб. / Росстат. – Р76 М., 2010. – 396 с.
2. Трейбал, Р. Жидкостная экстракция. – М.: Химия, 1966. – 724 с.
3. Вержичинская, С. В. Химия и технология нефти и газа. – М.: Форум: Инфра-м, 2007. – 400 с.
4. Вагнер, С. Э. Очистка сырого коксохимического бензола карбамидом от предельных углеводородов / С. Э. Вагнер. – Томск: Химия и химическая технология в XXI веке, 2010. Т. 2. – С. 128-130.
5. Вагнер, С. Э. Экстракционные методы очистки сырого коксохимического бензола / С. Э. Вагнер, Б. Г. Трясунов. – Кемерово: Вестник КузГТУ, 2010. – № 4. – С. 124-127.

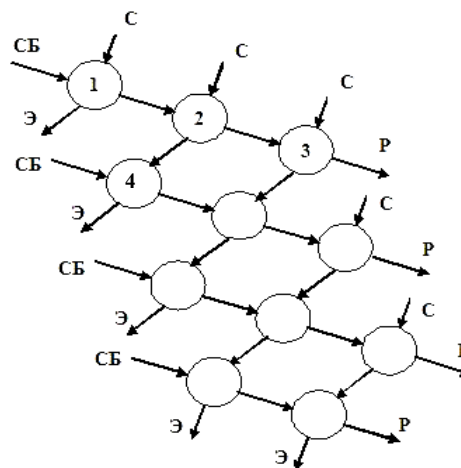


Рис. 2. Схема имитации процесса непрерывной противоточной экстракции из трех ступеней

## О НЕОБХОДИМОСТИ УВЛАЖНЕНИЯ ВОЗДУХА, ПОДАВАЕМОГО В ШАХТЫ

С.Н. Вершинин, З.Р. Исмаилов

Учреждение Российской академии наук Институт углехимии и химического материаловедения СО РАН, г. Кемерово

Показано влияние температуры наружного воздуха на относительную влажность атмосферы в угольных шахтах. России. Сделан вывод о влиянии пониженной относительной влажности воздуха на возникновение эндогенных пожаров.

Authors showed that the outdoor temperature influences relative humidity of the atmosphere in coal mines of Russia. They concluded that relative low air humidity can provoke endogenous fire.

Количество наиболее опасных аварий - пожаров и взрывов в угольных шахтах за последние годы остается практически на одном уровне. Например, частота возникновения эндогенных пожаров в шахтах России также остаётся достаточно стабильной величиной. Возможно, на самовозгорание угля влияют и другие факторы, кроме технологии добычи, количества и качества оборудования.

Причина эндогенных пожаров установлена достаточно давно и надёжно. При определенных условиях кислород воздуха начинает окислять поверхность угля. В результате химических реакций уголь разогревается, что способствует ускорению реакций окисления и, далее, процесс переходит в пламенное горение. Для борьбы с такими пожарами уголь обрабатывают различными реагентами, изолируют опасные участки от доступа воздуха, подают в опасную зону инертный газ и прочее.

Во всех работах, посвящённых борьбе с эндогенными пожарами авторы принимают во внимание в основном свойства угля и учитывают только температуру воздуха, поступающего в шахту. Следует отметить, что относительная влажность воздуха также заслуживает внимание. Объемы воздуха, поступающие в шахту, достигают сотен тысяч кубических метров в час. Такое количество может заметно повлиять на характер некоторых процессов в шахтах. Изменение относительной влажности воздуха особенно заметно в разные периоды года. Известно, что относительная влажность воздуха при его нагреве уменьшается, а при охлаждении - увеличивается. Воздух, подаваемый в шахту зимой, специально нагревают. В процессе движения по выработке воздух дополнительно нагревается до температуры стенок шахты и частично увлажняется при соприкосновении с водой, постоянно присутствующей в шахтах. Летом он наоборот охлаждается, и избыток влаги конденсируется на поверхности выработок. Для анализа и расчётов изменения влажности достаточно сравнить температуру атмосферы в шахтах и наружного воздуха. В таблице 1 приведены среднемесячные температуры для некоторых угледобывающих районов России и Украины [1].

Таблица 1. Средняя месячная температура в некоторых районах добычи угля [1]

| Регион,<br>Город                                                                    | Средняя температура, °С |       |       |     |      |      |      |      |      |     |      |       |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|-------|-------|-----|------|------|------|------|------|-----|------|-------|
|                                                                                     | М е с я ц ы             |       |       |     |      |      |      |      |      |     |      |       |
|                                                                                     | I                       | II    | III   | IV  | V    | VI   | VII  | VIII | IX   | X   | XI   | XII   |
| Кемерово                                                                            | -19,2                   | -17   | -10,6 | 0   | 9,2  | 15,8 | 18,4 | 15,5 | 9,3  | 1,1 | -9,8 | -17   |
| Киселёвск                                                                           | -17,7                   | -15,9 | -9,1  | 1   | 9,6  | 16   | 18,3 | 15,7 | 9,7  | 1,7 | -9   | -15,6 |
| По Кузбассу в целом среднегодовая по области в отдельных районах от -1,4 до +0,4 °С |                         |       |       |     |      |      |      |      |      |     |      |       |
| Абсолютно максимальная +38 °С, абсолютно минимальная – 55 °С                        |                         |       |       |     |      |      |      |      |      |     |      |       |
| Южно-Сахалинск                                                                      | -13,8                   | -12,3 | -7    | 1,2 | 6,2  | 10,8 | 15,5 | 17,3 | 14   | 6   | -2,2 | -9,1  |
| Холмск                                                                              | -9,4                    | -8,3  | -4,1  | 2,4 | 6,7  | 11,1 | 15,7 | 18   | 14,4 | 7,9 | 0    | -6    |
| Долинск                                                                             | -13,4                   | -12,1 | -6,7  | 0,9 | 5,9  | 10,6 | 15,4 | 17,2 | 13,1 | 6,3 | -2,2 | -8,9  |
| по Сахалину в целом среднегодовая по области в отдельных городах от -2,4 до +4,6 °С |                         |       |       |     |      |      |      |      |      |     |      |       |
| Абсолютно максимальная +38 °С, абсолютно минимальная – 53 °С                        |                         |       |       |     |      |      |      |      |      |     |      |       |
| Донецк                                                                              | -6,6                    | -6,2  | -1    | 7,9 | 15,4 | 18,8 | 21,6 | 20,4 | 15   | 7,9 | 0,9  | -4,2  |
| Средняя по году +7,5 °С                                                             |                         |       |       |     |      |      |      |      |      |     |      |       |
| Абсолютно максимальная +40 °С, абсолютно минимальная – 37 °С                        |                         |       |       |     |      |      |      |      |      |     |      |       |

Температура воздуха в самих шахтах в течение года практически не меняется. Разница температуры в большинстве отдельных шахт также незначительна. В таблице 2 приведена температура подземных выработок некоторых российских шахт [2].

Из приведенных в таблице данных видно, что в Кузбассе перепад температур в шахте и на поверхности может достигать 70 °С, причем принципиальной разницы по всей территории России не наблюдается и все сделанные далее расчеты подходят для анализа ситуация в целом по стране.

Таблица 2. Температура в выработках шахт

|                    |                                                                 |                                               |                                          |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------------|
| Шахта, дата замера | Подземный участок разреза «Сибиргинский» (Кузбасс) 27.08.2004 г | шахта им. Ленина (Южный Кузбасс) 22.02.2005 г | ЗАО «Солнцевское» (Сахалин) 31.01.2005 г |
| Температура, °С    | +13 ↔ +14                                                       | + 13 ↔ +15                                    | +12 ↔ + 13                               |

Минимальная температуры подаваемого в шахту воздуха равна + 2<sup>0</sup>С. По данным СНиП видно, что в России для нормальной работы шахт приходится нагревать вентиляционный воздух в течение длительного времени. В Кузбассе – не менее шести месяцев в году. Кроме того, в течение трех - четырех месяцев температура наружного воздуха хоть и выше 0 °С, но всё же ниже, чем в шахтах. Воздух, попадая в шахту, нагревается, после чего он имеет относительную влажность меньше 100%. Необходимые для расчётов данные по парциальному давлению водяного пара взяты из справочника [5] и приведены в таблице 3.

Таблица 3. Парциальное давление водяного пара при разных температурах

|                                  |       |       |      |      |      |     |       |       |       |
|----------------------------------|-------|-------|------|------|------|-----|-------|-------|-------|
| Температура, °С                  | -39,8 | -17,4 | 0    | +2   | +5   | +10 | +13   | +15   | +20   |
| Давление паров воды, мм. рт. ст. | 0,1   | 1,0   | 4,71 | 5,47 | 6,76 | 9,5 | 11,63 | 13,22 | 18,09 |

При расчетах принято допущение что, нагреваемый воздух имеет первоначальную относительную влажность 100%, хотя на практике она всегда несколько ниже, воздух выходящий из шахты, также имеет относительную влажность 100%, давление воздуха в выработке равно его давлению на поверхности.

Легко рассчитать, что естественный подогрев воздуха от минимально допустимой температуры подаваемого в шахту воздуха (+ 2<sup>0</sup>С) до температуры внутри шахты при его движении по выработкам, неизбежно приведёт к уменьшению его относительной влажности [6]. Давление водяного пара при 2 °С – 5,29 мм.рт.ст.; при 14 °С – 12,3 мм.рт.ст. При нагреве воздуха 100% влажности от +2 до 14 °С его объем увеличится в 1,044 раза, соответственно, давление пара станет равным 5,067 мм.рт.ст. Относительная влажность воздуха будет равна 41,2%.

При нагреве до 15 °С объем увеличится в 1,047 раза. Давление пара понизится до 5,053 мм.рт.ст. При этой температуре равновесное давление водяного пара равно 13,22 мм.рт.ст. Следовательно относительная влажность нагретого воздуха будет равна 38,2 %. Следовательно, даже при условии 100 % влажности воздуха, нагретого до 2 °С, его относительная влажность при дальнейшем нагреве до температуры выработок может уменьшиться примерно до 40%.

Для дальнейших расчётов за начальную температуру приняли -40 °С. При нагреве воздуха от -40 °С до +2 °С его влажность падает от 100 до 1,5%. При дальнейшем нагреве до температуры шахты (принята 15 °С) влажность становится равной 0,6%. Для других условий расчета влажность нагретого, подаваемого в шахту воздуха будет отличаться, но принципиально картина не изменится. Следовательно, в холодное время года вентиляционный воздух значительно «подсушивает» шахту и выносит в атмосферу заметное количество воды. Эту величину достаточно легко оценить.

При начальной температуре воздуха -40 °С и конечной +15 °С, каждая тысяча кубометров подаваемого в шахту воздуха выносит из нее виде пара 13,2 кг воды. Непрерывная, длительная подача практически сухого воздуха сушит стенки выработок, отдельные участки обрушенного пространства, что может привести к авариям. Влажный уголь естественно не загорается. Для начала процесса разогрева его необходимо подсушить. Сухая угольная пыль легко переходит во взвешенное состояние. Уже при относительной влажности менее 75% связывание пыли становится неэффективным даже при применении гигроскопических солей- хлоридов кальция или магния [3]. Сухой уголь более активно взаимодействует с кислородом [4, 10], легче разогревается, следовательно, увеличивается вероятность эндогенных пожаров. Кроме того, сухой уголь, как и всякий диэлектрик накапливает заряды статического электричества, которые в любое время могут привести к образованию искр. В свете вышеизложенного становится более понятным, почему наиболее часто аварии, связанные с эндогенными пожарами происходят в холодное время, после длительной подачи подогретого, «сухого» воздуха. Авторы работы [7] приводят результаты двадцатилетних наблюдений Прокопьевско - Киселевского района Кузбасса. В таблице 4 приведены их статистические данные по подземным эндогенным пожарам в этом районе. Аналогичная закономерность влияния температуры воздуха на возникновение эндогенных пожаров установлена и в других районах Кузбасса.

На примере Донецка видно, что «отопительный» сезон в этом, по Российским меркам теплом районе, превышает три месяца. Еще минимум три месяца температура атмосферного воздуха ниже, чем температура в шахтах, даже российских. Если учесть, что температура в глубоких шахтах Украины выше чем в российских, легко сделать выводы, что относительная влажность воздуха в украинских шахтах в течение длительного времени (не менее половины года), также заметно меньше 100%. Следовательно, в украинских шахтах вероятность появления эндогенных пожаров достаточно велика. Относительная влажность 100% в шахтах будет достигаться только при условии, что температура подаваемого воздуха будет без подогрева заведомо выше, чем температура шахты [6]. В условиях России, например Кузбасса, этот срок не превышает трех месяцев. Закономерность, полученная в расчетах, подтверждаются данными ВГСЧ Кузбасса.

Таблица 4. Статистические данные по подземным эндогенным пожарам в Прокопьевско - Киселевском районе

| Параметр                      | М е с я ц ы |           |         |          |
|-------------------------------|-------------|-----------|---------|----------|
|                               | III - V     | VI - VIII | IX - XI | XII - II |
| Относительная частота пожаров | 2,458       | 1,064     | 2,625   | 2,583    |

Эта закономерность относится практически ко всем районам добычи угля в России.

В сентябре 1988 г сотрудниками семнадцатого ОВГСО проведены воздушно - депрессионные съемки на шахте «Хакасская» ПО Красноярскуголь» [8]. Во время съемок делались замеры температуры и влажности й атмосферы шахты. Непосредственно в лавах температура была равна 11 °С, относительная влажность изменялась от 86 до 91%. Средняя температура сентября в г. Минусинске, находящемся недалеко от этой шахты равна 9,9 °С, т.е. ниже температуры в шахте. При фактическом объеме вентиляции 3276 м<sup>3</sup>/мин даже такая невысокая разность температур способствует выносу из шахты 0,698 кг воды на 1000 м<sup>3</sup> воздуха или 2,29 кг в минуту. При расчетах, как и раньше, сделано допущение, что атмосферный воздух и выходящий из шахты имеет влажность 100%.

Аналогичные съемки, проведенные в шахте «Физкультурник» ПО «Северокузбассуголь» показали, что температура в выработках изменяется от 14 до 21 °С, влажность от 85 до 92% [9]. Температура на поверхности во время измерений была -15 °С. Во время съемок в шахту «Физкультурник» поступало 132,8 м<sup>3</sup>/сек. без учета обособленного проветривания очистных и подготовительных забоев. Легко рассчитать, что для достижения влажности 85% у воздуха, подогреваемого от – 15 до + 14 °С необходимо испарить 12,75 кг воды на 1000 м<sup>3</sup>. Это соответствует 146 тонн воды в сутки. Приведенный расчет сделан для минимальной разницы температуры, взятых из отчета. Если взять максимальные цифры, тогда количество воды, необходимое для достижения влажности 91% при 21 °С, равно 20,25 кг на 1000 м<sup>3</sup> атмосферного воздуха, что соответствует 232 тонны воды в сутки.

Для юга России закономерность по перепадам температур также сохраняется. Например, летом температура воздуха в шахте «Замчаловский антрацит» достигает 22 °С. Эта температура, возможно, является обычной для данной шахты в течение года. Среднемесячная температура в Ростовской области в течение 9 месяцев ниже температуры воздуха в шахте. Это означает, что без дополнительного увлажнения подаваемого в шахту воздуха в течение всего этого срока происходит подсушка угля в выработках шахты.

Следует отметить, что отсутствием принудительного увлажнения подаваемого в шахту воздуха можно объяснить и увеличение опасности ведения горных работ с увеличением их глубины. Температура выработок растет с глубиной. Следовательно, в глубоких выработках заметнее уменьшается и относительная влажность воздуха, что приводит к ускоренной сушке горной породы, в том числе и угля. Соответственно, увеличивается вероятность самовозгорания угля.

Исходя из изложенного, можно сделать вывод, что повышение относительной влажности подаваемого в шахту воздуха до 100 % может привести к уменьшению риска возникновения эндогенных пожаров.

#### Выводы:

Анализ литературы и расчёты показывают, что для уменьшения вероятности появления эндогенных пожаров и связанных с ними последствий необходимо увлажнять воздух, подаваемый в шахты до относительной влажности 100%. Необходимое количество воды для увлажнения зависит от температуры наружного воздуха и может достигать 20 кг на тысячу кубических метров. Если учесть, что далеко не вся, подаваемая распылителями, вода испарится, то количество воды, подаваемой в распылители, надо увеличить в 2-3 раза. Кроме того, подачу воды необходимо рассредоточить, т.е. внутри шахты необходимо ставить дополнительные распылители воды (водяные заслоны) по мере нагрева воздуха в шахте.

#### Список литературы:

1. Строительные нормы и правила 2.01.01-82 Строительная климатология и геофизика. М. Государственный комитет по делам строительства, 1983 г.
2. Данные из рапортов диспетчера ВГСЧ.
3. Прокопенко Б.В. К вопросу о связывании угольной пыли в шахтах. // Разработка месторождений полезных ископаемых. - Киев: Техника.- 1968, - С.105-107.
4. Менковский М.А., Журавлев В.П., Волкова В.П., Лихарев Ю.Д. Адсорбция кислорода на ископаемых углях/ Химия твердого топлива 1975. № 3. - С. 82-86.
- 5.Справочник Химика: Т. 1.- М. -Л. Издательство химической литературы, 1972. - 1071 с.
6. Амелин А.Г. Теоретические основы образования тумана при конденсации пара.- М: Химия, 1972. - 304 с.
7. Белавенцев Л.П., Васильченко Н.К., Быкова З.С., Каминский А. Я. Термодинамический способ предупреждения эндогенных пожаров в шахтах // Повышение безопасности на угольных предприятиях. Кемерово.- 1985. С. 13-15.
8. Отчет по воздушно - депрессионной съемке к расчету вентиляционных сети шахты «Хакасская» ПО «Красноярскуголь».- Кемерово, 1988. - 34 с.
9. Отчет по воздушно-депрессионной съемке и расчету вентиляционной сети шахтоуправления «Физкультурник»ПО «Северокузбассуголь». Кемерово, 1988. -33 с.
10. Соколов Э.М., Рыжикова Н.Г., Круль Л.А. Генерация углекислого газа в выработанных пространствах шахт// Известия высших учебных заведений, Горный журнал 1975. №7. -С. 61-64.

## ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ УГЛЕЙ НА СТАБИЛЬНОСТЬ ИХ ВОДНЫХ СУСПЕНЗИЙ

*Е.В. Волоскова, В.А. Полубояров*

*Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, г. Новосибирск*

Рассмотрено влияние механохимического воздействия на угли разной стадии метаморфизма. В работе из механоактивированных углей готовили водоугольные суспензии и определяли их устойчивость в зависимости от времени механохимической обработки и наличия поверхностно-активного вещества.

The influence of mechanochemical action on the coals at different stages of metamorphism has been considered. Mechanically activated coal has been used to prepare coal-water suspensions; their stability depending on the duration of mechanical treatment and the presence of surface-active substance has been determined.

### Введение

В настоящее время основная часть добываемых углей используется для удовлетворения нужд энергетики. Для угольной энергетики переход с прямого сжигания угля в различных топочных устройствах на водоугольное топливо может стать принципиально важным решением. Одним из направлений переработки угля является получение водоугольного и водошламового топлива. Для этого используют механическое диспергирование угля в жидкой среде, с том числе и с помощью ультразвука.

Исследования свойств водоугольных суспензий проводится как в России, так и за рубежом. Уже существуют технологии по получению и применению водоугольных суспензий (ВУС) из углей различных марок. В некоторых странах эти технологии успешно используются.

Целью работы является: изучение влияния механохимической обработки на дисперсность углей с разным соотношением Н/С и ее (МО) влияние на стабильность водных суспензий.

### Влияние механохимической обработки на дисперсность углей

Характеристики углей, выбранных для исследования, представлены в таблице 1. Они отличаются соотношением количества атомов водорода к углероду – Н/С: антрацит (А), коксовый слабоспекающийся (КС), длиннопламенный (Д).

Таблица 1. Характеристика углей

| Состав углей, %             | Образец угля |       |       |
|-----------------------------|--------------|-------|-------|
|                             | А            | КС    | Д     |
| Углерод ( $C^{daf}$ )       | 94,6         | 89,6  | 77,4  |
| Водород ( $H^{daf}$ )       | 1,4          | 4,8   | 5,5   |
| Зольность ( $A^d$ )         | 6,3          | 19,0  | 12,4  |
| Влага ( $W^a$ )             | 3,7          | 7,0   | 3,5   |
| Выход летучих ( $V^{daf}$ ) | 3,0          | 20,1  | 45,2  |
| Н/С                         | 0,189        | 0,552 | 0,832 |

Предварительную механохимическую обработку углей проводили с помощью центробежно-планетарной мельницы АГО-2 в течение 3, 5 и 10 мин. Устанавливали изменение удельной поверхности образцов методом БЭТ по тепловой десорбции аргона с внутренним этанолом. Изменение удельной поверхности углей после механохимической обработки представлено на рис. 1.

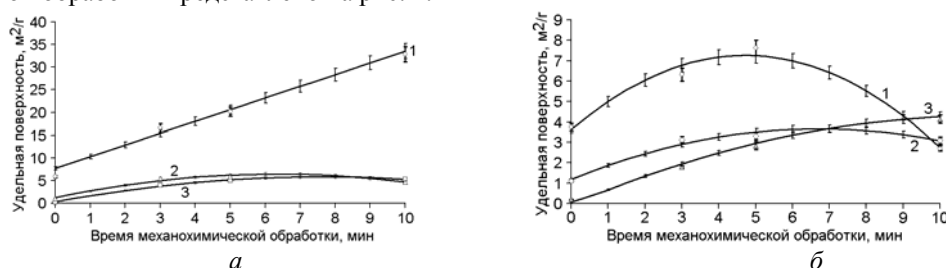


Рис. 1. Изменение удельной поверхности углей после механохимической обработки без ПАВ (а) и после механохимической обработки с лаурилсульфатом натрия (б): 1 –А; 2 – КС; 3 – Д.

Из рисунка 1 видно, что механохимическая обработка углей КС и Д приводит сначала к увеличению, а затем уменьшению величины удельной поверхности, что может говорить об агрегации угольных частиц за счет образования молекул, равных по размерам асфальтенам, которые выступают в роли «клея». Механохимическая обработка с ПАВ способствует большей агрегации угольного вещества, что приводит к уменьшению удельной



поверхности образцов, чем в процессе механохимической обработки без ПАВ. В процессе механохимической обработки происходит повышение температуры и ПАВ может плавиться и склеивать частицы угля.

Механохимическая обработка совместно с ПАВ способствует большей деструкции угольного вещества. Это видно по данным термического анализа. На рис. 2 показаны кривые термогравиметрии (ТГ) и дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) для антрацита, из которого видно, что у антрацита, подвергнутого механохимической обработке с ПАВ наблюдается большая потеря массы (более 5%) при терморазложении и снижение температуры терморазложения на 20° по отношению к углю, подвергнутому механохимической обработке без ПАВ. Для двух других углей наблюдается аналогичная зависимость.

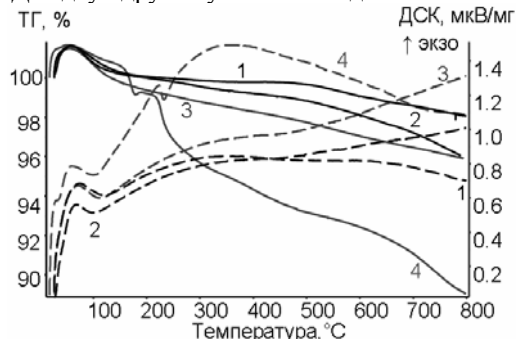


Рис. 2. ТГА (сплошная линия) и ДСК (пунктирная линия) углей: 1 – исходный; 2 – после 10 мин МО без ПАВ; 3 – после 10 мин МО с ПАВ

Таким образом, показано, что дисперсность углей зависит от соотношения Н/С в них, времени механохимического воздействия и наличия ПАВ во время МО.

#### *Влияние предварительной механохимической обработки углей на стабильность водных суспензий*

Из углей, подвергнутых механохимической обработке готовили 5%-ю водную суспензию из обработанных углей, как без добавления ПАВ, так и с добавлением ПАВ (5% от массы угля). В качестве ПАВ использовали: лаурилсульфат натрия (ЛС), суперпластификатор С-1 (натриевая соль 1-нафталинсульфоокислоты; разной молекулярной массы полиметиленафталинсульфоокислоты; сульфат натрия), гидроксид натрия.

У полученных суспензий определяли осаждаемость – отношение содержания сухого остатка в отстоявшемся слое дисперсии к содержанию сухого остатка в дисперсии в начальный момент, выраженное в процентах.

По полученным данным строили кривые седиментации. На рис. 3 представлены кривые седиментации частиц в ВУС приготовленных без добавления ПАВ (рис. 3, а) и с добавлением С-1 (рис. 3, б).

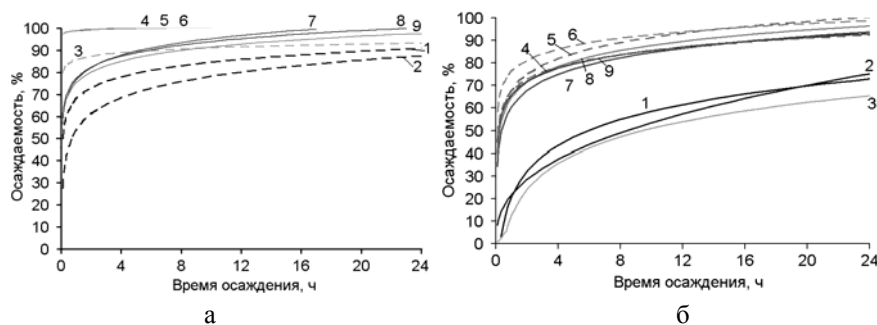


Рис.4 Кривые седиментации водоугольных суспензий без добавления ПАВ (а) и с добавлением С-1 (б): А: 1 – 3 мин МО; 2 – 5 мин МО, 3 – 10 мин МО; КС: 4 – 3 мин МО, 5 – 5 мин МО; 6 – 10 мин МО; Д: 7 – 3 мин МО; 8 – 5 мин МО; 9 – 10 мин МО

Наиболее стабильными суспензиями считаются суспензии, кривые седиментации которых лежат на графиках ниже остальных. Проанализировав все данные, установили, что достаточным временем предварительной механохимической обработки является 5 мин, т.к кривые седиментации следующих ВУС лежат ниже остальных: А, 5 мин МО; Д, 10 мин МО; Д + 5% ЛС, 3 мин МО; А + 5% ЛС, 5 мин МО; Д, 3 мин МО, + 5% С-1; КС, 3 мин МО + 5 % С-1; Д, 3 мин МО, + 5% NaOH.

Как видно на рис. 3, что добавление ПАВ, например, С-1 (рис. 3, б) приводит к уменьшению осаждаемости, т.е. повышению стабильности частиц за счет адсорбции молекул ПАВ на поверхности частиц и предотвращении образованию крупных агрегатов. По кривым седиментации рассчитали размер частиц в суспензиях. Установили, что добавление ПАВ в водоугольную суспензию действительно приводит к возрастанию доли фракции с размером частиц 1-5 мкм (таблица 2), т.е. молекулы ПАВ взаимодействуют с поверхностью угольных частиц, предотвращая их агрегацию.



Таблица 2 . Фракционный состав

| Образец               | Содержание фракции, % | Размер частиц, мкм |           |            |             |
|-----------------------|-----------------------|--------------------|-----------|------------|-------------|
|                       |                       | до 1               | от 1 до 5 | от 6 до 10 | от 11 до 50 |
| А, 3 мин МО           |                       | 1,2                | 26,8      | 0,0        | 65,9        |
| А+5%ЛС, 3 мин МО      |                       | 0,0                | 67,1      | 32,9       | 0,0         |
| А, 3 мин МО +5% С-1   |                       | 0,0                | 56,6      | 43,4       | 0,0         |
| КС, 3 мин МО          |                       | 0,0                | 2,0       | 0,0        | 98,0        |
| КС+5%ЛС, 3 мин МО     |                       | 0,0                | 44,0      | 10,0       | 46,0        |
| КС, 3 мин МО + 5% С-1 |                       | 0,0                | 37,2      | 11,7       | 51,1        |
| Д, 3 мин МО           |                       | 0,0                | 18,0      | 13,0       | 69,0        |
| Д+5%ЛС, 3 мин МО      |                       | 0,0                | 34,8      | 23,2       | 35,4        |
| Д, 3 мин МО + 5% С-1  |                       | 0,0                | 16,7      | 15,5       | 67,9        |
| Д, 3 мин МО + 5% NaOH |                       | 0,0                | 13,4      | 20,7       | 65,9        |

Это характерно для углей А и КС, которые остаются во взвешенном состоянии за счет размера частиц (таблица 2) и действия ПАВ. Причем в случае С-1 стабильность суспензий из этих углей выше, поскольку может быть создан каркас из олигомеров полиметиненнафталинсульфокислоты.

Поскольку частицы угля Д в суспензиях как без, так и с добавлением ПАВ являются достаточно крупными, а водные суспензии этого образца угля достаточно стабильные с применением ПАВ, то их стабильность можно объяснить особенностями химического состава угля. Из угля Д при действии на него водных растворов щелочей происходит извлечение гуминовых кислот (от 1 до 7%), которые, как известно, образуют гуматы, стабилизирующие суспензии. Поэтому стабильность суспензий из образца Д при добавлении выбранных ПАВ, которые создают pH=7-12, практически одинакова.

Добавление NaOH в водную суспензию приводит к быстрому осаждению частиц угля А и КС, потому что не происходит экстракции гуминовых кислот и их поверхность не имеет достаточное количество полярных функциональных групп, поэтому не образуется гидратная оболочка.

Проведя пиролитический анализ, было установлено, что при механохимической обработке происходит образование угольных структур как с большим, так и с меньшим отношением Н/С. Эти изменения подтверждаются уменьшением температуры максимального выхода углеводородов. Например, у угля А после механохимической обработки происходит уменьшение температуры максимального выхода углеводородов с 576°C до 435°C, а у фракции, взятой через 24 ч, – до 396°C, следовательно, содержание углерода уменьшилось, а водорода увеличилось. Поэтому можно предположить, что частицы угля А более стабильны в водных суспензиях без добавления ПАВ. При механохимической обработке образцов углей КС и Д происходит образование более углефицированных структур, т.к. температура максимального выхода углеводородов увеличивается с 486 до 490 и с 421 до 429°C соответственно.

Таким образом, условием стабильности ВУС из углей А и КС является размер угольных частиц и наличие ПАВ с большим углеводородным радикалом, а для ВУС из угля Д – наличие ПАВ, создающего щелочную среду.

#### Выводы:

- Показано, что дисперсность углей зависит от соотношения Н/С в них, времени механохимического воздействия и наличия ПАВ во время МО.
- Установлено, что механохимическая обработка угля с добавлением ПАВ хоть и приводит к агрегации частиц, но способствует большей деструкции угля.
- Было показано, что при механохимической обработке происходит образование угольных структур как с большим, так и с меньшим отношением Н/С.
- Найдены условия стабильности водоугольных суспензий в зависимости от соотношения Н/С в углях. Установлено, что стабильность водоугольных суспензий из углей А и КС зависит от наличия ПАВ с большим углеводородным радикалом, который взаимодействует с гидрофобной поверхностью угля, предотвращая агрегацию их частиц. На стабильность суспензий из угля Д влияет ПАВ, создающий щелочную среду, поскольку происходит экстракция гуминовых кислот с образованием гуматов, которые стабилизируют суспензию.

## ВЛИЯНИЕ МЕХАНОХИМИЧЕСКОЙ И ХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СВОЙСТВА УГЛЕЙ

*Е.В. Волоскова, В.А. Полубояров*

*Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, г. Новосибирск*

Рассмотрена возможность растворения углей разной стадии метаморфизма в кислотном меланже. Предложен механизм растворения углей.

The possibility to dissolve coals at different stages of metamorphism in acid mélange has been studied. The mechanism of coals dissolution has been suggested.

### Введение

Основными процессами, с помощью которых уголь может быть превращен в ценные компоненты для химической промышленности, являются экстракция, окисление, полукоксование и коксование, газификация, терморазложение и гидрогенизация. Процессы переработки угля направлены на нарушение связей в угольном каркасе. Они проводятся при высоких температурах и давлении, в присутствии катализаторов.

Одним из определяющих направлений научного поиска в области переработки угля является проблема снижения его химической и термической устойчивости, что будет способствовать возможности его переработки в жидкие продукты в более мягких условиях. Механохимическую обработку углей можно использовать, в частности, как подготовительный этап перед переработкой углей.

Целью работы являлось изучение влияния предварительной механохимической обработки на процесс растворения углей с разным соотношением Н/С в кислотном меланже (смесь азотной кислоты и серной кислоты в соотношении 9:1), рассмотрение механизма действия кислотного меланжа на уголь.

### Экспериментальная часть.

В работе определяли продолжительность растворения углей с разным соотношением Н/С и временем предварительной механохимической обработки в кислотном меланже, определяли изменение удельной поверхности таких углей. Проводили ИК спектроскопию и РФА образцов угля, подвергнутого механохимической обработке и обработке меланжем.

Характеристики углей, выбранных для исследования, представлены в таблице 1. Угли отличаются соотношением количества атомов водорода к углероду – Н/С: антрацит (А), коксовый слабоспекающийся (КС), длиннопламенный (Д).

Таблица 1. Характеристика углей

| Состав углей, %             | Образец угля |       |       |
|-----------------------------|--------------|-------|-------|
|                             | А            | КС    | Д     |
| Углерод ( $C^{daf}$ )       | 94,6         | 89,6  | 77,4  |
| Водород ( $H^{daf}$ )       | 1,4          | 4,8   | 5,5   |
| Зольность ( $A^d$ )         | 6,3          | 19,0  | 12,4  |
| Влага ( $W^a$ )             | 3,7          | 7,0   | 3,5   |
| Выход летучих ( $V^{daf}$ ) | 3,0          | 20,1  | 45,2  |
| Н/С                         | 0,189        | 0,552 | 0,832 |

Предварительную механохимическую обработку (МО) углей проводили с помощью центробежно-планетарной мельницы АГО-2 в течение 3, 5 и 10 мин. Химическую обработку исходных и мехактивированных углей проводили в кислотном меланже (смесь азотной кислоты и серной кислоты в соотношении 9:1).

В ходе эксперимента подбирали гидромодуль (ГМ) – это отношение объема растворителя к объему угля, при котором происходит их растворение. Наличие не растворившихся частиц угля оценивали визуально: брали небольшое количество получившегося раствора и размешивали в избытке воды для получения дисперсии – не растворившиеся частицы мгновенно осаждались (особенно в растворах исходных углей).

### Результаты и их обсуждение.

Во время реакции углей с кислотным меланжем происходило выделение  $NO_2$ , что свидетельствует о прохождении химической реакции или окисления углей. Время растворения углей в кислотном меланже показано в таблице 2 и составляет от 1 до 15 мин в зависимости от крупности частиц угля.

Таблица 2. Время растворения углей

| Гидро модуль   | Время растворения, мин |    |    |    |    |
|----------------|------------------------|----|----|----|----|
|                | 1                      | 2  | 3  | 4  | 5  |
| Марка угля     |                        |    |    |    |    |
| А, исходный ** | 5                      | 6  | 6  | 5  | 7  |
| А, 3 мин МО**  | 3                      | 6  | 6  | 7  | 7  |
| А, 5 мин МО**  | 3                      | 5  | 5  | 6  | 8  |
| А, 10 мин МО** | 3                      | 4  | 6* | 6  | 10 |
| КС, исходный   | 2                      | 4* | 4  | 4  | 3  |
| КС, 3 мин МО   | 2*                     | 2  | 1  | 1  | 1  |
| КС, 5 мин МО   | 2*                     | 1  | 2  | 2  | 1  |
| КС, 10 мин МО  | 1*                     | 2  | 1  | 1  | 1  |
| Д, исходный    | 2                      | 2  | 4* | 5  | 2  |
| Д, 3 мин МО    | 1                      | 4  | 2* | 2  | 2  |
| Д, 5 мин МО    | 2                      | 2  | 4* | 4  | 2  |
| Д, 10 мин МО   | 2                      | 2  | 2  | 2* | 1  |

\*Произошло растворение угля.

\*\*Растворение проводили при нагревании до 87°C.

Как было замечено, для углей, подвергшихся предварительной механохимической обработке, время растворения сократилось в среднем в 3 раза.

У углей, обработанных меланжем, определяли удельную поверхность методом БЭТ по тепловой десорбции аргона с внутренним этанолом. Изменение удельной поверхности углей представлено на рис. 1.

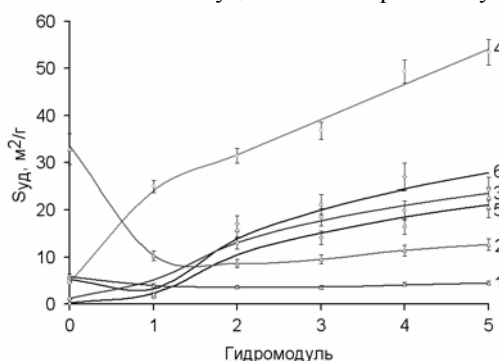


Рис. 1. Изменение удельной поверхности углей, обработанных меланжем: 1 – А, исходный; 2 – А, 10 мин МО; 3 – КС, исходный; 4 – КС, 10 мин МО; 5 – Д, исходный; 6 – Д, 10 мин МО.

Из рис. 1 видно, что с увеличением времени механохимической обработки удельная поверхность угля после обработки его меланжем увеличивается. Это связано с тем, что в процессе МО происходит образование новых поверхностей, с которыми меланж может реагировать.

При увеличении количества растворителя (меланжа) возрастает удельная поверхность углей. Это связано с тем, что большее количество меланжа может реагировать с большим количеством органической и минеральной части угля.

Обнаружено, что увеличение удельной поверхности угля прямо пропорционально содержанию в нем минеральных веществ (таблица 1). Чем выше зольность угля, тем выше значение удельной поверхности конечного продукта. Например, зольность угля КС составляет 19%, и после обработки его пятикратным объемом меланжа удельная поверхность угля достигает 60 м²/г, а после механохимической обработки в течение 10 мин только ~5 м²/г

Увеличение удельной поверхности углей после обработки меланжем связано с тем, что серная и азотная кислоты образуют с минеральной частью угля водорастворимые соли, которые после промывки удаляются.

На ИК спектрах углей (рис. 2), обработанных меланжем, видно, что образуются новые пики, отвечающие колебанию связи N=O в –NO₂ (~1540 см⁻¹, ~1290 см⁻¹ и 820 см⁻¹), S=O, которая входит в состав –SO₃H (~1350 см⁻¹ и ~1010 см⁻¹). Следовательно, происходит прикрепление сульфо- и нитрогрупп к периферийным ароматическим структурам углей.

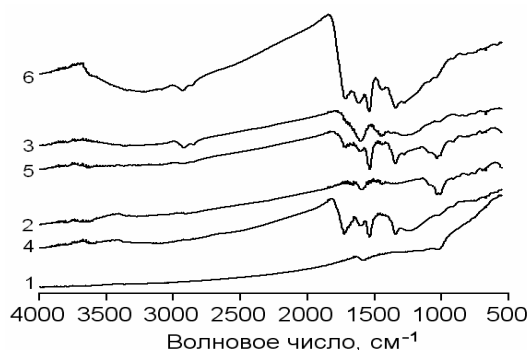


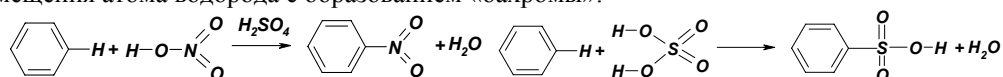
Рис. 2. ИК-спектры углей после механохимической обработки в течение 10 мин: 1 – А, 2 – КС, 3 – Д; и обработанные меланжем после этого: 4 – А, 5 – КС, 6 – Д

Также после обработки меланжем образуется два пика в интервале  $1720-1680\text{ см}^{-1}$ , которые отвечают колебаниям  $\text{C}=\text{O}$  в насыщенных алифатических и ароматических кислотах, т. е. происходит окисление углей.

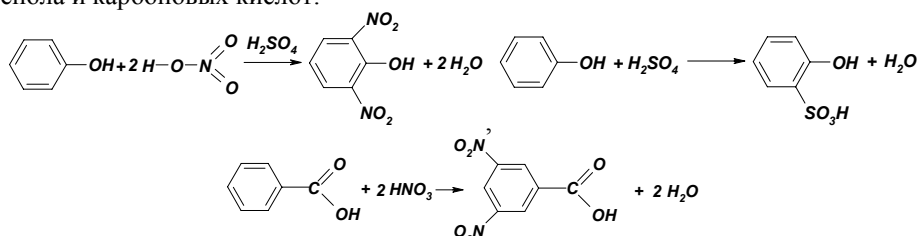
После обработки угля меланжем происходит увеличение интенсивности пика при  $\sim 1600\text{ см}^{-1}$  (рис. 2), который отвечает валентным колебаниям  $\text{C}=\text{C}$  связей в ароматических соединениях с полярными заместителями. Это означает, что количество полярных групп увеличилось после обработки углей меланжем.

Таким образом, можно предположить, что растворение углей происходит за счет прививания сульфо- и нитрогрупп к периферийным бензольным кольцам ароматических структур углей.

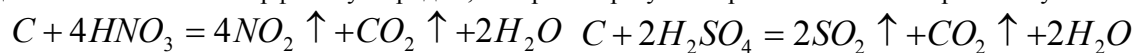
Поскольку графитоподобные структуры состоят из ароматических колец, то, возможно, нитрование углей будет происходить наподобие нитрования бензола и других ароматических углеводородов. Их нитрование проходит при нормальных условиях в присутствии серной кислоты. Так как азотной кислоты в меланже больше, чем серной, скорее всего, сначала будет идти нитрование периферийных бензольных колец, а затем сульфирование. Поэтому можно предположить, что при действии меланжа на уголь будет происходить прививание серосодержащих и азотсодержащих групп:  $-\text{SO}_3\text{H}$  и  $-\text{NO}_2$  ( $-\text{NO}$ ) к периферийным бензольным кольцам по механизму замещения атома водорода с образованием «бахромы»:



Поскольку на поверхности углей имеются функциональные группы, такие как  $\text{C}=\text{O}$ ,  $-\text{OH}$ ,  $-\text{COOH}$ , то кислоты, входящие в состав меланжа, будут реагировать с углем аналогично реакциям нитрования и сульфирования фенола и карбоновых кислот:



Выделение бурого газа  $\text{NO}_2$  – индикатора реакции угля с меланжем, – возможно, обусловлено взаимодействием кислот с аморфным углеродом, который образуется при окислении поверхности углей меланжем:



#### Выводы:

- Показана возможность растворения углей в кислотном меланже и установлено, что механохимическая обработка углей приводит к сокращению продолжительности его растворения в меланже в 3 раза, что доказывает увеличение его реакционной способности.
- Предложен механизм растворения угля: растворение происходит за счет прививания сульфо- и нитрогрупп к периферийным частям полиароматических систем.
- Показано, что изменение удельной поверхности высушенных углей, подвергнутых обработке меланжем, зависит от зольности угля и наличия алифатической «бахромы», которая предотвращает агрегацию угольных молекул.

## ИЗУЧЕНИЕ ТОКСИЧНОСТИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

*Н.В. Журавлева, О.В.Иваныкина*

*Руководитель отдела экологии, хроматографии и нефтепродуктов, к.х.н.  
ОАО «Западно-Сибирский испытательный центр», г. Новокузнецк*

### Аннотация

Представлены обобщенные результаты исследований по определению тяжелых металлов в отходах горнодобывающей промышленности Кемеровской области. Обсуждается возможность миграции ряда элементов в окружающую среду из вскрышных и вмещающих пород.

Generalized results of the investigations on heavy metals determination in waste products of mining industry of Kemerovo region are presented. Migration of some elements to environment from broken rocks is discussed.

Отходы горнодобывающей промышленности создают серьезные геоэкологические проблемы на территории Кемеровской области. Добыча 1000 т угля сопровождается выдачей на поверхность 120–395 т породы. В настоящее время в отвалах горнодобывающей промышленности накопилось более 50 млрд. т вскрышных и вмещающих пород. В 2010 году на территории Кемеровской области образовалось 1,83 млрд. т отходов производства и потребления из которых 1,73 млрд. т (94,7 %) являются отходами при добыче угля и горючих сланцев [1]. В дальнейшем используется около 50 % вскрышных и вмещающих пород, остальные поступают в отвалы. Поэтому одной из главных является задача химического анализа состава отходов для оценки их токсичности и определения перечня соединений, подлежащих экологическому мониторингу на территориях складирования.

Программа изучения отходов, разработанная в ОАО «ЗСИЦентр» [2] включает исследования по следующим направлениям: определение токсичных органических веществ (полициклических ароматических углеводородов, фенолов, хлорорганических, фосфорорганических и симм-триазиновых пестицидов, летучих ароматических углеводородов, нефтепродуктов, СПАВ, формальдегида); определение валовых, подвижных и водорастворимых форм токсичных неорганических веществ (V, Cd, Co, Mn, Cu, Mo, As, Ni, Hg, Pb, Cr, Zn, Sb, W, фторид-, цианид-ионы). В результате такого исследования оценивается влияние отхода на окружающую среду (потенциальный запас токсичных элементов и веществ, поглощение их растениями и поступление в поверхностные и подземные воды). Комплексный подход к исследованию промышленных отходов может быть использован для разработки методических рекомендаций, содержащих информацию по разным направлениям: по номенклатуре обязательных к изучению показателей для конкретных видов отходов, по определению какого либо одного загрязнителя в разных видах отходов, по возможностям аналитических методов в исследованиях групп отходов.

Цель работы состояла в изучении химического состава отходов шахт и разрезов Кемеровской области и оценка степени их воздействия на окружающую среду. В основу положены результаты исследований, проводимых в Западно-Сибирском испытательном центре с 1998 по настоящее время. Систематизация данных проведена по 112 пробам промышленных отходов вскрышных и вмещающих пород. В качестве исследуемого параметра было выбрано содержание тяжелых металлов, которые являются одними из наиболее опасных экотоксикантов.

### *Актуальность проблемы.*

Тяжелые металлы являются приоритетными загрязнителями, наблюдение за которыми обязательно во всех средах. К ним относят более 40 элементов периодической системы Д.И. Менделеева с атомной массой свыше 50 атомных единиц: V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Mo, Cd, Sn, Hg, Pb, Bi и др. По классификации Н. Реймерса, тяжелыми следует считать металлы с плотностью более 8 г/см<sup>3</sup>: Pb, Cu, Zn, Ni, Cd, Co, Sb, Sn, Bi, Hg. В прикладных работах к их числу чаще всего добавляют Pt, Ag, W, Fe, Au, Mn. В России в настоящее время принята следующая классификация элементов по степени токсичности для почв: 1 класс – вещества высоко опасные (Hg, As, Se, Cd, Pb, Zn); 2 класс – вещества умеренно опасные (Cr, Co, Mo, Ni, Cu, Sb); 3 класс – вещества мало опасные (Ba, V, W, Mn, Sr).

### *Результаты исследований.*

При исследовании геоэкологических объектов определялись концентрации валовых, подвижных и водорастворимых форм элементов по утвержденным методикам. Содержание тяжелых металлов в валовых и подвижных формах проводили методами атомной абсорбции. Подвижные формы тяжелых металлов выделяли с помощью ацетатно-аммонийного буферного раствора с pH 4,8. Концентрации водорастворимых форм элементов определяли методами атомной абсорбции с электротермической атомизацией, атомной эмиссии с индуктивно-связанной плазмой и полярографически. Содержание ртути измеряли беспламенным атомно-абсорбционным методом.

Оценка возможного неблагоприятного влияния промышленного отхода на окружающую среду проводится путем сопоставления уровня фактического содержания компонентов отхода в водном и буферном экстрактах с их ПДК для воды рыбохозяйственных водоемов (ПДКв) и содержания в мг/кг отхода с их ПДК в почве (ПДКп). Критерием

загрязнения отхода является кратность превышения нормативов ПДКв и ПДКп. Показателем биологической активности отхода является соотношение подвижных и валовых форм агентов. На основании данных санитарно-химического анализа отхода рассчитывается ориентировочный класс опасности отхода.

Диапазоны содержания элементов во вскрышных и вмещающих породах приведены в таблице 1.

Таблица 1. Содержание тяжелых металлов во вскрышных и вмещающих породах угольных предприятий Кузбасса

| Наименование показателя        | Виды отходов            |                         | ПДК <sub>п</sub> для почвы с учетом фона, мг/кг |
|--------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------------------------------|
|                                | Вскрышные породы (n=60) | Вмещающие породы (n=52) |                                                 |
| Валовые содержания, мг/кг      |                         |                         |                                                 |
| Ванадий                        | 33,6-145,6              | 30,0-145,6              | 150,0                                           |
| Медь                           | 14,2-52,0               | 9,8-38,4                | 55,0*                                           |
| Хром                           | 21,6-171,2              | 20,0-123,3              | 90,0                                            |
| Свинец                         | 10,0-51,7               | 2,0-22,6                | 32,0                                            |
| Никель                         | 16,0-56,4               | 19,4-56,0               | 85,0                                            |
| Кадмий                         | 0,4-0,8                 | 0,4-2,0                 | 1,0*                                            |
| Цинк                           | 46,0-137,6              | 8,4-68,2                | 100,0*                                          |
| Ртуть                          | <0,01-1,5               | <0,01-7,1               | 2,1                                             |
| Олово                          | <1,0-4,1                | <1,0-4,7                | 4,5                                             |
| Сурьма                         | <1,0-5,0                | <1,0-6,5                | 4,5                                             |
| Кобальт                        | 7,9-15,2                | 5,2-7,2                 | -                                               |
| Марганец                       | 304,0-1334,0            | 78,6-994,4              | 1500,0                                          |
| Молибден                       | 4,0-6,0                 | 4,0-10,0                | -                                               |
| Подвижные формы, мг/кг         |                         |                         |                                                 |
| Медь                           | 3,0-17,2                | 3,0-23,8                | 3,0                                             |
| Никель                         | 5,0-13,6                | 7,3-21,0                | 4,0                                             |
| Цинк                           | 19,0-82,4               | 6,1-49,9                | 23,0                                            |
| Свинец                         | 10,0-51,7               | 2,0-22,6                | 6,0                                             |
| Марганец                       | 31,0-539,0              | 26,0-510,8              | 300-700                                         |
| Хром                           | <2,0-4,5                | <2,0-5,4                | 6,0                                             |
| Молибден                       | 0,2-1,2                 | <0,05-1,8               | -                                               |
| Кобальт                        | 0,08-0,1                | 0,08-0,12               | 5,0                                             |
| Водорастворимые формы, мг/кг** |                         |                         | ПДК, мг/дм <sup>3</sup>                         |
| Ванадий                        | <0,0005-0,085           | <0,0005-0,02            | 0,001                                           |
| Кадмий                         | <0,0005-0,0026          | <0,0005                 | 0,01                                            |
| Кобальт                        | <0,0002-0,0015          | <0,0002-0,019           | 0,01                                            |
| Сурьма                         | <0,0005-0,015           | <0,0005-0,015           | 0,05                                            |
| Медь                           | <0,001-0,08             | <0,001-0,20             | 0,001                                           |
| Молибден                       | <0,001-0,15             | <0,001-0,39             | 0,0012                                          |
| Никель                         | <0,0002-0,028           | <0,0002-0,03            | 0,01                                            |
| Мышьяк                         | <0,005-0,13             | <0,005-0,01             | 0,05                                            |
| Свинец                         | <0,0002-0,02            | <0,0002-0,0009          | 0,1                                             |
| Ртуть                          | <0,0001                 | <0,0001-0,0002          | 0,00001                                         |
| Марганец                       | <0,005-0,20             | <0,005-0,23             | 0,01                                            |
| Хром                           | <0,005-0,10             | <0,005-0,055            | 0,001                                           |
| Цинк                           | <0,005-0,51             | <0,005-0,23             | 0,01                                            |

\* Валовое содержание - ориентировочное.

\*\* Так как водная вытяжка выполнена из соотношения твердое вещество:жидкость (1:1), численно содержание водорастворимых форм элементов в мг/кг равно величине в мг/дм<sup>3</sup>.

Из результатов исследований следует, что часть вскрышных пород отличается повышенным содержанием валовых форм Cr (1,9 ПДК), Pb (1,7 ПДК) и Zn (1,3 ПДК). Максимальное превышение ПДК<sub>п</sub> [3, 4] подвижных форм наблюдается по Cu (5,7 ПДК), Ni (3,4 ПДК), Zn (3,6 ПДК) и Pb (8,5 ПДК).

Часть вмещающих пород содержит большое количество валовых форм Hg (превышение ПДК в 3 раза) и Sb (1,4 ПДК). Максимальные концентрации подвижных форм тяжелых металлов в данных отходах превышают ПДК по Cu (7,9 ПДК), Ni (5,3 ПДК), Zn (2 ПДК) и Pb (3,8 ПДК).

Токсичность отходов оценивается не только по величине ПДК<sub>п</sub>, но и по растворимости тяжелых металлов в воде. По сравнению с ПДК для воды рыбохозяйственных водоемов [5] часть вскрышных пород содержит V - 85 ПДК, Cu - 80 ПДК, Mo - 125 ПДК, As - 21 ПДК, Ni - 3 ПДК и Zn - 50 ПДК. Аналогичная ситуация наблюдается по этим же элементам и для вмещающих пород: по V (20 ПДК), Cu (200 ПДК), Mo (325 ПДК), Ni (3 ПДК) и Zn (20 ПДК).

Класс опасности отходов для окружающей среды устанавливался в соответствии с «Критериями отнесения опасных отходов к классу опасности для окружающей природной среды», утвержденными приказом № 511 МПР РФ от 15 июня 2001 г.. Отнесение отходов к классу опасности выполнено расчетным методом на основании систематизированного набора первичных показателей опасности компонентов отхода и в соответствии с Федеральным классификационным каталогом отходов (ФККО).

Показатель степени опасности отходов (К) при добыче угля и горючих сланцев (вскрышные и вмещающие породы), рассчитанный по валовым содержаниям компонентов, как правило, имеет значение менее 2,0. В соответствии с диапазоном значений показателя степени опасности отхода, в данном случае 1-10, данный вид отходов может быть отнесен к пятому классу опасности – «практически неопасные». Однако отсутствие нормативов по подвижным и водорастворимым формам элементов не позволяет сделать такое отнесение однозначным.

#### Выводы:

В подвижных формах и водных вытяжках вскрышных и вмещающих пород присутствуют элементы, содержание которых не нормировано (V, Mn, Mo, Cd, Sb, Hg) или превышает ПДК (Cu, Ni, Zn, Pb, Mo, V, As, Mn, Cr), тогда как нормативная база рассчитана, в основном, для валовых форм тяжелых металлов. Валовое содержание является фактором емкости, отражающим в первую очередь потенциальную опасность загрязнения, но не отражает степени доступности тяжелых металлов для растений и степени миграции их в водную среду.

На основе проведенных исследований можно сделать вывод о миграции элементов. Высокое содержание Zn, V, Ni, Cu, Mn было обнаружено во всех формах вскрышных и вмещающих пород. Содержание Pb велико в подвижной форме, но в воде он малорастворим. Вскрышные и вмещающие породы в большом количестве содержат Cr в валовой форме, в подвижную форму его переходит мало, а в водной вытяжке содержание Cr превышает ПДК в 10-100 раз. Sb, Co и Hg в воде малорастворимы.

Результаты исследований позволяют сделать вывод, что загрязнение водных объектов такими тяжелыми металлами, как V, Cu, Mo, Ni, As, Mn, Cr, Zn может происходить за счет вымывания при фильтрации природных водных потоков через массы вскрышных и вмещающих пород.

По данным количественных анализов были проведены расчеты класса опасности данной группы отходов, которые учитывают только валовое содержание элементов. Отходы отнесены к V классу опасности (практически неопасные).

#### Список литературы:

1. Журавлева Н.В., Воропаева Т.Н., Иваныкина О.В. Комплексная оценка токсичности промышленных отходов предприятий Кемеровской области. // Вестник КузГТУ. 2006. № 6.2. С.86-89.
2. Доклад о состоянии и охране окружающей среды Кемеровской области в 2010 году. Администрация Кемеровской области. – Кемерово, 2011. – 74 с.
3. ГН 2.1.2041-06. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве: Гигиенические нормативы. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2006. – 15 с.
4. ГН 2.1.2042-06. Ориентировочно-допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве: Гигиенические нормативы. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2006. – 11 с.
5. Нормативы качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативы предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектах рыбохозяйственного значения. – Федеральное агентство по рыболовству. Приказ № 20 от 18 января 2010 г. – 214 с.

УДК 547.211:543.544:628.521

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТАНА В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ НА ГРАНИЦАХ САНИТАРНО-ЗАЩИТНЫХ ЗОН ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

*Н.В. Журавлева, Р.Р. Потокينا*

*Руководитель отдела экологии, хроматографии и нефтепродуктов, к.х.н.  
ОАО «Западно-Сибирский испытательный центр», г. Новокузнецк*

#### Аннотация

Содержание метана и его гомологов в атмосферном воздухе на границах санитарно-защитных зон промышленных предприятий определено методом капиллярной газовой хроматографии. Показано, что концентрация метана в атмосферном воздухе находится в диапазоне от 1,0 до 80,6 мг/м<sup>3</sup>.

Content of methane and his homologues in atmospheric air on a boundary of sanitary-hygienic area of an industrial works were determined by capillary gas chromatography. It was shown, that methane concentrations in atmospheric air are in the range from 1,0 to 80,6 mg/m<sup>3</sup>.

Присутствие метана в атмосферном воздухе обуславливается как естественными, так и антропогенными источниками. На территории Кемеровской области основными источниками, создающими наибольший уровень загрязнения воздушного бассейна метаном, являются шахтная вентиляция, дегазационные скважины и передвижные дегазационные установки, промышленные предприятия региона, выхлопные газы автотранспорта, полигоны ТБО.

Метан является активным парниковым газом, его роль в экологических процессах велика. Следовательно, актуальной является проблема инвентаризации существующих источников метана, выявление и прогнозирование появления новых источников. Важны также экспериментальные измерения мощностей отдельных источников. Вопросы, связанные с изучением эмиссии в атмосферу шахтного метана, являются особенно актуальными в Кузбассе.

Ориентировочный безопасный уровень воздействия (ОБУВ) метана в воздухе населенных мест составляет  $50 \text{ мг/м}^3$ , в воздухе рабочей зоны –  $7000 \text{ мг/м}^3$  [1, 2].

Целью данной работы является определение содержания метана в атмосферном воздухе на границах санитарно-защитных зон (СЗЗ) угледобывающих предприятий, полигона ТБО, автозаправочных станций, а так же в атмосферном воздухе населенных мест.

Для отбора проб использовались герметичные контейнеры объемом  $1 \text{ дм}^3$ . Отбор проб осуществлялся в соответствии с утвержденными нормативными методиками.

Анализ атмосферного воздуха проводился на газовых хроматографах «Кристалл-5000.2» (ЗАО «СКБ Хроматэк» г. Йошкар-Ола). Метод основан на сочетании газожидкостной и газоадсорбционной хроматографии с использованием детекторов по теплопроводности (ДТП) и пламенно-ионизационных детекторов (ПИД). Углеводороды C1-C6 разделяли методом газожидкостной хроматографии, а неуглеводородные компоненты (водород, кислород, азот, гелий, оксид углерода и диоксид углерода) – методом газоадсорбционной хроматографии. С использованием данной конфигурации оборудования возможно решение нескольких аналитических задач одновременно:

- определение содержания метана в широких диапазонах от  $0,07 \text{ мг/м}^3$  (0,001 ПДК в воздухе населенных мест) до  $672000 \text{ мг/м}^3$ ;
- определение углеводородов ( $\text{C}_2\text{H}_6$ ,  $\text{C}_3\text{H}_8$ , n- $\text{C}_4\text{H}_{10}$ , i- $\text{C}_4\text{H}_{10}$ , n- $\text{C}_5\text{H}_{12}$ , i- $\text{C}_5\text{H}_{12}$ ,  $\text{C}_6\text{H}_{14}$ );
- определение простых газов (He,  $\text{H}_2$ , CO,  $\text{CO}_2$ , азот, кислород).

Хроматографическое определение метана и его гомологов выполнялось на капиллярной колонке HP-PLOT/Q ( $30 \text{ м} \times 0,53 \text{ мм}$ , толщина привитого слоя полистирол-дивинилбензола  $40,0 \text{ мкм}$ ) и пламенно-ионизационным детектором. Условия хроматографирования: начальная температура колонки –  $50^\circ\text{C}$ , градиент температуры до  $160^\circ\text{C}$  со скоростью  $10^\circ\text{C/мин}$ , градиент температуры до  $200^\circ\text{C}$  со скоростью  $15^\circ\text{C/мин}$ ; расход газа-носителя (азот) –  $12,5 \text{ мл/мин}$ , расход водорода –  $25 \text{ мл/мин}$ , расход воздуха –  $250 \text{ мл/мин}$ , температура детектора (ПИД) –  $250^\circ\text{C}$ , температура испарителя –  $150^\circ\text{C}$ , температура крана-дозатора –  $120^\circ\text{C}$ . В условиях программирования температуры обеспечивается полное разделение компонентов пробы за 25-30 мин (рисунок 1).

Определение метана и неуглеводородных газов выполнялось на составной насадочной колонке ( $1,5 \text{ м} \times 2 \text{ мм}$ , Hayesep Q 80/100 и Carbosive SII 80/100,  $2 \text{ м} \times 3 \text{ мм}$  CaA 60/80) и детекторах по теплопроводности (ДТП) и пламенно-ионизационном. Оксид углерода и диоксид углерода определяются на ПИД после каталитического восстановления этих компонентов до метана в метанаторе. Условия хроматографирования: изотермический режим при  $100^\circ\text{C}$ ; расход газа-носителя (аргон) –  $15,0 \text{ мл/мин}$ , расход водорода –  $30 \text{ мл/мин}$ , расход воздуха –  $300 \text{ мл/мин}$ , температура детектора ДТП –  $100^\circ\text{C}$ , температура детектора ПИД –  $200^\circ\text{C}$ , температура испарителя –  $150^\circ\text{C}$ , температура крана-дозатора –  $100^\circ\text{C}$ , температура метанатора –  $325^\circ\text{C}$ .

Для построения калибровочных зависимостей использовали аттестованные поверочные газовые смеси ООО «Мониторинг» (г. Санкт-Петербург). Обработка результатов анализа проводилась с помощью программного обеспечения «Хроматэк Аналитик 2.5».

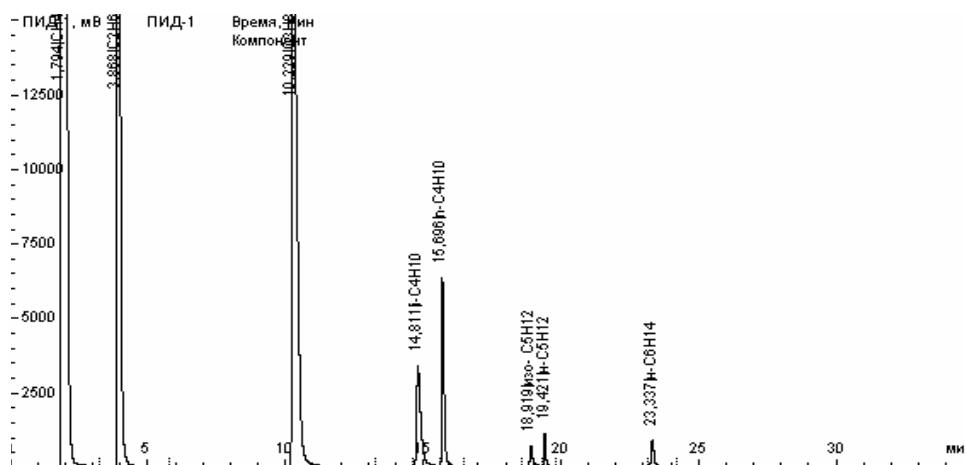


Рис. 1. Хроматограмма поверочной газовой смеси. Хроматограф «Хроматэк Кристалл 5000.2» (ЗАО СКБ «Хроматэк», г. Йошкар-Ола). Колонка HP-PLOT/Q ( $30 \text{ м} \times 0,53 \text{ мм}$ , толщина привитого слоя  $40,0 \text{ мкм}$ ) («Agilent



Technologies», США). Условия хроматографирования приведены в тексте. Пики с временами удерживания: 1,794 мин – метан (0,514 об. %), 3,868 мин – этан (1,55 об. %), 10,223 мин – пропан (1,02 об. %), 14,811 мин – изо-бутан (0,10 об. %), 15,696 мин – н-бутан (0,10 об. %), 18,919 мин – изо-пентан (0,0094 об. %), 19,421 мин – н-пентан (0,0094 об. %), 23,337 мин – н-гексан (0,011 об. %).

Типичная хроматограмма пробы атмосферного воздуха отобранного на границе СЗЗ передвижной дегазационной установки представлена на рисунке 2.

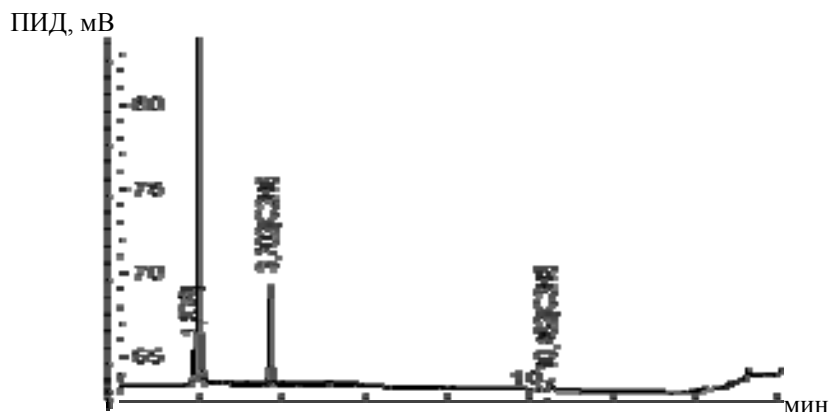


Рис. 2. Типичная хроматограмма пробы атмосферного воздуха, отобранного на границе СЗЗ передвижной дегазационной установки. Хроматограф «Хроматэк Кристалл 5000.2» (ЗАО СКБ «Хроматэк», г. Йошкар-Ола). Колонка HP-PLOT/Q (30 м x 0,53 мм, толщина привитого слоя 40,0 мкм) («Agilent Technologies», США). Условия хроматографирования приведены в тексте. Пики с временами удерживания: 1,992 мин – метан (0,002713 об. %), 3,702 мин – этан (0,00019 об. %), 10,465 мин – пропан (<0,00001 об. %).

Исследование атмосферного воздуха на границах СЗЗ исследованных источников загрязнения показало, что содержание метана в пробах находится в пределах от 1,0 до 80,6 мг/м<sup>3</sup>, доля других углеводородов (этана, пропана, бутана, изобутана) незначительна. Тяжелые углеводороды (пентаны, гексаны) в воздухе не проявляются.

С января по сентябрь 2011 г. года было проанализировано более 200 проб атмосферного воздуха на границах СЗЗ исследуемых объектов. Диапазоны содержания метана в атмосферном воздухе на границах СЗЗ промышленных предприятий представлены в таблице 1.

Таблица 1. Диапазоны содержания метана в атмосферном воздухе на границах СЗЗ промышленных предприятий

| Точка отбора проб атмосферного воздуха          | Диапазон концентраций метана, мг/м <sup>3</sup> |
|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Граница СЗЗ передвижных дегазационных установок | 1,0 – 80,6                                      |
| Граница СЗЗ полигона ТБО                        | 1,2 – 3,5                                       |
| Граница СЗЗ автозаправочных станций             | 1,0 – 3,0                                       |
| Воздух населенных мест                          | 1,0 – 3,0                                       |

#### Выводы:

Метод капиллярной газовой хроматографии позволяет с высокой селективностью и чувствительностью определять концентрации метана и его гомологов в пробах атмосферного воздуха.

На основании проведенных исследований установлено, что метан присутствует во всех исследованных пробах атмосферного воздуха. Концентрация метана в воздухе на высоте 1,5 м - 2,0 м находится в диапазоне от 1,0 мг/м<sup>3</sup> до 80,6 мг/м<sup>3</sup> (1,6 ПДК).

#### Список литературы:

- Ориентировочные безопасные уровни воздействия (ОБУВ) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест: Гигиенические нормативы. ГН 2.1.6.1339-03. – М.: Российский регистр потенциально опасных химических и биологических веществ Министерства здравоохранения Российской Федерации, 2003. – 174 с.
- Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны: Гигиенические нормативы. ГН 2.2.5.1313-03. (утв. Главным государственным врачом РФ 27 апреля 2003 г.).

# КОМПЛЕКСНОЕ РЕШЕНИЕ ВОПРОСА БЕЗОПАСНОСТИ НА ШАХТАХ, ОПАСНЫХ ПО ГАЗУ И ПЫЛИ, И УГОЛЬНЫХ ПЛАСТАХ, СКЛОННЫХ К САМОВОЗГОРАНИЮ (СПОСОБ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ГАЗООБРАЗНОГО УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ)

*В.В. Фомин<sup>1</sup>, В.М. Мысов<sup>2</sup>, В.П. Лукашов<sup>3</sup>, К.Г. Ионе<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup> ООО "МетанЭнергоРесурс", Россия, Кемерово*

*<sup>2</sup> ЗАО "Сибирская технологическая компания "Цеосит", Россия, Новосибирск*

*<sup>3</sup> Институт теоретической и прикладной механики СО РАН, Россия, Новосибирск*

## Аннотация.

В данном докладе рассмотрено комплексное решение вопроса безопасности на шахтах, опасных по газу и пыли, угольных пластах, склонных к самовозгоранию, путем применения способа комплексной переработки газообразного углеродсодержащего сырья. Способ реализуется на установке, состоящей из трех основных блоков (стадий производства) и нескольких вспомогательных блоков.

1-й Блок содержит мембранную установку разделения метансодержащих газов (шахтного метана, метана угольных пластов), где происходит очистка газовой смеси от твердых частиц и влаги с последующим разделением очищенного газа на два потока: а) обедненного метаном потока, б) потока с высоким содержанием метана.

2-й Блок состоит из плазмохимической установки, производящей синтез-газ методом парокислородной конверсии потока с высоким содержанием метана, поступающего с 1-го Блока.

Полученный синтез-газ охлаждают и после прохождения очистки от  $H_2S$  и компрессии направляют в 3-й Блок, содержащий каталитический реактор синтеза бензина, где протекает процесс конверсии синтез-газа на бифункциональном катализаторе при температуре 360-420°C с образованием автобензина АИ-92.

Вспомогательными блоками являются криогенная и когенерационная установки.

Полученный на криогенной установке кислород используют во 2-м Блоке и азот, который закачивают в выработанное пространство шахты с целью вытеснения метана и заполнения выработанного пространства инертным газом.

Когенерационная установка предназначена для обеспечения автономной работы всего технологического комплекса электроэнергией и теплом за счёт сжигания углеводородсодержащих газов с 1-го и 3-го Блоков (стадий производства).

## Annotation.

In this paper a complex solution to the question of mine safety which is hazardous of gas and dust was considered, coal beds that are prone to spontaneous combustion by applying method of complex processing of gaseous carbonaceous raw stock. The method is implemented on a plant consisting of 3 main blocks (stages of production) and several auxiliary units.

The first unit contains membrane installation of separation of gases which contain methane (mine methane, coal bed methane) where occurs a cleaning of gas mixture of solid particles and moisture followed by separation of the purified gas into two streams: a) depleted methane flux, b) flow with high methane content.

The second unit consists of plasma-chemical installation producing synthesis gas by method of steam-oxygen conversion flow with a high content of methane coming from the first unit.

The derived synthesis gas is cooled off and after removal of  $H_2S$  and compression it is directed to the third block, containing catalytic reactor of synthesis of gasoline, where is a process of conversion of synthesis gas on the bifunctional catalyst at a temperature of 360-420°C with the formation of car gasoline AI-92.

The auxiliary units are cryogenic and co-generation installation.

Obtained in the cryogenic installation oxygen is used in the second unit and nitrogen which is pumped into the waste of mine for the purpose of methane displacement and fill out waste with inert gas.

Co-generation installation is intended for providing autonomous work of all technological complex with electric power and heat from the burning of hydrocarbon gases from the 1st and 3rd blocks (stages of production).

Данный способ комплексной переработки газообразного углеродсодержащего сырья относится к способам переработки метансодержащих газов, включая шахтный метан, метан угольных пластов, природный и коксовый газы [1].

Полученное, в ходе производства, количество азота достаточно для ведения профилактики эндогенных пожаров и ликвидации скоплений газа опасных концентраций.

Конечным продуктом переработки шахтного метана является высокооктановый бензин и/или другой высоколиквидный химический продукт и сопутствующее производство электрической и тепловой энергии.

Данная технология позволяет разработать современную комплексную программу безопасности и рентабельной эксплуатации угольных шахт России, включая мероприятия связанные с дегазацией и утилизацией

шахтного метана, выделяемого из угольных пластов в горные выработки действующих и отработанных выемочных полей.

*Назначение и основные стадии производства.*

1. Вакуум-насосная станция необходима для ведения дегазационных работ [2].
2. Криогенная установка производит:
  - Азот ( $N_2$ ), для инертизации выработанного пространства, мониторинга скоплений метана, профилактики эндогенных пожаров, снижения уровня взрывоопасности рудничной атмосферы.
  - Аргон (Ar), для обеспечения непрерывной работы плазмотрона (~500 ч.).
  - Кислород ( $O_2$ ), для плазменно-кислородной конверсии метана в синтез-газ.
3. Мембранная установка служит для подготовки метановоздушной струи и разделению её на два потока, с повышенным содержанием метана ( $CH_4$ ) в одном из них (*1 стадия*).
4. Плазмохимическая установка производит синтез-газ из подготовленной газовой смеси (*2 стадия*) [3].
5. Каталитическая установка «Цеосин» в одну стадию позволяет получить из синтез-газа высокооктановый бензин (*3 стадия*). [4-6]

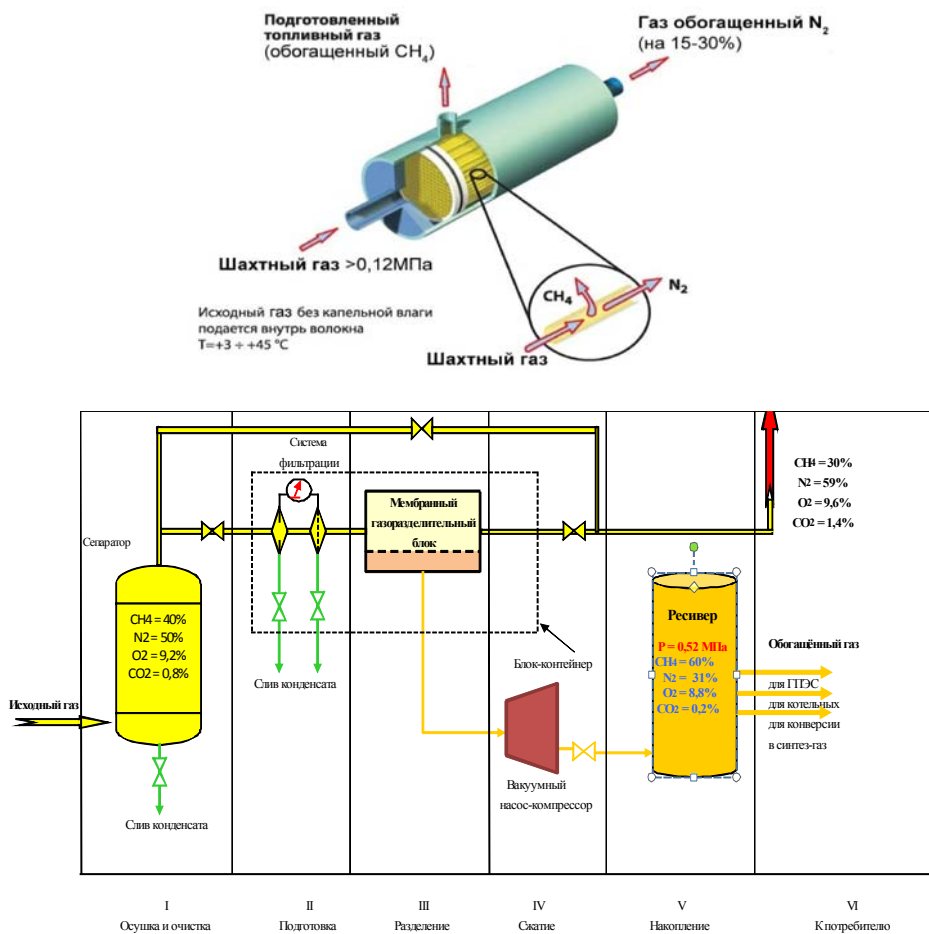


Рис.1. Технологическая схема установки повышения концентрации метана.

*Принцип работы.*

1. По средствам дегазации метановоздушная смесь через вакуум-насосную станцию поступает на мембранную установку разделения газа (*на 1-ю стадию*), где происходит очистка смеси от твёрдых частиц и влаги (рис.1). Далее поток газовой смеси поступает на мембранный картридж, который разделяет смесь на два потока: обеднённый метаном поток направляют на сжигание в когенерационную установку, а обогащённый метаном поток, вместе с кислородом, выделенным из воздуха на криогенной установке, подают в электродуговой плазмотрон (*на 2-ю стадию*). Входящий газовый поток метана после нагрева в плазмотроне до  $1500^{\circ}C$  подают в камеру смешения плазмохимического реактора, куда поступает подогретый кислород со стадии рекуперации тепла.

2. Полученный синтез-газ охлаждают и после прохождения очистки и компрессии направляют в каталитический реактор синтеза бензина (*на 3-ю стадию*), где процесс конверсии синтез-газа проводят на бифункциональном катализаторе при температуре  $360-420^{\circ}C$ . После охлаждения выходящего из реактора газа до  $10-30^{\circ}C$  и конденсации бензиновой фракции и воды остаются углеводородные (УВ) газы, содержащие водород,

оксиды углерода, УВ  $C_1-C_4$ , которые подают на когенерационную установку для сжигания совместно с обеднённым метаном потоком от 1-ой стадии.

3. Полученный на криогенной установке азот закачивают в выработанное пространство шахты с целью вытеснения метана и заполнения выработанного пространства инертным газом.

4. Когенерационная установка предназначена обеспечить автономную работу всего технологического комплекса электроэнергией и теплом за счёт сжигания двух потоков углеводородсодержащих газов от 1-ой и 3-ей стадии процесса.

#### *Решаемые задачи.*

1. *Повышение безопасности горных работ:*
  - инертзация выработанного пространства;
  - мониторинг локальных и региональных скоплений метана;
  - профилактика газодинамических явлений и эндогенных пожаров;
  - эффективный способ дегазации ранее отработанных выемочных участков и шахтных полей.
2. *Альтернативный источник электроснабжения предприятия:*
  - независимый источник электроэнергии в аварийной ситуации для потребителей 1-ой категории;
  - автономное обеспечение электроэнергией всей установки;
  - работа энергоустановки в режиме «автономно» и «параллельно с сетью».
3. *Источник технической воды для предприятия:*
  - подпитка системы отопления зданий и сооружений;
  - заливка системы водокольцевых вакуум-насосов.
4. *Теплоснабжение предприятия:*
  - подогрев вентиляционной струи в калориферных установках;
  - отопление и ГВС зданий и сооружений;
  - обогрев газопроводов и ВНС.
5. *Решение экологических проблем предприятия:*
  - снижение выбросов парниковых газов в атмосферу;
  - уменьшение штрафов за выбросы;
  - отсутствие вредных продуктов переработки шахтного метана.
6. *Повышение рентабельности предприятия:*
  - выпуск нового коммерческого продукта – товарного бензина;
  - независимость от рыночных колебаний цены на бензин;
  - обеспечение топливом собственный транспорт.

#### *Список литературы:*

1. Мысов В.М., Лукашев В.П., Фомин В.В., Ионе К.Г., Ващенко С.П. и Соломичев М.Н., заявка №2011116824/024974 на патент «Способ комплексной переработки газообразного углеродсодержащего сырья (варианты)», приоритет от 27.04.2011.
2. Фомин В.В., Семенов С.Г., патент РФ на полезную модель № 84918 «Автономная дегазационная установка», опубл. 20.07.2009.
3. Жуков М.Ф., Кобрин В.С., Лукашев В.П. и др., патент РФ № 2093754 «Способ и устройство для плазменного пиролиза жидких углеводородов», БИ №29, 1997.
4. Ионе К.Г., Мысов В.М. Синтез органических соединений с применением смесей водорода и оксидов углерода на бифункциональных цеолитсодержащих катализаторах. В кн.: «Катализ в превращениях угля». Научные труды 3-го Международного Симпозиума, Новосибирск 10-13 июля 1997, 73-84.
5. Mysov V.M., Reshetnikov S.I., Stepanov V.G. and Ione K.G. Synthesis gas conversion into hydrocarbons (gasoline range) over bifunctional zeolite-containing catalyst: experimental study and mathematical modelling. Chemical Engineering Journal 107 (2005) 63-71.
6. Мысов В.М. и Ионе К.Г., патент РФ № 2284312 "Способ получения углеводородов из оксидов углерода и водорода", опубл. 27.09.2006.

## ПОЛУЧЕНИЕ УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ ЕСТЕСТВЕННО ОКИСЛЕННЫХ УГЛЕЙ

*Манина Т.С., Исмагилов З.Р., Семенова С.А., Федорова Н.И., Болтнева А.В., Лырщиков С.Ю.  
Институт углехимии и химического материаловедения СО РАН, г. Кемерово*

На основе естественноокисленных углей Кузбасса были получены углеродные материалы. Изучено влияние щелочной пропитки на свойства углеродных материалов. Было определено оптимальное соотношение количества щелочи и угольного сырья для получения углеродного материала, обладающего характеристиками высокоактивного адсорбента.

Carbon materials were received from naturally oxidized coal of Kuzbass. The report provides with results of analysis of alkali impregnation on properties carbon materials. The optimal ratio of alkali and coal raw material was determined for production of carbon materials with the characteristics of highly absorbent.

Ежегодно в угледобывающей и углеперерабатывающей промышленности образуются большие количества органоминеральных отходов. К ним относятся угольные шламы, а также угли, окисленные в пластовых условиях и при хранении, накопление которых зачастую приводит к самовозгораниям и оказывает негативное влияние на окружающую среду.

Следовательно, переработка таких некондиционных углей, непригодных для энергетических целей и коксования, имеет особую актуальность. Одним из видов продукции, получаемых на основе отходов углепереработки, могут быть углеродные материалы (УМ).

Существует множество схем получения УМ, которые в основном включают предварительное окисление угольного вещества (например, кислородом воздуха, минеральными кислотами, перекисью водорода и т.д.), карбонизацию и активацию газом или химическими реагентами. Упростить известные схемы получения УМ можно, используя в качестве исходного материала естественноокисленный уголь, насыщенный кислородсодержащими группами в аэробных условиях природного залегания.

Свойства получаемых УМ зависят от природы угольного вещества и соотношения КОН/исходный уголь. В результате выветривания в пластовых условиях органическая масса углей приобретает новый набор кислородных функциональных групп. Наличие ОН-кислотных и других функциональных групп в ОМУ естественноокисленных углей обуславливает высокую реакционную способность таких углей по отношению к активирующему агенту (КОН), что положительно влияет на процесс активации. При этом увеличивается величина удельной поверхности, изменяются адсорбционные свойства УМ и распределение пор по размерам. Преимуществами данного метода получения УМ являются: возможность решения проблем утилизации естественноокисленных углей, экономическая привлекательность ввиду дешевизны сырья, а также широчайшее применение получаемых УМ в качестве носителей катализаторов, сорбентов, строительных материалов и других видов продукции.

Целью настоящего исследования являлась оценка возможности получения пористых УМ на основе углей, окисленных в пластовых условиях.

В задачи работы входило исследовать изменение пористой структуры получаемых УМ в зависимости от стадии метаморфизма исходных углей, подобрать оптимальное соотношение угольного сырья и химического активатора для получения высокопористого УМ. Характеристика образцов исследования представлена в табл. 1.

Гидроксид калия вводили в угольный каркас импрегнированием – пропиткой водно-щелочным раствором с последующей сушкой и термолизом. Твердые продукты термолиза – углеродные материалы подвергали декатионированию – промывке раствором соляной кислоты. По полученным образцам регистрировали изотермы адсорбции-десорбции азота при температуре 77 К (-196 °С), по которым определяли удельную поверхность УМ. Для оценки адсорбционных характеристик образцов, полученных на основе длиннопламенного угля, использовали тест-методику определения адсорбционной активности по бензолу ( $A_B$ , мг/г) и элементному йоду ( $A_I$ , мг/г). Для сравнения свойств УМ использовали карбонизаты на основе исходных углей без обработки щелочью.

В табл. 2 представлена характеристика полученных углеродных материалов на основе длиннопламенного угля, обработанного щелочью в разных соотношениях и промышленного образца активного угля марки АГ-2. С увеличением соотношения щелочь/уголь от 0,5 до 2 заметно увеличивается удельная поверхность от 835 до 1437 м<sup>2</sup>/г, адсорбционная активность по бензолу возрастает от 435 до 770 мг/г и по йоду от 1026 до 2290 мг/г. При этом свойства полученных УМ не уступают промышленному прототипу.

Таблица 1. Характеристика исходных углей

| Марка угля и место отбора | Влага $W^a$ , % | Зольность $A^d$ , % | Высшая теплота сгорания $Q_s^{daf}$ , МДж/кг | Элементный состав, % на daf |     |       | Н/С  | Функциональный состав, мг-экв/г |      |      |
|---------------------------|-----------------|---------------------|----------------------------------------------|-----------------------------|-----|-------|------|---------------------------------|------|------|
|                           |                 |                     |                                              | С                           | Н   | N+S+O |      | COOH                            | ОН   | СО   |
| Б, разрез Кайчакский      | 11,9            | 19,1                | 21,60                                        | 62,0                        | 3,2 | 34,8  | 0,62 | 3,72                            | 2,57 | 4,12 |
| Д, разрез Моховский       | 14,2            | 14,0                | 23,20                                        | 65,0                        | 3,4 | 31,6  | 0,63 | 3,30                            | 2,42 | 2,12 |
| СС, разрез Шестаки        | 22,8            | 16,2                | 25,26                                        | 72,7                        | 2,4 | 24,9  | 0,40 | 1,61                            | 1,21 | 1,62 |
| Т, разрез Апанасовский    | 4,1             | 12,2                | 30,88                                        | 84,6                        | 2,6 | 12,8  | 0,51 | 0,18                            | 0,60 | 0,75 |

Таблица 2. Характеристика полученного УМ и промышленного образца активного угля марки АГ-2

| Образец                   | Соотношение щелочь/уголь, г/г | Удельная поверхность $S_{\text{ВЕТ}}$ , м <sup>2</sup> /г | Адсорбционная активность         |                               |
|---------------------------|-------------------------------|-----------------------------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
|                           |                               |                                                           | по бензолу $A_{\text{Б}}$ , мг/г | по йоду $A_{\text{И}}$ , мг/г |
| УМ на основе угля марки Д | 0,5                           | 835                                                       | 102                              | 43                            |
|                           | 1,0                           | 1139                                                      | 132                              | 63                            |
|                           | 2,0                           | 1437                                                      | 228                              | 77                            |
| АГ-2                      | Без обработки                 | 683                                                       | 307                              | 270                           |

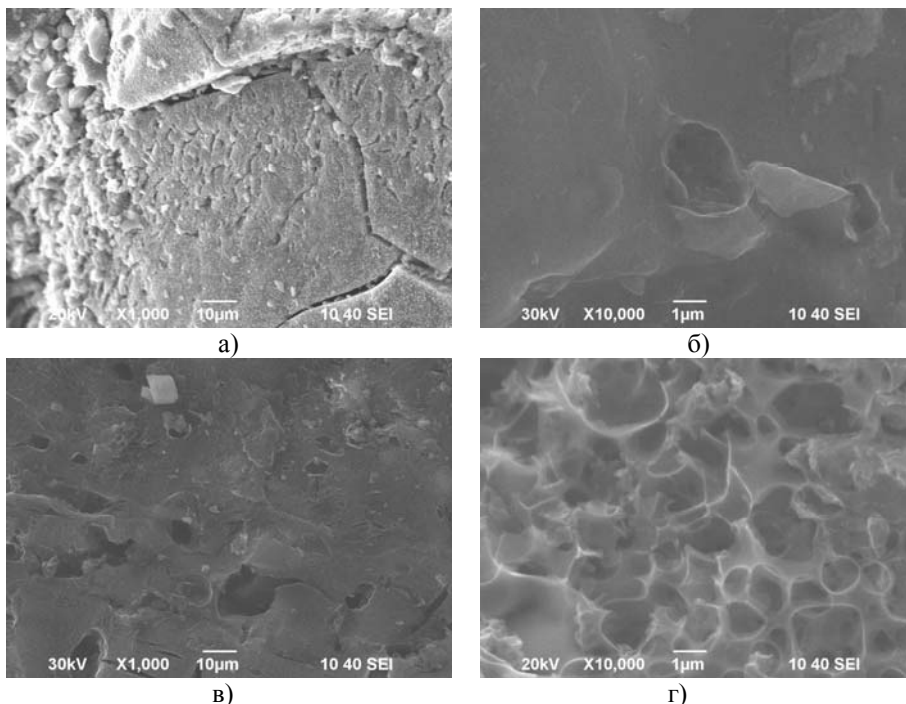
По мнению авторов, оптимальным соотношением для получения УМ с развитой удельной поверхностью является 1,0 г/г. Превышение количества щелочи приводит к осложнению процесса получения УМ.

Изменение удельной поверхности УМ, полученных из окисленных углей разной стадии метаморфизма при различном соотношении щелочь/уголь, представлено в табл. 3. С увеличением количества щелочи удельная поверхность образцов возрастает. При этом наибольшее влияние добавка щелочи оказывает на свойства УМ из естественноокисленных углей низкой и средней стадии метаморфизма. Окисление этих углей в природных условиях протекает глубже ввиду особенностей их строения - «разрыхленности» структуры, наличия большого количества слабых химических связей, способных к взаимодействию с кислородом воздуха. Поэтому данные угли проявляют высокую активность по отношению к щелочи.

Таблица 3. Удельная поверхность УМ

| Образец          | Удельная поверхность $S_{\text{ВЕТ}}$ , м <sup>2</sup> /г при соотношении КОН/уголь, г/г |      |     |     |      |
|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|------|-----|-----|------|
|                  | 0                                                                                        | 0,25 | 0,5 | 1,0 | 2,0  |
| УМ угля марки Б  | 245                                                                                      | 435  | 750 | 847 | 1014 |
| УМ угля марки Д  | 64                                                                                       | 260  | 743 | 898 | 1032 |
| УМ угля марки СС | 68                                                                                       | 522  | 774 | 791 | 1243 |
| УМ угля марки Т  | 96                                                                                       | 120  | 390 | 550 | 682  |

На рисунке представлены микрофотографии углеродных материалов на основе бурого угля, по которым видно, что с увеличением количества добавляемой щелочи происходит образование большего количества пор и изменяется их морфология. Поверхность УМ из исходных углей имеет трещиноватую структуру, а при соотношении 2,0 г/г - губчатую.



Электронные микрофотографии УМ на основе бурого угля: а) УМ из исходного угля; б) УМ при соотношении 0,5 г/г; в) УМ при соотношении 1,0 г/г; г) УМ при соотношении 2,0 г/г.

Таким образом, установлена возможность получения высокопористых УМ на основе естественноокисленных углей. Для этих целей предпочтительнее использовать естественноокисленные угли низкой и средней стадии метаморфизма. Оптимальным соотношением щелочь/уголь является 1,0 г/г. УМ, полученные при такой обработке исходного угля, обладают высокой удельной поверхностью и сорбционной активностью по бензолу и йоду.

УДК 552.57 : 66.0943 : 541.67.183

## ПРИРОДА ЭЛЕКТРОННОГО ПАРАМАГНЕТИЗМА И ОПТИЧЕСКОГО ПОГЛОЩЕНИЯ ПИРОЛИЗОВАННЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

*В.А. Полубояров, О.В. Андрюшкова*

*Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, Новосибирск*

The present literature survey summarizes the data available presently on the causes of paramagnetism of nature organic substances. The proposed model of electron paramagnetic centre is a polycondensable system of both aromatic and nonaromatic nature with uneven number of carbon atoms in it. It has been found that the absence of temperature dependence of the ESR signal width for paramagnetic centres in coal-graphite materials without admixtures is explained by the existence in them of degenerate two-dimensional electron gas of conduction electrons. It has been established in the presence of admixtures the linear dependence of the ESR signal width is explained by the occurrence of three dimensional degenerate electron gas. Thus, the employment of the relaxation theory of electron gas with paramagnetic centres enables explanation four types of the observed ESR signals for pyrolysed organic substances. Analysis of data on the optical absorption of for pyrolysed organic substances allows estimation of the width of the forbidden zone due to the presence of polycondensable aromatic systems.

Настоящая работа обзор суммирует данные, о причинах парамагнетизма органических пиролизированных веществ. Предложенная модель электронного парамагнитного центра - полисопряженная система ароматического или неароматического характера с нечетным числом атомов углерода в ней. Было показано, что отсутствие температурной зависимости ширины ЭПР-сигнала для парамагнитных центров в пиролизированных органических веществах без примеси объясняется существованием в них вырожденного двухмерного электронного газа электронов проводимости. Установлено, что в присутствии примеси, линейная зависимость ширины ЭПР-сигнала объясняется возникновением трехмерного вырожденного электронного газа. Таким образом, теория релаксации электронного газа с парамагнитными центрами позволяет объяснить четыре типа наблюдаемых ЭПР-сигналов в пиролизированных органических веществах. Анализ данных оптического поглощения для пиролизированных органических веществ позволяет оценить ширину запрещенной зоны полисопряженных ароматических систем.

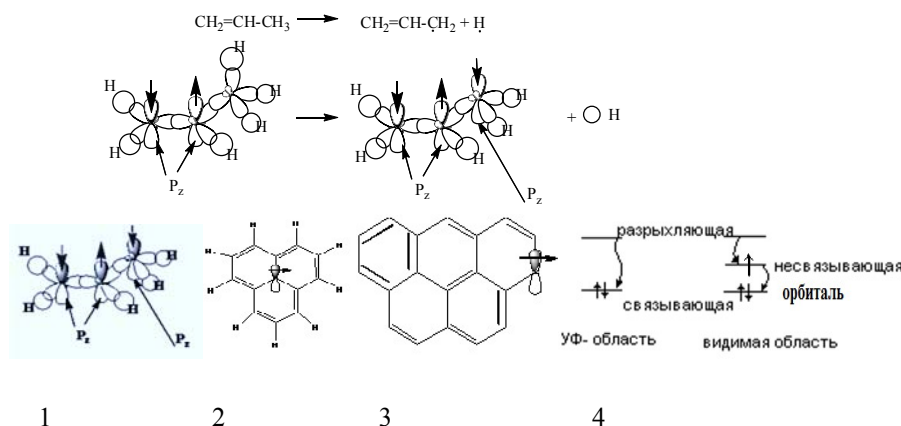
Известно, что все микроструктурные элементы веществ - электроны, протоны и нейтроны - являются элементарными носителями магнитного момента, поэтому и любые их комбинации - атомные ядра и электронные оболочки и комбинации этих комбинаций, т.е. атомы, молекулы и микроскопические тела, - в принципе могут быть источниками магнетизма. Отсюда следует утверждение об универсальном характере магнетизма: магнитные свойства присущи всем веществам, все они суть магнетики. Внешнее магнитное поле (МП) оказывает влияние на атомные, орбитальные и спиновые моменты. Один из основных эффектов внешнего МП - диамагнитный, являющийся следствием закона индукции Фарадея, когда по правилу Ленца МП всегда создает такой индукционный ток, МП которого направлено против внешнего МП. Поэтому создаваемый внешним полем диамагнитный момент всегда отрицателен по отношению к этому полю. Из-за универсальности этого эффекта можно сказать, что все вещества обладают диамагнетизмом, однако на практике он наблюдается далеко не всегда. Это объясняется тем, что часто диамагнитный эффект перекрывается более сильным парамагнитным эффектом.

Природное углеродсодержащее органическое вещество (ОВ) также обладает электронным парамагнетизмом (ЭПМ), причем впервые этот эффект был обнаружен для графитов, а впоследствии - для углей.

Информация о природе ЭПМ может быть получена из анализа параметров спектров ЭПР (анизотропии g-факторов и констант сверхтонкой структуры (СТС). Однако спектры ЭПР в X- и Q-диапазонах, например, углей и коксов, как правило, не являются анизотропными, и обычно величина g-фактора близка к таковой свободного электрона  $g_e = 2.0023$  без СТС. Поэтому какую-либо детальную информацию о природе ЭПМ из таких ЭПР-спектров извлечь трудно. Для этой цели, однако, можно воспользоваться другими свойствами парамагнитных центров (ПМЦ) углей и коксов: чувствительностью к адсорбции кислорода, к степени конденсированности, температурными зависимостями ширины сигнала, а также формой линий ЭПР. Отметим, что форма линии ЭПР для углей начальных стадий метаморфизма, как и для коксов, полученных при низких температурах, - лоренцева с примесью гауссовой на крыльях, и с увеличением температуры пиролиза или стадии метаморфизма углей она становится чисто лоренцевой.

В работе [1] представлено обоснование термодинамической стабильности в «нормальных» условиях радикалов подобных  $\pi$ -аллильному (рис.1) с нечетным числом атомов углерода в  $\pi$ -системе с числом атомов углерода больше семи.

Рисунок 1:



Поэтому полиароматические радикалы с нечетным числом атомов углерода в  $\pi$ -системе рис.2,3, а также полиароматика с большим числом бензольных колец (с нечетным числом атомов углерода в  $\pi$ -системе) также являются термодинамически стабильными в «нормальных» условиях.

Так как разрыв связи C—H в полипропилене приводит к смене  $sp^3$ -гибридизации на  $sp^2$ , то становится возможным участие  $p_z$ -негибридизованной орбитали в образовании  $\pi$ — $\pi$ -связи (рис.1). Энергия одинарной C—C связи составляет  $\sim 80$  ккал/моль, а двойной C=C связи -  $\sim 110$  ккал/моль, поэтому образование  $\pi$ — $\pi$ -связи компенсирует порядка 30 ккал/моль, а так как энергия разорванной связи C—H равна 60 ккал/моль,  $\pi$ -аллильный радикал не стабилен при температуре порядка 300 К. Хорошо известно, что увеличение количества двойных связей в молекуле углеводорода приводит к увеличению ее стабильности за счет энергии делокализации. Причем увеличение количества двойных связей на единицу приводит к увеличению энергии стабилизации примерно на 10 ккал/моль. Следовательно, для того, чтобы углеводородный радикал типа  $\pi$ -аллильного был стабилен, необходимо, чтобы он имел еще две двойные связи. Таким образом, стабильны будут те радикалы, в которых количество атомов углерода в полисопряженной системе больше семи. Полисопряженные ароматические углеводороды, состоящие из нечетного числа гексагональных колец, также являются стабильными радикалами. Известен спектр ЭПР такого стабильного радикала состоящего из трех гексагональных колец, имеющего название перинафтилена (рис.2). Такие углеводороды будут получаться из такого углеводорода добавлением к нему по два кольца (рис.3).

Таким образом, парамагнетизм пиролизированных органических веществ обусловлен полисопряженными или полиароматическими соединениями с нечетным числом атомов углерода в  $\pi$ -системе.

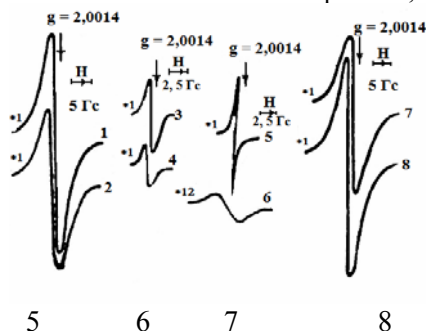
Нечетное число атомов углерода в  $\pi$ -системе приводит к появлению несвязывающей орбитали между связывающей и разрыхляющей орбиталью (рис. 4). Поэтому, если у соединений с четным числом атомов углерода



в  $\pi$ -системе  $\pi$ - $\pi^*$  переход попадает в УФ-область, то у соединений с нечетным числом атомов углерода в  $\pi$ -системе  $\pi$ - $\pi^*$  переход попадает в видимую область (рис. 4). Поэтому появление парамагнетизма пиролизованных органических соединений, обусловленного полисопряженными или полиароматическими соединениями с нечетным числом атомов углерода в  $\pi$ -системе приводит к поглощению света в видимой частотной области.

В данной работе было исследовано органическое вещество современных осадков, торфа, углей всех стадий метаморфизма, нефтей, смол, асфальтенов и керогенов всех стадий катагенеза.

В спектрах ЭПР органического вещества в вакууме наблюдаются синглетные изотропные сигналы с  $g$ -факторами от 2.0035 для современных осадков, торфа, некоторых смол, асфальтенов и углей низких стадий метаморфизма до 2.0024 для углей и керогенов антрацитовой стадии катагенеза, очищенных от кислородсодержащих радикалов пятихлористой сурьмой. Ширина сигналов ЭПР в вакууме с  $g$ -факторами более 2.0024 в Q-диапазоне увеличивается по сравнению с X-диапазоном, что связано с тем, что эти сигналы являются суперпозицией сигналов кислородсодержащих радикалов с разными  $g$ -факторами. Для сигналов ЭПР с  $g$ -факторами 2.0024 ширина в вакууме не меняется при переходе из X- в Q-диапазон. Наблюдаются три типа сигналов ЭПР с  $g$ -фактором, равным 2.0024, отличающихся различными изменениями при взаимодействии с молекулярным кислородом. Сигнал ЭПР называется “широким”, если при введении кислорода к образцу его ширина не изменяется, а падает только интенсивность таким образом, что от одной молекулы кислорода исчезает один парамагнитный центр (рис. 5). Сигнал называется “узким” первого типа, если при введении кислорода к образцу его ширина не меняется, а пиковая интенсивность падает таким образом, что от одной молекулы кислорода исчезает около ста парамагнитных центров (рис. 6). Сигнал называется “узким” второго типа, если при введении к образцу кислорода его ширина увеличивается пропорционально давлению кислорода, а пиковая интенсивность падает таким образом, что интегральная интенсивность остается постоянной (рис. 7). Причем в присутствии кислорода наблюдается линейная температурная зависимость ширины сигнал. Ширина предыдущих сигналов не изменяется при изменении температуры измерения. Кроме описанных типов сигналов ЭПР органических веществ нами обнаружен еще один, характерный для пленок асфальтенов, полученных осаждением гексаном из спирт-бензольных или хлороформенных экстрактов. При введении кислорода к образцам асфальтенов, полученных таким образом, пиковая интенсивность сигналов ЭПР возрастает, а ширина не меняется (рис. 8).



Увеличение числа атомов углерода в полисопряженных системах приводит к еще большему уменьшению энергий переходов с верхней связывающей на нижнюю разрыхляющую МО и, в свою очередь, к появлению у ОВ сначала полупроводниковых свойств, а затем высокой проводимости (у графита). Это обстоятельство приводит к необходимости рассмотреть влияние электронов проводимости на спектры ЭПР пиролизованных органических веществ.

#### Модели C-S-, C-S-L-, C-S-P-релаксации

В работе использовалась модель релаксации электронного газа с парамагнитными центрами, разработанная Оверхаузером.

Все полученные данные о температурной зависимости ширины сигнала ЭПР объединены в табл.. При этом учитывалось, что при  $T < \theta$   $1/T_{SL} \sim T^5$ , а при  $T > \theta$   $1/T_{SL} \sim T$ , где  $\theta$  -температура Дебая, а также то, что  $T_{SP}$  не зависит от температуры при  $T < \theta$  и  $1/T_{SP} \sim a-b/T$  при  $T > \theta$ .

Таблица. Зависимости  $\Delta H$  от температуры в разных моделях релаксации

| Состояние электронного газа                    | C—S-релаксация                                | C—S—L-релаксация                                                                                                      | C—S—P-релаксация                                                                                                     |
|------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Вырожденный трех-<br>мерный электронный<br>газ | $\Delta H \sim 1/T_{CS}$<br>$\Delta H \sim T$ | $\Delta H \sim T_{SC}/(T_{CS}T_{SL})$<br>$\Delta H \sim T^6$ при $T < \theta$<br>$\Delta H \sim T^2$ при $T > \theta$ | $\Delta H \sim T_{SC}/(T_{CS}T_{SP})$<br>$\Delta H \sim T$ при $T < \theta$<br>$\Delta H \sim aT-b$ при $T > \theta$ |
| Невырожденный трех-<br>мерный электронный газ  | $\Delta H \sim T^{1/2}$                       | $\Delta H \sim T^{11/2}$ при $T < \theta$<br>$\Delta H \sim T^{3/2}$ при $T > \theta$                                 | $\Delta H \sim T^{1/2}$ при $T < \theta$<br>$\Delta H \sim aT^{1/2}-bT^{-1/2}$ при<br>$T > \theta$                   |
| Вырожденный двух-<br>мерный электронный<br>газ | $\Delta H \sim \text{const}$                  | $\Delta H \sim T^5$ при $T < \theta$<br>$\Delta H \sim T$ при $T > \theta$                                            | $\Delta H \sim \text{const}$ при $T < \theta$<br>$\Delta H \sim a-b/T$ при $T > \theta$                              |

|                                                  |                              |                                                                            |                                                                                         |
|--------------------------------------------------|------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| Невырожденный двух-<br>мерный электронный<br>газ | $\Delta H \sim \text{const}$ | $\Delta H \sim T^5$ при $T < \theta$<br>$\Delta H \sim T$ при $T > \theta$ | $\Delta H \sim \text{const}$ при $T < \theta$<br>$\Delta H \sim a-b/T$ при $T > \theta$ |
|--------------------------------------------------|------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|

На основании вышеприведенных данных можно классифицировать все наблюдаемые в природном ОВ сигналы ЭПР, используя данные табл.

Таким образом, показано, что парамагнетизм пиролизованного ОВ можно объяснить существованием в нем как ароматических, так и неароматических полисопряженных систем с нечетным числом атомов углерода. Найдено, что отсутствие температурной зависимости ширины сигнала ЭПР парамагнитных центров в углеграфитовых материалах без примеси может быть объяснено существованием в них вырожденного или невырожденного двухмерного электронного газа электронов проводимости. При этом наиболее эффективна  $C-S$ -релаксация, а  $C-S-P$  неэффективна. Установлено, что в присутствии примесей в углеграфитовых материалах линейная зависимость ширины сигнала ЭПР ПМЦ от температуры может быть объяснена тем, что в этих условиях двухмерный вырожденный электронный газ становится трехмерным вырожденным. В этом случае эффективна  $C-S-P$ -релаксация.

#### Список литературы:

1.В.А. Полубояров, О.В. Андриюшкова, М.Ю. Булыникова. Природа электронного парамагнетизма и оптического поглощения пиролизованных органических веществ // Сибирский химический журнал, 1992. В.5. С.5-22.

**УДК 552.57: 54.02**

## НАУКА О САПРОПЕЛИТОВЫХ УГЛЯХ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В РЕГИОНЕ

*Рокосов Ю. В., Рокосова В. Ю.*

*Институт углехимии и химического материаловедения СО РАН  
650000 Россия, Кемерово, Советский пр. 18. E-mail: geochem@ngs.ru*

Основная идея доклада состоит в том, что дальнейшие перспективы исследования сапропелитов связаны с разработкой высоких технологий изучения их органической массы. Для реализации этой идеи предложена конкретная программа действий. Эта программа касается всех сапропелитовых сырьевых ресурсов – сапропелитовых углей, горючих сланцев, осадочных пород с рассеянным сапропелитовым органическим веществом и нефти.

The basic idea of the report is that the prospects of the research of sapropelites relate to the development of high-tech study of their organic matter. To implement this idea proposed specific action program. This program applies to all sapropelitic raw material resources – sapropelitic coals, oil shales, sedimentary rocks with dispersed sapropelitic organic matter, and oil.

Малозольные сапропелитовые угли являются очень хорошим природным модельным материалом для изучения осадочного органического вещества, которое является источником нефти.

Необходимость разработки эффективных процессов глубокой переработки сапропелитов обусловлена общественной потребностью в продуктах нефтехимической промышленности. Однако, несмотря на недавний рост цен на сырую нефть, глубокая переработка сапропелитов не стала реальностью в тех масштабах, на которые можно было бы рассчитывать. А расчет нужно вести с учетом того, что мировые запасы сапропелитовых горючих сланцев в переводе на нефтяной эквивалент не менее чем в десять раз превышают запасы нефти и природного газа. Запасы горючих сланцев исчисляются сотнями миллиардов тонн, а самые крупные месторождения сапропелитовых углей составляют лишь десятки миллионов тонн. Существенных генетических различий между органической массой таких углей и сланцев не существует, но при сланцепереработке возникают более масштабные экологические проблемы утилизации органоминеральных отходов. Поэтому использование органической массы сапропелитов логично начинать с малозольных сапропелитовых углей.

Учитывая академичность нашей организации, т.е. нашу естественную направленность на самую глубокую проработку научных проблем, и требуемую от нас правительством фундаментальность, следует заняться, прежде всего, разработкой высоких технологий исследований органической массы сапропелитов. Иными словами, нам следует идти от разработки высоких технологий исследований сапропелитов к разработке высоких технологий их глубокой переработки. Необходима конкретная программа действий в этом направлении.

Такая программа действий начала формироваться вместе с идеей разработки новых систем молекулярного анализа углеводородогенерирующих сапропелитовых пород, а затем – создания и производства универсальных рабочих станций углехимического и геохимического мониторинга [1].

Научным заданием для осуществления этих идей являются экспериментальные и теоретические методы исследования сапропелитов. Во-первых, это теоретические (компьютерные) методы синтеза и разложения

структурных элементов органической массы сапропелитов. Во-вторых, это экспериментальные методы селективной «разборки» структурных фрагментов органической массы сапропелитов на индивидуальные соединения. В-третьих, это самые современные методы идентификации соединений, образующихся при разложении органической массы сапропелитов. В-четвертых, это методы физико-химических расчетов кинетических и термодинамических параметров процессов превращения структурных элементов органической массы.

Теоретические методы синтеза и разложения структурных элементов органической массы сапропелитов служат для выявления причинно-следственных связей между свойствами липидных компонентов клеточных мембран микроорганизмов-сапропелеобразователей и свойствами сапропелитового органического вещества (как природного полимерлипидного материала). Как конкретно эти связи проявляются (и потом нами учитываются), видно на модельных схемах образования и превращения структурных элементов органической массы [2, 3].

Причинно-следственные связи между свойствами липидных компонентов клеточных биомембран и свойствами сапропелитового органического вещества как природного полимерлипидного материала проявляются также в экспериментальных результатах гидротермального разложения природных и модельных образцов керогена. Наличие подходящих внешних условий – условий гидротермального разложения (высокотемпературного гидролиза) – приводит к гидролитическому расщеплению углерод-углеродных связей и к образованию смесей соединений прогнозируемого состава. В процессах гидротермального разложения углерод-углеродные структурные элементы с кислородсодержащими и другими функциональными группами подвергаются расщеплению.

Высокотемпературный щелочной (ВТЩ) гидролиз – оригинальный пиролитический метод исследования сапропелитов. Он берется за основу как эффективный метод селективной «разборки» высокомолекулярной структуры органической массы сапропелитов на относительно низкомолекулярные компоненты, отражающие особенности молекулярного строения исходных или намеренно модифицированных органических фрагментов.

Термин «пиролиз» значительно шире понятия термодеструкции или разложения. При пиролизе помимо разложения происходят вторичные реакции полимеризации, конденсации (уплотнения), изомеризации молекул. Первичные реакции – это реакции разложения, и они могут иметь место одновременно с вторичными реакциями синтеза. Природные, катагенетические изменения органической массы сапропелитов происходят при скоростях нагрева, несоизмеримо меньших с теми, которые устанавливаются в лабораторных опытах. Поэтому в природе первичные реакции могут заканчиваться ещё до того, как возникнут вторичные. Однако и в случае лабораторных экспериментов с термоустойчивыми полимерлипидными молекулами, слагающими основную органическую массу сапропелитов, оказалось возможным подобрать такие условия высокотемпературной деструкции, при которых первичные реакции проходят достаточно быстро и заканчиваются в основном до того, как разовьются вторичные реакции. Эти первичные реакции в совокупности стали именоваться процессом ВТЩ гидролиза или гидротермального разложения. Этот процесс является по своей сути начальной стадией водного пиролиза, потому что проводится в водной среде.

Современные методы идентификации соединений, образующихся при разложении органической массы сапропелитов, апробированы нами на ряде образцов сапропелитов Сибири. Основными методами идентификации являются хромато-масс-спектрометрия и химическая информатика.

Как же, в самом деле, использовать весь новый научный задел в химии сапропелитовых углей для развития инновационных процессов в области рационального использования сапропелитовых сырьевых ресурсов? Ответ на этот вопрос обусловлен потребностью в новых средствах молекулярной диагностики углеводородогенерирующих сапропелитовых пород. Эти средства молекулярной диагностики нужны для прогнозирования, разведки и открытия новых залежей природной нефти. Они же нужны для разработки эффективных способов переработки сапропелитовых углей и горючих сланцев в синтетические нефтехимические продукты.

Каким же реальным образом мы можем «закрыть», т.е. удовлетворить потребности, по крайней мере, двух областей – углехимии, сланцепереработки, и поисковой нефтяной геологии или геохимии?

Это можно сделать посредством создания и производства универсальных рабочих станций (РС) углехимического и геохимического мониторинга. Такие РС могут быть стационарными или передвижными специализированными комплексами, приспособленными для получения наиболее исчерпывающей информации о взаимосвязи состава и структуры органической массы сапропелитов с их свойствами. Комплексы должны включать реакторы пиролитического разложения сапропелитового керогена, блоки сбора пирогенетических фракций и их хромато-масс-спектрометрического анализа, а также компьютеры, оснащенные специальным программным обеспечением.

Использование РС в нефтяной геологии будет способствовать открытию и разработке новых залежей природной нефти, а в химической отрасли – вовлечению в химическое производство сапропелитовых сырьевых ресурсов (получение синтетической нефти для промышленного органического синтеза, производство углеродных материалов).

В нефтяной геологии РС нужны для молекулярной диагностики нефтегенерирующих пород (сотни, тысячи образцов в год). Эти данные в настоящее время собирают при помощи относительно неэффективной стандартной или модифицированной техники Рок-Эвал (Rock-Eval).

ВТЩ гидролиз – ключевой метод в новых системах молекулярного анализа органического вещества осадочных пород и в рабочих станциях. Один из лучших конструктивных вариантов высокотемпературных

щелочных гидролизеров – это система сверхкритической флюидной экстракции и окисления в сверхкритической воде R-401 производства Южной Кореи (рис. 1). Реакторная система R-401 построена по модульному принципу и сочетает в себе превосходные возможности с надежностью и простотой в эксплуатации. Она пригодна для встраивания в специализированные комплексы с приборами физико-химического анализа и компьютерного моделирования. Реакторы размещаются на лабораторном столе, стационарной или мобильной напольной стойке; они оснащаются контактными или неконтактными нагревательными элементами, охлаждающим змеевиком, донным дренажным клапаном, шаровым клапаном порта для загрузки твердых материалов, приспособлениями для добавления реагентов в процессе реакции при высоких давлениях и температурах. Стандартные магнитные мешалки обеспечивают возможность работы с реакционными смесями различной вязкости. Насосы высокого давления приспособлены для прокачки водно-щелочных и водно-органических реагентов, используемых для окислительно-гидролитического разложения органической массы. Скорость потока жидкостей устанавливается со встроенной клавиатуры или с внешнего компьютера. Управление реакторами осуществляется с помощью ручной (на дисплей выводятся температура, давление и обороты мотора) или программной системы управления, которая позволяет контролировать параметры реактора и передавать ему команды с компьютера.

Метод ВТЩ гидролиза оказался «чувствительным», в отличие от других методов пиролиза, к катагенетической зрелости органической массы сапропелитов [4]. Поэтому-то он и перспективен для встраивания его в планируемые новые системы молекулярного анализа сапропелитовых пород. Основными продуктами ВТЩ гидролиза сапропелитов являются алифатические карбоновые кислоты нормального строения, кетоны и алканы. Результаты сравнительного анализа содержания этих соединений хорошо иллюстрируются в виде диаграмм. При сравнении всех образцов друг с другом, видны отличия в содержании основных продуктов ВТЩ гидролиза в зависимости от катагенетической зрелости органической массы образцов.



Рис. 1. Система сверхкритической флюидной экстракции в сверхкритической воде R-401 – один из лучших конструктивных вариантов для изготовления ВТЩ гидролизеров.

Наличие системы R-401, в сочетании с другими приборами Центра коллективного пользования КемНЦ СО РАН, позволит решать широкий круг задач углехимического и геохимического мониторинга – получения наиболее исчерпывающей информации о взаимосвязи состава и структуры органической массы осадочных пород, в том числе сапропелитовых углей и других каустобиолитов, с их свойствами. Эта информация необходима для разработки всех возможных эффективных способов переработки каустобиолитов (углехимическая промышленность, сланцепереработка). Информация о составе и содержании соединений-биомаркеров в ВТЩ гидролизатах также будет востребована и в нефтяной геологии для молекулярной диагностики углеводородогенерирующего потенциала осадочных бассейнов.

Доведенную до инновационной готовности технологию производства РС необходимо будет коммерциализировать через создание производственной наукоемкой фирмы с использованием всех возможностей, предоставляемых технопарками.

Создание и производство РС в полной мере отвечает стратегии, которую следует взять на вооружение для того, чтобы быть лидерами в международном сотрудничестве в области разработки и внедрения высоких технологий глубокой переработки сапропелитовых углей и горючих сланцев.

Для реализации предлагаемых здесь рекомендаций разрабатывается специальный инновационный проект. Предлагается не только организовать производство рабочих станций, но также осуществлять в дальнейшем их обслуживание. Партнерами в инновационном проекте должны быть институты, имеющие специальные конструкторско-технологические отделы и опыт приборостроения. Трансфер технологии производства рабочих станций предполагается осуществлять и с помощью Кузбасского технопарка.

В заключение следует подчеркнуть, что существует практически неограниченная общественная потребность в продуктах нефтехимической промышленности, и существует также потребность в новых средствах молекулярной диагностики углеводородогенерирующих осадочных пород. В то же время имеется новый фундаментальный задел в химии сапропелитовых углей, который нужно использовать в направлении удовлетворения этих потребностей.

Необходимо принять программу действий. И в ходе её выполнения осуществить разработанные рекомендации. Во-первых, продолжить работу по созданию фундаментального научного задела для создания высокоэффективных процессов глубокой переработки сапропелитов. Во-вторых, имеющийся новый задел использовать для разработки ВТЩ гидролизёров и создания принципиально новых систем молекулярного анализа углеводородогенерирующих осадочных пород. В-третьих, на основе этих систем перейти к созданию, а затем к производству и обслуживанию рабочих станций углехимического и геохимического мониторинга как товарных продуктов, востребованных на рынке высокоточных приборов и оборудования.

#### Список литературы:

1. Рокосов Ю.В., Рокосова Н.Н. Гидротермальное разложение сапропелитов и перспективы создания рабочих станций углехимического и геохимического мониторинга// Естественные и технические науки, 2008, №4. С.151-155.
2. Рокосова Н.Н., Рокосов Ю.В. Основы биогеогенетических представлений о строении органической массы сапропелитов// Кокс и химия, 2010, №11. С.18-24.
3. Рокосова Н.Н., Рокосов Ю.В. Развитие биогеогенетических представлений о строении органической массы сапропелитов: образование алкилциклических структурных элементов// Кокс и химия, 2011, №7. С. 22-25.
4. Рокосова Н.Н., Рокосов Ю.В. Состав и содержание основных продуктов высокотемпературного щелочного гидролиза сапропелитов в связи с катагенетической зрелостью их органической массы// Кокс и химия, 2009, №6. С. 10-13.

УДК 658.567.1:622.7

## РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ УГЛЕОБОГАЩЕНИЯ КУЗБАССА

*Столбоушкин А.Ю.<sup>1</sup>, Стороженко Г.И.<sup>2</sup>, Никитин А.И.<sup>3</sup>*

*<sup>1</sup>ООО «Баскей», г. Новосибирск, <sup>2</sup>ООО «СТЭП-инвест», г. Новокузнецк,*

*<sup>3</sup>Сибирский государственный индустриальный университет г. Челябинск*

В работе рассматривается идея комплексной переработки отходов углеобогащения с целью получения энергетического угольного топлива, необходимого для последующей утилизации образующихся отходов в силикатной промышленности. По результатам полупромышленных испытаний обогащения шламов угольных отстойников и углистых аргиллитов сделаны выводы об эффективности сухих способов вторичной переработки отходов. Разработанная авторами технология получения композиционных керамических материалов из техногенного сырья позволяет решить проблему утилизации отходов в Кузбассе.

The idea of a complex reclamation of waste coal with the purpose of getting energy coal fuel, which is necessary for the next utilization of waste from silicate industry is considered in the article. The conclusions about efficiency of dry methods of waste reworking are made according to the results of slurry treatment pilot tests of coal basins and carbonic argillites. The technology of getting ceramic composite from anthropogenic raw materials developed by the authors allows to solve the problem of waste utilization in Kuzbass.

Большинство углеобогащительных фабрик в Российской Федерации имеет устаревшее оборудование и технологии, поэтому качество обогащения не соответствует ни международным стандартам, ни техническим отраслевым нормам. В итоге, содержание угля в отходах обогащения колеблется от 17 до 26%, что приводит к ежегодным его потерям только в Кузбассе от 12 до 15 млн. т. [1].

Использование отходов углеобогащения в строительной отрасли, в частности для производства керамического кирпича, также сдерживается избытком топлива в шихте, что приводит к разрыхлению керамического черепка и снижению качества готовых изделий. Повышенное содержание углерода в отходах Абашевской ЦОФ (г. Новокузнецк) и стало причиной остановки кирпичного завода, для которого отходы углеобогащения являлись сырьевой базой.

Таким образом, рациональное использование отходов углеобогащения имеет в ближайшей перспективе два параллельных вектора развития.

*Первый связан со снижением содержания углерода в отходах текущей переработки* и заключается, прежде всего, в переходе на современные способы углеобогащения с максимальным извлечением в концентрат угля. Если в отходах обогащения содержание угля не будет превышать 5-8%, то не будет никаких препятствий для дальнейшей их полной утилизации в технологии строительных керамических материалов и в цементной промышленности.

Второй – с организацией глубокой переработки ранее накопленных отходов углеобогащения. К сожалению, эффективного решения задач вторичного извлечения угля или использования отходов, уже имеющихся в шламохранилищах или отвалах, на сегодняшний день не существует. Основными причинами, на наш взгляд, являются:

1. Отсутствие эффективного способа вторичного обогащения угольных шламов. Под эффективностью в данном случае подразумевается экономическая составляющая процесса.

2. Отсутствие технологии эффективного использования полученного в результате вторичного обогащения концентрата, зачастую с низкой теплотворной способностью, тонкодисперсного, с содержанием золы до 30-40%;

3. И, наконец, отсутствие действующих эффективных технологий производства качественного керамического кирпича из отходов углеобогащения.

Очевидно, что для вторичной переработки отходов обогатительные технологии, в основе которых лежит разделение угля в водной среде или тяжелой суспензии, не пригодны, так как создают ряд проблем, главной из которых является необходимость обезвоживания и сушки угля.

Более перспективными способами обогащения отходов углеобогащения с точки зрения экономической эффективности и экологической безопасности являются воздушная и магнитная (с использованием сепараторов на постоянных магнитах с повышенной извлекающей способностью) сепарация. Преимущества новых способов обусловлены возможностью значительного снижения материалоемкости, энергозатрат и уменьшения расхода технической воды.

В работе проводились полупромышленные испытания шламов угольных отстойников из г. Междуреченска на установке ООО «Баскей» [2] и Коркинских углистых аргиллитов класса 13-40 мм на вакуумно-пневматическом сепараторе «Сепайр» с высокой эффективностью разделения в воздушном потоке [3, 4], превышающей в ряде случаев показатели обогащения отсадкой или в тяжелых средах [5].

Исходная влажность шламов составляла 25,71%, грансостав и зольность приведены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты определений гранулометрического состава и зольности шлама

| Класс частиц,<br>мм | Содержание частиц в образцах пробы, % |       |       |       |         | Зольность, % |
|---------------------|---------------------------------------|-------|-------|-------|---------|--------------|
|                     | 1                                     | 2     | 3     | 4     | Средняя |              |
| +10                 | 0,37                                  | 0,19  | 0,13  | 0,17  | 0,21    | 15,8         |
| +5                  | 0,37                                  | 0,37  | 0,40  | 0,17  | 0,33    | 50,4         |
| +2,5                | 0,92                                  | 0,74  | 0,92  | 0,69  | 0,82    | 36,6         |
| +1,25               | 2,95                                  | 2,41  | 1,98  | 2,41  | 2,44    | 30,1         |
| +0,63               | 9,02                                  | 8,35  | 5,67  | 9,14  | 8,05    | 28,8         |
| +0,315              | 17,86                                 | 15,77 | 15,96 | 13,97 | 15,89   | 28,3         |
| +0,14               | 29,28                                 | 41,56 | 26,39 | 23,62 | 30,21   | 35,5         |
| -0,14               | 39,23                                 | 30,61 | 48,55 | 49,83 | 42,05   | 52,8         |
|                     | 100                                   | 100   | 100   | 100   | 100     | 41,0         |

Обогащение шлама осуществлялось путем его сушки в вихревой сушилке [2] и разделения материала по классам в аспирационной системе сушилки, которая состоит из 4-х ступеней гравитационных классификаторов и рукавного фильтра.

Целью опытно-промышленных испытаний было выделение из шламов частиц с минимальной зольностью. Класс +10 мм выделялся в нижней части сушилки, а частицы класса -0,14 мм в циклонах и рукавном фильтре. Результаты сухого обогащения приведены в табл. 2.

Таблица 2. Свойства материалов после сухого обогащения шламов

| Ступени аспирационной системы | Выход продукта, % | Зольность материала, % |
|-------------------------------|-------------------|------------------------|
| 1                             | 2,2               | 22,4                   |
| 2                             | 47,5              | 30,1                   |
| 3                             | 11,9              | 36,8                   |
| 4                             | 20,6              | 57,7                   |
| фильтр                        | 17,8              | 63,2                   |

Таким образом, в результате сухого обогащения шламов выход обогащенного продукта с зольностью около 32% составляет 61%. Снижение зольности в обогащенном продукте по сравнению с исходным шламом достигает 10%.

На Коркинском угольном разрезе (Челябинская обл.) в процессе сухого обогащения углей образуется значительное количество отходов, содержание угля в которых составляет от 12 до 18%. Целью опытных испытаний на установке «Сепайр» ЗАО «Гормашэкспорт» была оценка эффективности пневмосепарации для углистых аргиллитов разного класса.

Испытания обогатимости отходов сухого обогащения углей (табл. 3), каковыми являются коркинские углистые аргиллиты, показали, что с помощью пневмосепарации можно выделить из отходов концентрат с выходом 9% и зольностью 28-30%, что соответствует его теплотворной способности 3500-3700 кДж/кг;



Таблица 3. Зольность фракций, полученных пневмосепарацией на установке «Сепайр»

| Наименование фракций     | Выход продукта, % | Зольность материала, % |
|--------------------------|-------------------|------------------------|
| исходный класс, 13-25 мм | 100               | 70,46                  |
| фракция 1                | 9,1               | 29,83                  |
| фракция 2                | 12,9              | 57,10                  |
| фракция 3                | 20,9              | 71,80                  |
| фракция 4                | 23,6              | 77,54                  |
| фракция 5                | 33,4              | 80,91                  |

Классификационные признаки позволяют рекомендовать хвосты вторичной переработки отходов обогащения углей после выделения из них углеродсодержащего концентрата в качестве сырья для производства двух видов строительных материалов: цемента и изделий стеновой керамики.

В первом случае необходимо разработать технологию производства цемента на базе отходов углистых аргиллитов и шламов, как сырья, с корректировкой состава по известняку. При этом решаются все поставленные задачи. Полностью используется оставшаяся углеродная часть, как топливо, чем достигается экономия газа до 10%. Утилизируется тепло выхлопных газов цементных печей, улучшаются экологические показатели, т.е. снижение запыленности (снижение нагрузки на фильтры и т.д.).

С целью технологической проработки вопросов практической реализации второго направления проведены исследования по использованию хвостов обогащения углистых аргиллитов в качестве сырья для производства стеновых керамических изделий. Методом полусухого прессования были отформованы как лабораторные образцы, так керамический кирпич по ГОСТ 530-2007 «Кирпич и камень керамические. Общие технические условия» (рис.1).

Основные задачи работы заключались в следующем:

- определение возможности получения стеновой керамики из «чистых» аргиллитов и с корректирующими добавками суглинка и боя стекла;
- получение разработанным способом [6] керамических матричных композитов на основе этих отходов с ячеистозаполненной структурой, обеспечивающей высокие показатели физико-механических свойств (рис.2);
- оптимизация составов гранулированных шихт, обеспечивающая интенсификацию процессов структурообразования и фазовых превращений при минимальном содержании корректирующих добавок;
- определение рациональных технологических параметров полусухого прессования, сушки и обжига керамического кирпича из гранулированных углистых аргиллитов.



Рис. 1. Выпуск керамического кирпича на основе углистых аргиллитов: а) гранулированная шихта состава 100% отходов; б) тоже, покрытых слоем глинистой добавки 15%; в) кирпич формата 1 НФ с 17 цилиндрическими отверстиями.

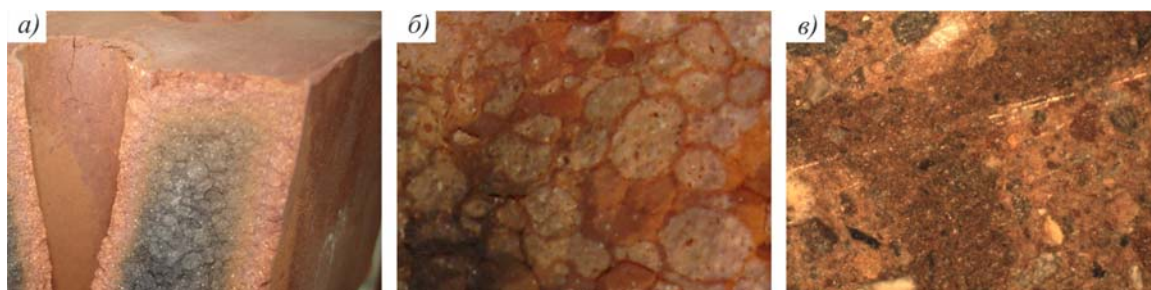


Рис. 2. Структура керамического матричного композита на основе углистых аргиллитов: а) излом кирпича при испытании на изгиб; б) отраженный свет, увеличение 8; в) тоже, оптический микроскоп, увеличение 100, николи II.

На основе вышеуказанных шихт в заводских условиях были отформованы и обожжены в туннельной печи две партии керамического кирпича на основе углистых аргиллитов. По результатам испытаний был составлен акт, в котором приведены основные характеристики полученных стеновых изделий. Кроме физико-механических

свойств, которые удовлетворяют требованиям ГОСТ 530-2007, следует отметить неравномерность окраски кирпича, связанную с особенностями газовой среды, в которой происходит обжиг.

Полученные результаты показывают возможность организации глубокой переработки отходов обогащения углей непосредственно на кирпичном заводе с целью *получения энергетического угольного топлива для основного производства*. Глубокая переработка отходов, используемых в производстве кирпича, может быть основана на современных способах вторичного обогащения (магнитная и криомагнитная сепарация, пневмосепарация, масляная агломерация и др.), которые позволяют извлечь до 80-90% угля из отходов. При указанной степени извлечения и при использовании на 1000 штук кирпича нормального формата 2,5 м<sup>3</sup> пустой породы вместе с ней образуется 600 кг условного топлива в виде обогащенного угля. Этого количества достаточно не только для обжига, отпрессованного из отходов кирпича, но и для *производства в газогенераторных установках электроэнергии*, используемой для технологических нужд кирпичного завода.

Такой подход к решению проблем переработки и использования отходов углеобогащения позволит создать эффективную инновационную технологию производства изделий стеновой керамики.

#### Список литературы:

1. Чернышов Е.М. К проблеме развития исследований и разработок в области материаловедения и высоких строительных технологий: основные акценты // Достижения и проблемы материаловедения и модернизации строительной индустрии: Материалы XV Академических чтений РААСН – Международной научно-технической конференции / КазГАСУ. т. 1. – Казань, 2010. – С. 8-9.
2. Пак Ю.А., Зиборов А.В., Стороженко Г.И. и др. Измельчительно-сепарационная установка // Патент России № 2194577, С2 В 02 С 21/00. – Б. И. № 46 – опубл. 20.12.2002.
3. Люленков В.И., Кузьмин А.В., Качуров К.В. и др. Способ сухого обогащения рядового угля // Патент России № 2268787, С1 В 07 В 9/00. – Б. И. № 1 – опубл. 27.01.2006.
4. Кузьмин А.В., Люленков В.И., Качуров К.В. и др. Способ сухой переработки угля // Патент России № 2282503, С1 В 07 В 9/00. – Б. И. № 23 – опубл. 27.08.2006.
5. Авдохин В.М., Морозов В.В., Кузьмин А.В. и др. Вакуумно-пневматическая сепарация труднообогатимых углей // Горный журнал. – 2008. – № 12. – С. 56-60.
6. Стороженко Г.И., Столбоушкин А.Ю., Болдырев Г.В. и др. Способ изготовления керамических изделий // Патент России № 2005702, С1 С 04 В 33/00. – Б. И. № 1 – опубл. 15.01.1994.

УДК 661.183.2, 620.181.4

### СИНТЕЗ ФЕРРОМАГНИТНЫХ УГЛЕРОДНЫХ СОРБЕНТОВ ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

**С.И. Цыганова, В.В. Патрушев, И.В. Королькова, О.Ю. Фетисова, Г.Н. Бондаренко,  
В.Ф. Каргин, Д.А. Великанов**

**Институт химии и химической технологии СО РАН, Красноярск**

В настоящей работе представлено исследование по получению магнитных углеродных пористых материалов из модифицированных древесных отходов. Показано, что наилучшее сочетание пористости и магнитных свойств получаемого материала наблюдается при использовании опилок, модифицированных хлоридами железа и цинка. Обнаружено, что максимальная удельная поверхность образцов наблюдается при протекании экзотермических процессов в области 400°C с образованием феррита цинка.

Сорбционная емкость синтезированных образцов выше в сравнении с сорбционной емкостью промышленного сорбента при экстракции золота, платины и палладия из хлоридных растворов. Наилучшей сорбционной емкостью золота обладают образцы, карбонизованные при 400°C, а платины и палладия – образцы, карбонизованные при 800°C.

The study of magnetic carbonic porous materials preparation from modified sawdust was presented in this paper. It was shown that the best combination of porosity and magnetic properties of the synthesized sorbents are observed using modified sawdust with chlorides of iron and zinc. It was established that the maximum surface area of a charcoal is observed during carbonization at 400 °C and accompanied with exothermic process and zinc ferrite formation.

The sorption capacity of the synthesized samples is more then capacity of manufactured sorbent during extraction of gold, palladium and platinum from chloride solutions. The best sorption of gold is observed on the samples treated at 400 °C, and platinum and palladium - on the samples treated at 800 °C.

В последнее время установилась тенденция широкого использования активных углей в качестве осадителей металлов. Так, на ряде золотодобывающих предприятий Российской Федерации и за рубежом успешно используют угольно-сорбционную технологию, и доля сорбционных процессов на основе активных углей с



каждым годом растет, что определяет актуальность развития научной базы и поиска перспективных типов активных углей [1].

Новым технологическим приемом извлечения благородных металлов из пульпы и растворов является использование ферритизированных сорбентов в магнитном поле. Преимущества этого способа заключаются в возможности проведения сорбции с большими скоростями и простоте отделения сорбентов от промышленных пульп.

Известно, что свойства активных углей в большей степени определяются составом исходного сырья и методом его получения [2, 3]. В данной работе для создания активных углей обладающих высокой удельной поверхностью и магнитными свойствами в качестве исходного сырья были выбраны растительные отходы ввиду невысокой стоимости и экологической безопасности. Для придания материалу сочетания магнитных свойств и высокой пористости мы применили метод двойного модифицирования, позволяющий провести активацию лигниноцеллюлозной массы с помощью двух различных реагентов. Важно отметить, что существующие исследовательские работы по созданию подобных материалов в основном касаются изучению их механических, электромагнитных свойств и сорбционной способности [4], при этом взаимодействие компонентов в процессе приготовления композиционного продукта рассматривается эпизодично и недостаточно. Таким образом, цель настоящей работы заключалась в подборе наилучшей комбинации реагентов для синтеза ферромагнитного пористого углеродного материала и в изучении его структуры, свойств в процессе карбонизации и последующей водной обработке; в определении их сорбционной емкости некоторых благородных металлов из хлоридных растворов.

В качестве исходного материала использовались опилки древесины березы (ДБ), модифицированные  $\text{FeCl}_3$  и реагентами  $\text{ZnCl}_2$ ,  $\text{KOH}$  или  $\text{H}_3\text{PO}_4$ . Массовое соотношение компонентов в образцах ДБ: $\text{FeCl}_3$ : $\text{ZnCl}_2$ , ДБ: $\text{FeCl}_3$ : $\text{KOH}$ , ДБ: $\text{FeCl}_3$ : $\text{H}_3\text{PO}_4$  составляло 1:0,5:0,5. В качестве сравнения были приготовлены образцы, модифицированные одним реагентом: ДБ: $\text{FeCl}_3$ , ДБ: $\text{ZnCl}_2$ , ДБ: $\text{KOH}$  и ДБ: $\text{H}_3\text{PO}_4$ , массовое соотношение в которых составляло 1:1. Полученные смеси сушили и формовались в таблетки, которые подвергались термообработке в интервале температур 200-800 °С. Получаемый древесный уголь отмывался водой.

В таблице 1 представлены величины выхода, удельной поверхности и качественные характеристики образцов, обработанных при 800 °С. Добавка одного реагента в опилки приводит к получению пористого твердого продукта, причем наибольшая удельная поверхность наблюдалась у модифицированного щелочью образца, хотя выход его минимален по сравнению с выходами других древесных углей. Анализ карбонизованных образцов в поле постоянного магнита показал, что все твердые продукты, содержащие хлорид железа, кроме ДБ- $\text{FeCl}_3$ - $\text{H}_3\text{PO}_4$ , притягивались магнитом. Кроме того, таблетки, содержащие щелочь, после термообработки разрушались, а таблетки, в состав которых входили  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$  или  $\text{ZnCl}_2$ , сохраняли свою форму и становились более прочными при добавлении двух реагентов одновременно.

Таблица 1. Характеристика модифицированных образцов, обработанных при 800 °С

| Образец                                       | Выход, мас% | Удельная поверхность, $\text{м}^2 \cdot \text{г}^{-1}$ | Качественные характеристики   |
|-----------------------------------------------|-------------|--------------------------------------------------------|-------------------------------|
| ДБ- $\text{FeCl}_3$                           | 26,9        | 474,7                                                  | Таблетки хрупкие, магнитные   |
| ДБ- $\text{KOH}$                              | 8,5         | 1194,2                                                 | Немагнитный порошок           |
| ДБ- $\text{H}_3\text{PO}_4$                   | 46,4        | 513,8                                                  | Таблетки хрупкие, немагнитные |
| ДБ- $\text{ZnCl}_2$                           | 26,0        | 606,5                                                  | Таблетки хрупкие, немагнитные |
| ДБ- $\text{FeCl}_3$ - $\text{KOH}$            | 21,2        | 310,0                                                  | Таблетки хрупкие, магнитные   |
| ДБ- $\text{FeCl}_3$ - $\text{H}_3\text{PO}_4$ | 59,4        | 121,6                                                  | Таблетки прочные, немагнитные |
| ДБ- $\text{FeCl}_3$ - $\text{ZnCl}_2$         | 22,5        | 1062,0                                                 | Таблетки прочные, магнитные   |

Двойное модифицирование древесины хлоридом железа, щелочью или кислотой приводит к ингибированию процесса образования пор. Лишь совместное взаимодействие хлоридов железа и цинка с древесиной приводит к образованию магнитного продукта с высокой пористостью. Поэтому, для дальнейших исследований был отобран образец ДБ- $\text{FeCl}_3$ - $\text{ZnCl}_2$ .

На рисунке 1 приведены выходы и удельные поверхности ДУ при различных температурах карбонизации ДБ- $\text{FeCl}_3$ - $\text{ZnCl}_2$  до и после водной обработки. Выход неотмытого образца с ростом температуры постепенно уменьшается до 28 мас% ( $T=800$  °С), выход нерастворимой в воде его части изменяется незначительно – в диапазоне 22-35 мас%, и при температуре 800 °С образец становится практически нерастворим в воде. Удельная поверхность карбонизованного продукта начинает расти при температурах нагрева выше 500 °С и достигает величины  $900 \text{ м}^2 \cdot \text{г}^{-1}$  при 800 °С. Максимальная величина удельной поверхности отмытого образца наблюдается уже при нагревании образца до 400 °С и составляет  $1350 \text{ м}^2 \cdot \text{г}^{-1}$ .

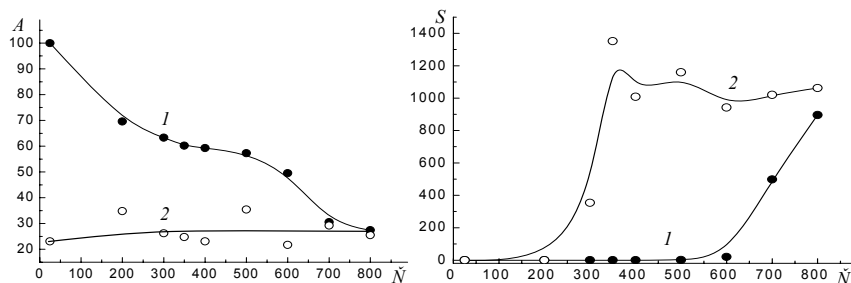


Рис. 1. Влияние температуры ( $T$ , °C) карбонизации ДБ- $\text{FeCl}_3\text{-ZnCl}_2$  на выход ( $A$ , мас%) и удельную поверхность ( $S$ ,  $\text{м}^2\cdot\text{г}^{-1}$ ) твердых продуктов. 1 - до водной обработки, 2 - после водной обработки.

Рентгенограммы отмытых карбонизованных при 400 °C и 800 °C образцов, полученных из ДБ- $\text{FeCl}_3\text{-ZnCl}_2$ , показали, что они имеют фазу со структурой магнетита (рис. 2). Параметр решетки образца, полученного при 400 °C, составляет 8,405 Å и соответствует магнетиту ( $\text{Zn}_{0,29}\text{Fe}_{0,71}\text{Fe}_2\text{O}_4$ ), в котором железо частично замещено цинком. Размер ячейки образца, полученного при 800 °C (8,374 Å) меньше, чем в чистом магнетите  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (8,394 Å) и феррите цинка  $\text{ZnFe}_2\text{O}_4$  (8,441 Å) и близок к размеру ячейки магнетита (8,357 Å). Можно предположить, что кристаллическая фаза в высокотемпературном образце в основном представляет собой смесь магнетита и маггемита, не содержащую цинк, т.е. в процессе высокотемпературного пиролиза происходит удаление цинксодержащих соединений и соответственно уменьшение кристаллической фазы в ДУ.

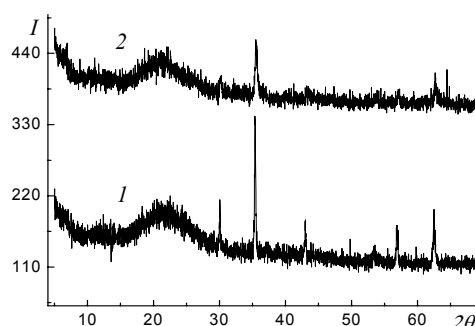


Рис. 2. Рентгенодифрактограммы отмытых образцов, полученных из ДБ- $\text{FeCl}_3\text{-ZnCl}_2$  при температурах 400 °C (1) и 800 °C (2).  $I$  – интенсивность ( $\text{имп}\cdot\text{с}^{-1}$ ),  $2\theta$  – угол Брегга (град).

В ходе магнитных измерений, было установлено, что эти образцы обладают магнитным гистерезисом, причем их намагниченность увеличивается на три порядка, по сравнению с исходным образцом. По петлям гистерезиса были рассчитаны коэрцитивная сила, намагниченность насыщения и остаточная намагниченность образцов (табл. 2). Намагниченность насыщения, остаточная намагниченность и коэрцитивная сила образцов близки к магнитным характеристикам цинкового феррита. Поэтому полученные образцы можно отнести к магнитомягким магнитным материалам.

Таблица 2. Магнитные характеристики исследованных образцов и  $\text{ZnFe}_2\text{O}_4$  (данные из [5])

| Образец                                    | Коэрцитивная сила, Э | Намагниченность насыщения, $\text{Гс}\cdot\text{см}^3\cdot\text{г}^{-1}$ | Остаточная намагниченность, $\text{Гс}\cdot\text{см}^3\cdot\text{г}^{-1}$ |
|--------------------------------------------|----------------------|--------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| ДБ- $\text{FeCl}_3\text{-ZnCl}_2$ (400 °C) | 59,25                | 2,97                                                                     | 0,173                                                                     |
| ДБ- $\text{FeCl}_3\text{-ZnCl}_2$ (800 °C) | 117,09               | 5,816                                                                    | 1,282                                                                     |
| $\text{ZnFe}_2\text{O}_4$                  | 58,3                 | 1,72                                                                     | 0,135                                                                     |

Проведенный ИК спектральный анализ подтверждает заметные структурные отличия образцов, полученных при 400 °C и 800 °C. Интенсивности полос в области  $1700\text{-}1000\text{ см}^{-1}$  в спектре низкотемпературного образца заметно выше, чем в спектре высокотемпературного и характеризуют более сложный многофункциональный состав низкотемпературного образца. Наблюдаемый высокочастотный максимум  $580\text{ см}^{-1}$ , являющийся характеристической полосой в спектре магнетита, свидетельствует о более высоком содержании  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  в образце высокотемпературного образца, чем в низкотемпературном.

Таким образом, в процессе двойного модифицирования древесных опилок можно получить активные угли с высокой удельной поверхностью и магнитными свойствами. Причем водная обработка образцов, карбонизованных при температурах выше 350 °C, приводит к раскрытию их пористой структуры.

Сорбционную емкость синтезированных активных углей изучали при адсорбции золота, платины и палладия из хлоридных растворов. Анализ осуществляли атомно-абсорбционным методом.

В таблице 3 приведены удельная поверхность и сорбционная емкость углей, синтезированных при различных температурах в сравнении с промышленным активным углем, в процессе сорбции золота, платины и палладия из хлоридных растворов.

Таблица 3. Удельная поверхность и сорбционная ёмкость синтезированных образцов и промышленного активного угля при извлечении золота, платины и палладия из хлоридных растворов

| Активный уголь/ температура                     | Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /г | Сорбционная ёмкость, мг/г |      |       |
|-------------------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------|------|-------|
|                                                 |                                         | Au                        | Pt   | Pd    |
| ДБ-ZnCl <sub>2</sub> -FeCl <sub>3</sub> / 300°C | 353,41                                  | 56                        | 36   | 28    |
| ДБ-ZnCl <sub>2</sub> -FeCl <sub>3</sub> / 400°C | 1351,6                                  | 84                        | 30   | 36    |
| ДБ-ZnCl <sub>2</sub> -FeCl <sub>3</sub> / 500°C | 1159,8                                  | 56                        | 46   | 29    |
| ДБ-ZnCl <sub>2</sub> -FeCl <sub>3</sub> /800°C  | 1062,0                                  | 56                        | 49   | 41    |
| Скорлупа кокосовых орех */ 800-1000°C           | 1000                                    | 20,4                      | 27,4 | 17,54 |

\*- кокосовый активированный уголь фирмы Carbon Calgon, Norit, Dupon and ect.

Сорбционная емкость синтезированных образцов по этим металлам несколько выше, чем промышленного сорбента. Причем, наилучшие показатели по сорбции золота из хлоридных растворов обнаружены на образце ДБ-FeCl<sub>3</sub>-ZnCl<sub>2</sub> карбонизованного при 400°C, имеющего максимальную удельную поверхность. Сорбционная же емкость платины и палладия выше на образце карбонизованного при 800°C, чем на низкотемпературном. Можно предположить, что в зависимости от температуры термообработки синтезированных углей сорбционная ёмкость благородных металлов меняется.

#### Список литературы:

1. Меретуков М.А. Активные угли и цианистый процесс. - Москва, Издательский дом «Руда и металлы», 2007. -288 с.
2. Marsh H. Rodriguez-Reinoso F. Activated Carbon. Elsevier Ltd., 2006. -536 p.
3. Цыганова С.И., Королькова И.В., Чесноков Н.В., Кузнецов Б.Н. // Химия растительного сырья. 2010. №1. С. 57–62.
4. S. A. Kahani, M. Hamadani and O. Vandadi // First Sharjah Inter. Conf. on Nanotechnology and Its Applications. 2007. Vol. 929. P. 183-188.
5. Преображенский А.А., Бишард Е.Г. Магнитные материалы и элементы. М.: Высшая школа, 1986. -352 с.

УДК 544.478:546.26:541.136:546.92:546.73

## СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

*М.А.Керженцев,<sup>1</sup> О.Ю.Подъячева,<sup>1</sup> Ч.Н.Барнаков,<sup>2</sup> А.В.Самаров,<sup>2</sup> З.Р.Исмаилов,<sup>1,2</sup>*

*<sup>1</sup>Институт катализа им. Г.К.Борескова СО РАН, Новосибирск*

*<sup>2</sup>Институт углеродной и химического материаловедения СО РАН, Кемерово*

Исследовано применение новых наноуглеродных носителей: углеродных нановолокон (УНВ) и аморфных углеродных материалов (АУМ) для синтеза платиновых и неплатиновых катодных катализаторов топливных элементов с протонообменной мембраной. Различные структурные типы УНВ и АУМ приготовлены из различных органических предшественников и охарактеризованы РФА, электронной микроскопией и адсорбционными методами. Синтезированы Pt катодные катализаторы с содержанием Pt 30 вес.%. Активность катализаторов исследована в мембраноэлектродной сборке. Катализаторы, приготовленные на УНВ, даже при очень низком количестве Pt в катодной области, имеют высокую активность, близкую к активности катализаторов, приготовленных на известном носителе Vulcan XC 72R, а катализаторы на основе носителя АУМ превосходят по активности катализаторы на традиционном носителе Vulcan XC 72R даже при более низком количестве платины. Для синтеза неплатиновых кобальтовых катализаторов приготовлены серии азотсодержащих носителей N-УНВ и N-АУМ. Носители охарактеризованы РФА, электронной микроскопией, адсорбционными методами, РФЭС. Катализаторы приготовлены путем обработки суспензии N-УНВ или N-АУМ в воде раствором ацетата кобальта. Исследование активности катализаторов методом вращающегося диска показало, что активность в реакции восстановления кислорода увеличивается с увеличением содержания азота, образующего с кобальтом активные центры.

The use of novel nanocarbon supports: carbon nanofibers (CNF) and amorphous microporous carbons (AMC) for synthesis of Pt and non-Pt cathode catalysts for PEMFC was investigated. Different structural types of CNF and AMC formed from different organic precursors were prepared and characterized by XRD, TEM and adsorption methods. Platinum cathode catalysts with 30 wt.% Pt content were synthesized. The activity of the catalysts was studied in a MEA cell with a low Pt loading level of 0.02-0.09 mg/cm<sup>2</sup>. The MEA testing showed that the Pt cathode catalysts on CNF had similar performance

in comparison with a catalyst on conventional support Pt/Vulcan XC-72R, while the catalyst prepared on AMC had better output in MEA even at a lower Pt loading. For synthesis of non-platinum cobalt catalysts a series of nitrogen containing N-CNF and N-AMC were prepared and characterized by XRD, electron microscopy, adsorption methods and XPS. The catalysts were prepared by treatment of suspension of N-CNF or N-AMC in water with Co acetate solution. The study of the catalysts by rotating disc method showed that the oxygen reduction activities increase with an increase of the content of nitrogen forming active centers with Co atoms.

Топливные элементы с протонообменными мембранами (ТЭПОМ) являются перспективными компактными источниками энергии для разнообразных применений. ТЭПОМ включают анод и катод, содержащие соответственно анодные и катодные катализаторы с полимерной мембраной между ними, используемой в качестве электролита. В настоящее время ведущие лаборатории направляют значительные усилия на исследования по оптимизации катализатора для снижения общего содержания платины в ТЭПОМ от обычных значений порядка 0,2-0,8 мг/см<sup>2</sup> до приемлемых значений – около 0,02 мг/см<sup>2</sup> или замены Pt на другие металлы. Это сложная задача, требующая фундаментальных исследований и разработки новых научных подходов. Одним из подходов является разработка и использование принципиально новых углеродных носителей для катализаторов, вместо традиционных носителей на основе графитированной сажи.

Мы сосредоточили исследования в этом направлении, основываясь на нашем опыте по методам синтеза и исследованиям углеродных нановолокон (УНВ) [1] (рис. 1) и микропористых аморфных углеродных материалов (АУМ) [2] (рис. 2). Привлекательность УНВ объясняется возможностью их целенаправленного синтеза и особенностями их структуры со строгой периодичностью расположения графитовых плоскостей. Наличие именно этих структурных особенностей с периодичностью позволяло ожидать, что при нанесении Pt возможна стабилизация высокодисперсных Pt частиц на стыках графитовых плоскостей. АУМ обладают высокой удельной поверхностью – до 3300 м<sup>2</sup>/г и значительным объемом микропор (пор с размером менее 2 нм) от 1 до 1,6 см<sup>3</sup>/г, и их перспективность основана на возможности стабилизации высокодисперсных частиц платины в микропорах.

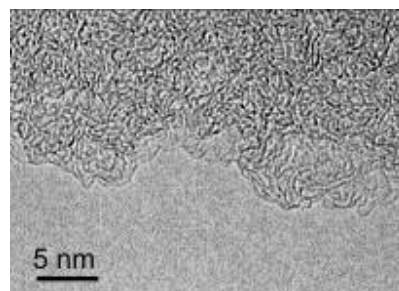
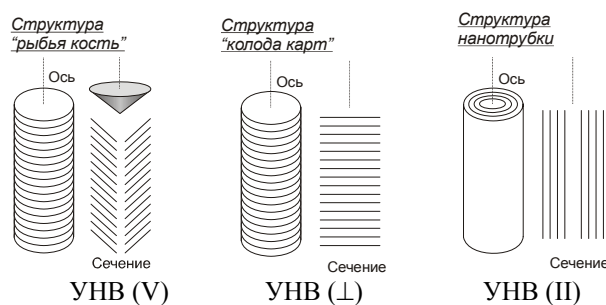


Рис. 2. Микрофотография микропористого аморфного углеродного материала (АУМ)

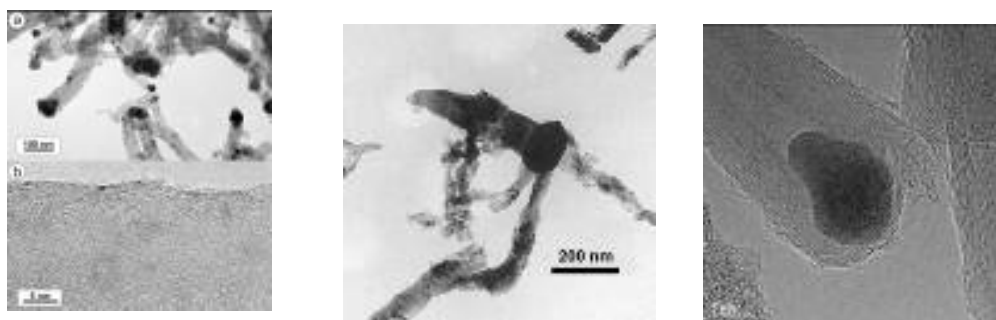


Рис. 1. Различные структурные типы углеродных нановолокон

Другое направление работы - разработка азотсодержащих углеродных материалов N-УНВ и N-АУМ. Из литературы известна значительная активность в реакции восстановления кислорода пиролизированных N4-комплексов Co и Fe с порфиринами и фталоцианинами, нанесенных на углеродные материалы [3]. Альтернативным подходом является синтез азотсодержащих углеродных носителей и нанесение на такие носители ионов Co и Fe, с образованием аналогичных активных центров  $MeN_n$  ( $n=2-4$ ) [3].

В настоящей работе представлены результаты цикла исследований, включающего:

- синтез и исследование платиновых катализаторов на УНВ и АУМ,
- синтез и исследование кобальтовых катализаторов на основе N-УНВ и N-АУМ.

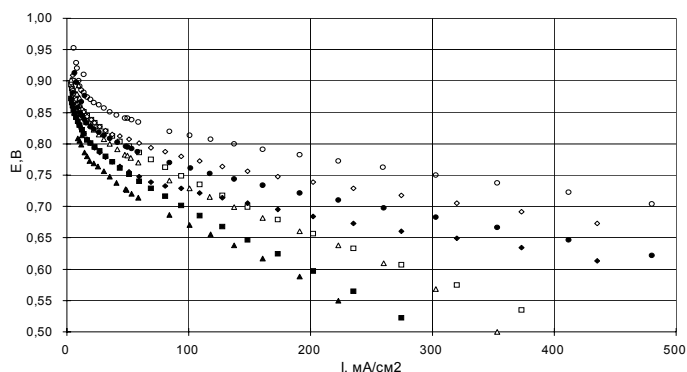


Рис. 3. Зависимость напряжения MEA от плотности тока для различных катодов с низким содержанием платины:  
Vulcan XC-72R: 0.0380 мг Pt/cm<sup>2</sup> (◆); 0.0628 мг Pt/cm<sup>2</sup> (◇)  
АУМ: 0.0175 мг Pt/cm<sup>2</sup> (●); 0.0592 мг Pt/cm<sup>2</sup> (○)  
УНВ( || ): 0.0400 мг Pt/cm<sup>2</sup> (■); 0.0639 мг Pt/cm<sup>2</sup> (□)  
УНВ (⊥): 0.0185 мг Pt/cm<sup>2</sup> (▲); 0.0914 мг Pt/cm<sup>2</sup> (Δ)

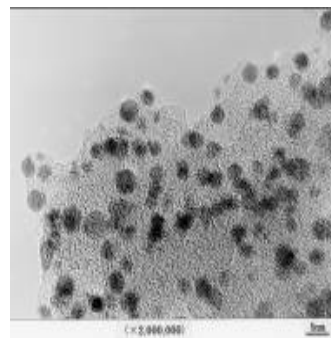


Рис. 4. Микрофотография катализатора 30%Pt/АУМ

В первой части работы методом разложения метана на различных твердых катализаторах синтезированы разные типы УНВ с параллельным и перпендикулярным к оси волокна расположением графитовых плоскостей, синтезированы АУМ из различных органических предшественников. Полученные материалы и исследованы методами РФА, ЭМ, БЭТ и др.

Разработаны методы приготовления и синтезированы платиновые катализаторы на различных типах УНВ и АУМ. Катализаторы исследованы методами РФА, ЭМ, адсорбции CO, EXAFS.

Активность катализаторов исследована в мембраноэлектродной сборке (MEA) (рис. 3). Катализаторы, приготовленные на УНВ, даже при очень низком содержании Pt в катode 0,02-0,09 мг/см<sup>2</sup>, имеют высокую активность, близкую к активности катализаторов, приготовленных на известном носителе Vulcan XC 72R, а катализаторы на основе носителя АУМ превосходят по активности катализаторы на традиционном носителе Vulcan XC 72R. Высокая активность катализатора на АУМ, по-видимому обусловлена высокой дисперсностью (2-4 нм) и равномерным распределением частиц платины на поверхности носителя (рис. 4). По результатам исследований подана патентная заявка и получен совместный японский патент [4].

Вторая часть работы посвящена разработке азотсодержащих наноуглеродных носителей УНВ и АУМ и получению неплатиновых катодных катализаторов на основе кобальта.

Известно, что катионы Fe и Co, связанные с атомами азота на поверхности углеродных носителей, проявляют существенную активность в реакции восстановления кислорода. Такой тип катодных катализаторов рассматривается как перспективный для замены традиционных Pt катализаторов.

Главная цель исследований: (1) разработка и исследование углеродных материалов 2 типов: азотсодержащих нановолокон (N-УНВ) и азотсодержащих аморфных микропористых материалов (N-АУМ); (2) разработка методов приготовления и исследование катодных катализаторов, полученных путем нанесения кобальта на поверхность этих материалов.

Для приготовления (N-УНВ) был использован метод разложения смесей C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>-NH<sub>3</sub> с содержанием NH<sub>3</sub> 25, 50 и 75% на катализаторах Ni-Cu-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe-Cu-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и др. при температурах 550-675 °С. N-УНВ относятся к классу мезопористых углеродных материалов. В зависимости от условий приготовления получали материалы со средним размером пор 5–19 нм и S<sub>ВЕТ</sub> 30–350 м<sup>2</sup>/г. Структура N-УНВ исследовалась методами РФА, ПЭМ, РФЭС. Исследованием методом просвечивающей электронной микроскопии показали, что N-УНВ имеют структуру рыбьей кости, диаметр волокна составляет 60-100 нм, причем волокна закручены в спираль диаметром 100-150 нм. Исследовались зависимости выхода N-УНВ от состава катализатора и температуры. Наиболее высокие выходы наблюдались при температуре 550 °С на катализаторе Ni-Cu-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (до 70 г/г<sub>кат</sub> за 20 часов). Были изучены зависимости содержания азота в N-УНВ от типа катализатора, времени реакции, температуры и содержания аммиака в газовой смеси. Низкая температура 550 °С и короткое время реакции – 1 час способствуют увеличению содержания азота в N-УНВ. При содержании NH<sub>3</sub> в газовой смеси 25% получали образцы с содержанием азота 1-1,5%, из смеси с 50% азота получали N-УНВ с содержанием азота около 3%. Самое высокое содержание азота 7% было достигнуто при применении смеси NH<sub>3</sub> с этиленом в отношении 75%-25%.

Материалы N-АУМ приготавливали путем химической и последующей термической обработки различных азотсодержащих органических соединений и их смесей. Полученные продукты содержали от 1 до 8% азота. Образцы N-АУМ обычно обладают высокой удельной поверхностью порядка 1000-3000 м<sup>2</sup>/г и высоким содержанием микропор (более 70% от всего объема пор). Изучено влияние природы органического предшественника и условий приготовления на свойства N-АУМ. Установлена связь между условиями приготовления N-АУМ и содержанием азота, позволяющая целенаправленно готовить материалы с высоким содержанием азота. Исследования методом РФЭС показали, что в азотсодержащих углеродных материалах преобладают три типа атомов азота с энергией связи 398.5 эВ, 400 эВ и 400.8 эВ. Согласно литературным данным,

эти сигналы могут быть отнесены, соответственно, к азоту пиридинового типа с неподеленной электронной парой, азоту, входящему в состав аминогрупп или пиррольного кольца, и графитоподобному азоту, т.е. атомам азота, замещающим углеродные атомы в плоскости графита.

Присутствие атомов азота первого типа должно способствовать связыванию ионов кобальта с поверхностью и образованию активных центров реакции восстановления кислорода.

Кобальтовые катализаторы готовили обработкой N-УНВ и N-АУМ водным раствором ацетата кобальта, взятым в количестве, рассчитанном для получения катализаторов с содержанием кобальта 1,5%. Катализаторы прокаливали в аргоне при температуре 600 или 900°C. Полученные образцы обрабатывали серной кислотой для удаления кислоторастворимых форм кобальта.

Показано, что доля прочно связанного кобальта, остающегося в катализаторе после кислотной отмывки, возрастает с увеличением содержания азота в использованном носителе. Например, в образце катализатора на носителе N-АУМ с содержанием азота 0,92% после отмывки остается 0,15% кобальта (10% от исходного количества), а в образце с 5,3% N остаточное содержание кобальта составляет 0,61-0,76% (примерно половина от исходного количества кобальта).

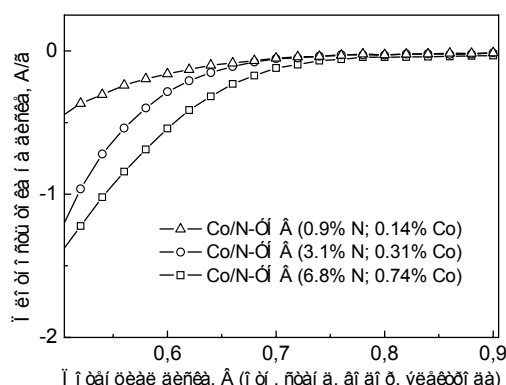


Рис. 5. Зависимость плотности тока от потенциала на диске для Co катализаторов, нанесенных на N-УНВ

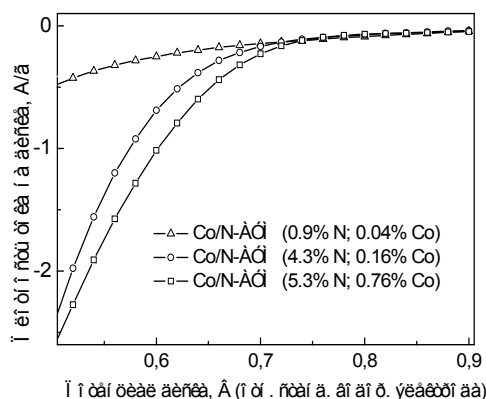


Рис. 6. Зависимость плотности тока от потенциала на диске для Co катализаторов, нанесенных на N-АУМ

Исследование состояния атомов кобальта на поверхности методом РФЭС в катализаторах с высоким содержанием азота показало присутствие сигналов, отвечающих ионам  $\text{Co}^{2+}$  прочно связанных с азотом.

Измерение электрохимической активности образцов катализаторов в реакции восстановления кислорода проводили методом вращающегося диска (рис. 5, 6). Результаты показали, что активность увеличивается при увеличении содержания N и соответственно концентрации связанного с N кобальта в катализаторе.

Полученные в настоящей работе результаты показывают перспективность синтезированных катодных катализаторов в качестве альтернативы традиционным платиновым катализаторам.

Работа выполнена при поддержке Президиума СО РАН (Интеграционный проект № 88) и Президиума РАН (Интеграционный проект № 21.58).

#### Список литературы:

1. Reshetenko T.V., Avdeeva L.B., Ismagilov Z.R., Pushkarev V.V., Cherepanova S.V., Chuvin A.L., Likhohbov V.A. // Carbon. 2003. V. 41. P. 1605.
2. Барнаков Ч.Н., Козлов А.П., Сеит-Аблаева С.К., Фенелонов В.Б., Черепанова С.Р., Исмагилов З.Р., Пармон В.Н. // Нефтехимия. 2004. № 6. С. 436.
3. M. Lefevre, J.P. Dodelet, P. Bertrand // J. Phys. Chem. B, 104 (2000) 11238.
4. Sakashita M., Takanashi T., Kaneda Y., Ismagilov Z.R., Kerzhentsev M.A., Barnakov Ch.N., Shikina N.V., Lisitsin A.S. Japanese Patent JP2005135817 "Electrode catalyst for fuel cell".



# РАЗРАБОТКА НАНОПОРИСТОГО УГЛЕРОДНОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ ИОНИСТРОВ И ИСПЫТАНИЕ В ЛАБОРАТОРНОЙ МОДЕЛИ

*А.В. Самаров, Ч.Н. Барнаков, А.П. Козлов, О.С. Ефимова, З.Р. Исмагилов,  
Б.П. Адуев, Г.М. Белокуров, А.В. Пузынин*

*Институт углехимии и химического материаловедения СО РАН*

*E-mail: [sav335@yandex.ru](mailto:sav335@yandex.ru)*

## Annotation.

In this paper the synthesis of nanoporous carbon material (NCM) from individual organic compounds (phenol, 8-hydroxyquinoline) and coals in excess of alkali is presented. The process takes place at a temperature of 700 °C in atmosphere of flue gases. The sample of NCM having the BET specific area about 1900 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup> was tested by supercapacitor cell. The specific capacitance up to 380 F/g in aqueous electrolyte (KOH) has been measured. These encouraging results illustrate the exciting potential for high performance, electrical energy storage devices based on this new class of carbon material.

Ранее [1] методами электронной спектроскопии высокого разрешения (HRTEM) и дифракции электронов было показано, что нанопористый углеродный материал (ПУМ), в отличие от активированного угля, волокнистых углеродных материалов и наноуглерода, имеет структуру, сформированную графеноподобными слоями монокристаллической (порядка 0,3 нм) толщины. Аналогичные результаты получены и при рентгенографических исследованиях образцов, приготовленных из ароматических соединений. На способ получения подобных нанопористых углеродных материалов получен патент [2] и взят товарный знак «Kemerit».

В данной работе были получены образцы нанопористого углеродного материала (ПУМ) путем карбонизации (700 °C) с избытком щелочи по методике, приведенной в [2]. В качестве предшественников использовались индивидуальные органические соединения (фенол, 8-оксихинолин) и угли марок Ж и Г. Выход продукта составил около 30 % от массы прекурсоров. Текстульные характеристики полученных материалов представлены в таблице 1.

Таблица 1. Текстульные характеристики нанопористых углеродных материалов

| Образец | Исходный материал | A <sub>БЭТ</sub> , м <sup>2</sup> /г | V <sub>Σ</sub> , см <sup>3</sup> /г | A <sub>μ</sub> , м <sup>2</sup> /г | V <sub>μ</sub> , см <sup>3</sup> /г |
|---------|-------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|
| Kem-1   | Уголь марки Ж     | 3100                                 | 1,60                                | 3050                               | 1,12                                |
| Kem-2   | Фенол             | 1900                                 | 1,34                                | 1680                               | 1,05                                |
| Kem-3   | Уголь марки Г     | 2550                                 | 1,59                                | 2235                               | 1,21                                |
| Kem-4   | 8-оксихинолин     | 1470                                 | 1,01                                | 1225                               | 0,63                                |

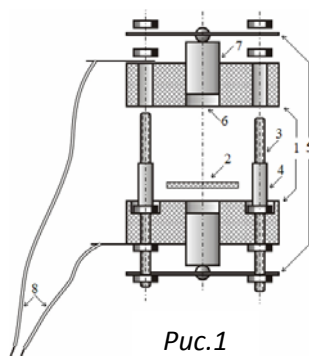
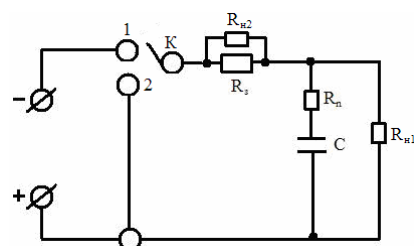


Рис. 1

Для исследования возможностей использования ПУМ типа «Kemerit» в качестве электродов для суперконденсаторов была сконструирована специальная ячейка, чертеж которой представлен на рисунке 1. Сама матрица состоит из двух цилиндров (1), выточенных из оргстекла, эти цилиндры разделены сепаратором (пористый пластик) (2) и стянуты четырьмя шпильками (3) покрытыми изолирующим клеем (4). Стягивающие пластины (пружины) (5) находятся под углом 90 градусов друг к другу. В специальные отверстия (6) диаметром 14 мм, засыпается композит углерода «Kemerit» (Kem-3) с удельной поверхностью 1900 м<sup>2</sup>/г и массой 0,1 г, предварительно смешанный с водным раствором KOH (29%) являющимся электролитом, и медленно сдвигается специальными стальными цилиндрами (7), с помощью пружин. К двум шпилькам подведены провода (8), для подачи заряжающего напряжения на электроды.



Временные характеристики заряда и разряда конденсатора измерялись осциллографическим методом с использованием различных сопротивлений нагрузки. Электрическая схема измерений зарядки-разрядки ионистора представлена на рисунке 2. Источник постоянного тока В-5-53 подключается к данной электрической схеме и питает ее напряжением в 1 В. В момент времени, когда тумблер (К) замыкает контакт (1) или (2) происходит зарядка или разрядка ионистора (С) через зарядное сопротивление (R<sub>з</sub>), внутреннее сопротивление ионистора (R<sub>и</sub>), которое определяется сопротивлением контактов, сопротивлением сепаратора и электролита. Параллельно к

ионистору (С) и зарядному сопротивлению (R<sub>з</sub>) подключено два канала осциллографа «LeCroy», с сопротивлением нагрузки (R<sub>н1</sub>, R<sub>н2</sub>), благодаря чему можно наблюдать рост напряжения на обкладках конденсатора по падению напряжения на R<sub>н1</sub> и вычислить ток зарядки или разрядки ионистора по падению напряжения на R<sub>н2</sub>. В нашей серии экспериментов R<sub>н1</sub> = R<sub>н2</sub> = R<sub>и</sub> = 1 МОм.

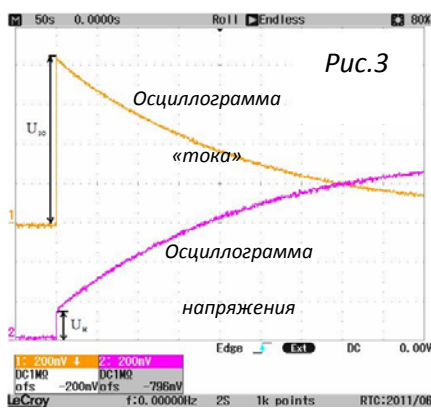


Рис.3

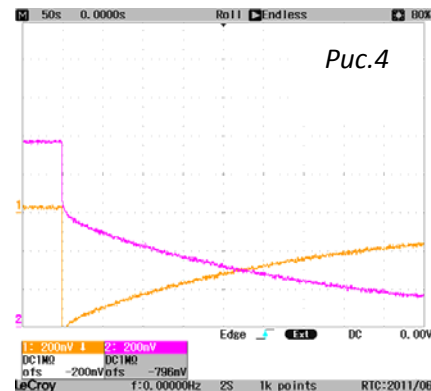


Рис.4

С помощью электрической схемы представленной на рисунке 2, мы получали осциллограммы зарядки-разрядки суперконденсатора (рисунки 3,4). В этом эксперименте использовалось зарядное сопротивление  $R_3 = 15$  Ом. На осциллограммах по оси X расположена временная развертка (с ценой деления 50 с), по оси Y находится напряжение (с ценой деления 200 мВ). Из рис.3 можно найти внутреннее сопротивление ионистора  $R_n$ . Напряжение, подаваемое источником тока  $U_0 = 1$  В. Зарядное напряжение  $U_{30}$  берется из максимального значения осциллограммы «тока» (1) рис.(3) при подключении схемы к источнику питания. Начальный ток  $I_0$  рассчитывается по формуле:

$$I_0 = \frac{U_{30}}{R_3} \quad (1)$$

Далее, зная начальный ток  $I_0$  находим внутреннее сопротивление  $R_n$  по формуле:

$$I_0 = U_0 / (R_3 + R_n), \rightarrow R_n = U_0 / I_0 - R_3 \quad (2)$$

После расчетов получаем, что  $R_n = 2,65$  Ом.

Из осциллограммы разрядки ионистора рис.5 можно рассчитать емкость конденсатора по формуле:

$$U_p = U_{p0} e^{-t/\tau} \quad (4),$$

где  $\tau = (R_p + R_n)C$ ,  $U_{p0}$  – напряжение разрядки в момент времени  $t=0$ , которое соответствует максимальному значению на осциллограмме «тока» рис.4. Из нашей электрической схемы измерений зарядки-разрядки суперконденсатора рис.2 следует, что зарядное сопротивление равно разрядному сопротивлению, т.е.  $R_3 = R_p$ .

Далее, располагая значениями напряжения разрядки  $U_p$  в момент времени  $t$ , строим график на рисунке 5.

Из уравнения прямой находим коэффициент  $k$  и далее находим  $\tau$ :

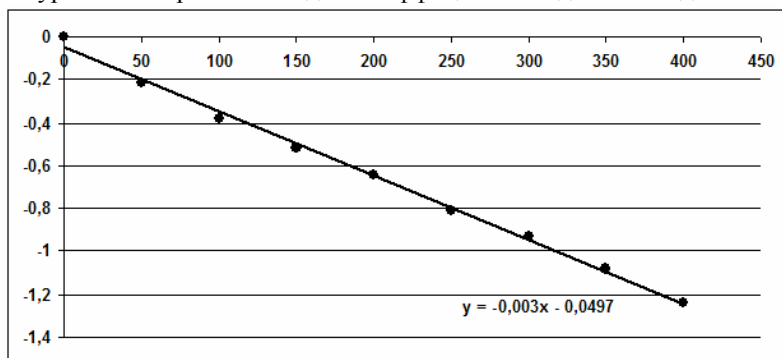


Рис.5. График зависимости  $\ln U_p$  от времени  $t$

$$K = 0,003 \text{ с}^{-1}; \tau = 1/k = 333 \text{ с}$$

Расчет емкости конденсатора:

$$\tau = Rc; R = R_3 + R_n; c = \tau/R = 18,9 \text{ Ф}$$

Аналогичным способом рассчитывались  $R_n$  и  $C$  для всех проведенных экспериментов с различными разрядными  $R_p$  сопротивлениями (0,5 Ом, 10 Ом, 15 Ом). Результаты представлены в таблице 2.



Таблица 2. Итоговая таблица с расчетными значениями  $R_n$ ,  $\tau$ ,  $C$ , для экспериментов с различными разрядными сопротивлениями  $R_p$

| $R_p$ , Ом | $R_n$ , Ом | $\tau$ , с | $C$ , Ф |
|------------|------------|------------|---------|
| 15         | 2,65       | 333        | 18,9    |
| 0,5        | 2,63       | 57         | 18,7    |
| 15         | 2,75       | 322        | 18,2    |
| 10         | 2,66       | 244        | 19,4    |
| 0,5        | 2,83       | 65         | 19,8    |
| 10         | 3,16       | 233        | 17,9    |

Измеренное значение емкости в данной конструкции составляет величину  $c = 18 \div 19$  Ф. Поскольку суперконденсатор представляет собой два последовательно соединенных конденсатора, разделенных сепаратором, емкость одного электрода составляет  $C_1 \approx 36 \div 38$  Ф. Удельная емкость при массе электрода 0,1 г составляет величину  $360 \div 380$  Ф/г.

Первые результаты показывают перспективу применения материала типа «Kemerit» с развитой микропористостью в качестве электродов для суперконденсаторов и необходимость продолжения работ с варьированием параметров элементов конструкции для достижения оптимальных результатов.

Последующее исследование свойств ПУМ показало, что в зависимости от исходных материалов и времени карбонизации можно получать как мезопористые так и микропористые углеродные материалы. Существует мнение, что мезопористые углеродные материалы с четко выраженными, упорядоченными поровыми каналами, в отличие от микропористых углеродных материалов, имеют незатрудненный внутри пористый ионный перенос, что в свою очередь ожидает показать наилучшие результаты в сфере суперконденсаторных технологий [3].

#### Список литературы:

1. Барнаков Ч.Н., Козлов А.П., Сеит-Аблаева С.К., Фенелонов В.Б., Черепанова С.В., Исмагилов З.Р., Пармон В.Н. Нефтехимия, 2004, № 6, с.436-439.
2. Патент РФ № 2206394 Способ получения наноструктурированного углеродного материала. Барнаков Ч.Н., Сеит-Аблаева С.К., Козлов А.П., Рокосов Ю.В., Фенелонов В.Б., Пармон В.Н. Оpubл. 20.06.2003. Бюл. № 17.
3. Da-Wei Wang, Feng Li, Zhi-Gang Chen, Gao Qing Lu, Hui-Ming Cheng. Synthesis and electrochemical properties of boron-doped mesoporous carbon in supercapacitor. Chemistry of materials, 20 (2008), P. 7195-7200.

**УДК 662.741**

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКОЛОГО-ГИГИЕНИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ РАБОЧИХ МЕСТ В УСЛОВИЯХ КОКСОХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

**Субботин С.П., к.х.н., зам. директора по инновациям, Авдюшкин В.Н.,  
зам. нач. коксового цеха ОАО «Кокс», г. Кемерово, e-mail: ssp@kokc.kem.ru**

Коксохимические производства России размещены, как правило, в промышленных районах крупных городов с развитой инфраструктурой металлургических, химических, энергетических предприятий и разветвленной сетью транспортных магистралей. Атмосфера этих городов загрязнена выбросами токсичных веществ от промышленных предприятий и автотранспорта, а загрязнение поверхностных водоемов коммунальными и промышленными сбросами часто превышает естественный ресурс их самовосстановления.

Снижение антропогенной нагрузки на окружающую среду в коксохимическом производстве может быть достигнуто только при коренной модернизации технологических процессов и, прежде всего, способов коксования, обработки коксового газа и улавливания химических продуктов коксования, также применением современных методов водо- и газоочистки.

ОАО «Кокс» расположен в городской черте Кемерово. В эксплуатации находится четыре коксовые батареи (№3-5, 4-6) общей производительностью около 3 млн. т кокса в год.

ОАО «Кокс» прошло международную сертификацию системы менеджмента качества и экологического менеджмента в соответствии с международными стандартами ISO 9001:2008 и ISO 14001:2004. Согласно требованиям стандарта ISO 14001:2004 предприятием ежегодно разрабатывается и принимается экологическая политика, в которой ОАО «Кокс» признаёт своё воздействие на окружающую среду и определяет приоритетным направлением развития предприятия экологическую модернизацию производства и снижение негативного

воздействия на окружающую среду. Экологическая политика предприятия предусматривает пути разумного сочетания экологических и экономических интересов.

В 1997 году инженерами предприятия совместно со специалистами ВУХИНа (Восточный углехимический институт) была разработана научно обоснованная концепция повышения экологической безопасности предприятия путем поэтапного внедрения наилучших технологий, обладающих низкой энерго- и ресурсоемкостью, а также снижением выбросов и сбросов загрязняющих веществ в окружающую среду.

Для решения природоохранных задач ОАО «Кокс» руководствовалось как данными европейского справочника по наилучшим доступным технологиям, так и результатами собственных научных исследований.

Итогом проделанной работы стало принятие "Комплексной программы повышения устойчивости функционирования и снижения негативного воздействия на окружающую среду акционерным обществом "Кокс" на 2004-2010 гг.", затраты на внедрение которой составили более 3 млрд. рублей.

Основным показателем в области загрязнения атмосферного воздуха в коксохимпроизводстве является удельный выброс на тонну кокса. Он складывается из различных источников выбросов. В данной работе были исследованы источники выбросов коксовой пыли при эксплуатации коксовых батарей, связанные с выдачей кокса из коксовой печи.

При эксплуатации коксовых батарей выбросы коксового газа и пыли происходят во время загрузки печей угольной шихтой, планирования угольного пирога в печи, выдачи кокса. При выдаче кокса основная масса выбросов коксовой пыли происходит при выгрузке «коксового» пирога в тушильный вагон. На двересъемных машинах коксовой батареи №6 была внедрена установка беспылевой выдачи кокса (УБВК). В ее состав входит: зонт, циклоны, бак с водой для орошения циклонов, насос.

После монтажа и наладки УБВК были выполнены замеры для определения эффективности работы установки.

Экспертная оценка степени локализации выбросов коксовой пыли при выдаче кокса на УБВК составила 76,7%.

Определено влияние установки беспылевой выдачи кокса (УБВК) на санитарно-гигиеническое состояние рабочих мест дверевого коксовой стороны и люкового верха коксовой батареи №6. Оценка запыленности рабочих мест осуществлялась в соответствии с нормативной документацией Методические указания МУ №4436-87. Измерение концентраций аэрозолей преимущественно фиброгенного действия. В настоящее время действуют МУК 4.1.2468 – 09 «Измерение массовых концентраций пыли в воздухе рабочей зоны предприятий горно-рудной и нерудной промышленности».

Отбор проб проводился на двересъемной машине с улавливанием пыли при работе УБВК и на резервной двересъемной машине без улавливания пыли. Отбор аэрозоля проводился в момент выдачи кокса из печи в течение 40 секунд. Количество замеров составляло три через равные промежутки времени.

Результаты исследования представлены в таблице 1.

Таблица 1

| Отбор,<br>день | Рабочее место люкового,<br>верх батареи        |                        | Рабочее место дверевого,<br>коксовая сторона   |                        |
|----------------|------------------------------------------------|------------------------|------------------------------------------------|------------------------|
|                | При работе УБВК,<br>мг/куб. м                  | Без УБВК,<br>мг/куб. м | При работе УБВК,<br>мг/куб. м                  | Без УБВК,<br>мг/куб. м |
| 1              | 25,6                                           | 56,09                  | 16,84                                          | 51,33                  |
| 2              | 17,55                                          | 38,86                  | 8,65                                           | 21,00                  |
| 3              | 12,48                                          | 31,6                   | 9,13                                           | 41,30                  |
| 4              | 47,67                                          | 91,22                  | 5,78                                           | 35,83                  |
| 5              | 32,54                                          | 88,85                  | 5,34                                           | 12,06                  |
| 6              | 13,43                                          | 54,09                  | 6,12                                           | 42,79                  |
|                | Снижение концентрации коксовой пыли –<br>62,7% |                        | Снижение концентрации коксовой пыли –<br>73,0% |                        |

Разброс замеров на рабочем месте люкового верха батареи от 31,6 до 91,22 мг/куб.м и рабочем месте дверевого коксовой стороны от 12,6 до 51,33 мг/куб. м без УБВК связано с соблюдением эксплуатационным персоналом технологического регламента или готовностью «коксового» пирога и составом шихты.

Коксовая пыль улавливается в циклонах, установленных на двересъемной машине и которые орошаются водой. Получаемый шлам стекает в тушильный вагон. К недостаткам данной системы УБВК относится то, что на коксовой машине находится постоянно пополняемый бак с водой и вся улавливаемая коксовая пыль не используется в дальнейшем для технологических нужд.

На коксовых батареях № 5-3 установки улавливания коксовой пыли снабжены стационарной пылеосадительной станцией. В состав установки беспылевой выдачи входят - пылеосадительная станция, стационарный коллектор установки беспылевой выдачи кокса (УБВК) вдоль печей и газоперепускное устройство. С помощью этой установки улавливаемая коксовая пыль, с помощью пневмотранспорта, подается по трубопроводу на пылеосадительную станцию, расположенную на тракте подачи угольной шихты. Таким образом, вся улавливаемая коксовая пыль добавляется в угольную шихту и в полном объеме используется в качестве сырья. Фактические замеры улавливаемой пыли за год составили более 300 тонн коксовой пыли.

Были проведены исследования для определения эффективности работы установки на коксовых батареях №3-5. Увеличение фактических показателей в 2010 году были связаны с подключением к установке коллектора улавливаемой пыли коксовой батареи №3. Данные по работе пылеосадительной станции представлены в таблице 2.

| Наименование регулируемых параметров                    | Ед.изм.           | Показатели работы |             |       |       |         |
|---------------------------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------|-------|-------|---------|
|                                                         |                   | Проектные         | Фактические |       |       |         |
|                                                         |                   |                   | 2007        | 2008  | 2009  | 2010    |
| Производительность по воздуху<br>на входе<br>на выходе  | тыс.<br>куб.м/час | 240               | 88,25       | 88,25 | 88,25 | 108,259 |
| Температура очищаемого воздуха<br>на входе<br>на выходе | град. С           | 150               | 150         | 150   | 150   | 150     |
| Концентрация вредных веществ<br>на входе<br>на выходе   | г/ куб. м         | 10,0              | 1,24        | 1,246 | 0,214 | 1,325   |
| КПД<br>Пылеосадительной станции                         | %                 | 99                | 98          | 98    | 91    | 99,5    |

Но необходимо обратить внимание на следующий момент. Говоря о вышеуказанной пылегазоулавливающей установки (ПГУУ), важно учитывать, что речь идет об улавливании коксовой пыли при выдаче кокса только с одной стороны батареи, то есть с коксовой стороны. В принципе, это логично, ведь выдача кокса происходит с машинной на коксовую сторону, и основная доля выброса коксовой пыли происходит именно на коксовой стороне. При этом, с машинной стороны, в любом случае, имеет место выброс коксовой пыли как при выдаче кокса, так и при отводе двери и ее чистке. В связи с этим, при вводе в эксплуатацию коксовой батареи №3, на ОАО "Кокс" впервые в России были применены пылеулавливающие установки с рукавными фильтрами, спроектированные фирмой "ГОША ФОМ" (Сербия), и расположенные стационарно на коксовыталькивателях.

Установки служат для улавливания коксовой пыли с машинной стороны при отводе двери, непосредственно выдаче кокса, чистке двери и торца коксовой печи.

Подобные установки успешно работают на известных коксохимических предприятиях Германии, таких как «Prosper», «Thyssen» или «Mannesmann».

Опыт эксплуатации этих установок на ОАО "Кокс" показал, что эффективность их составляет около 70%. С помощью этих установок удастся улавливать до 12 т коксовой пыли в год, которая в дальнейшем, полностью используется в качестве сырья в угольной шихте. Имея положительный опыт эксплуатации пылеулавливающих установок на коксовыталькивателях, при реконструкции коксовых батарей №4 и №5, все коксовыталькиватели без исключения будут в дальнейшем оснащены подобными установками.

#### Список литературы:

1. Швед В.С., Березин А.В. Коксовая пыль как компонент угольной шихты // Кокс и химия. – 2009. - № 5. – С. 19-21.
2. Величко Е.В. ОАО «Кокс» - передовой опыт экологической модернизации производства в коксохимической отрасли РФ // Охрана атмосферного воздуха. Атмосфера. – 2010. - № 1. – С.69-70.
3. Сухоруков В.И., Стахеев С.Г., Стефаненко В.Т., Куколев Я.Б. О некоторых проблемах локализации и обезвреживания выбросов в коксовом производстве // Кокс и химия. – 2006. - № 3. – С. 54-57.

**УДК 662.741**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ИСТОЧНИКОВ ВЫБРОСОВ КАМЕННОУГОЛЬНОЙ ПЫЛИ НА РАБОЧИХ МЕСТАХ В УГЛЕПОДГОТОВИТЕЛЬНОМ ЦЕХА ОАО «КОКС»**

***Субботин С.П., к.х.н., зам. директора по инновациям, Солодянкин С.С.,  
вед. инж.ОАО «Кокс», Кемерово***

В данной работе были исследованы источники выбросов каменноугольной пыли при разгрузке и транспортировки угля в углеподготовительном цехе.

В год в углеподготовительном цехе разгружается 3,7 млн. тонн угольного концентрата. В таблице 1 представлены источники, где происходит выброс каменноугольной пыли.

Таблица 1. Доли выбросов пыли каменноугольной в 2010 г.

| Наименование источника / цеха           | Валовый выброс |           |
|-----------------------------------------|----------------|-----------|
|                                         | т/год          | % от вала |
| Углеподготовительный цех:               |                |           |
| - аспирационные системы (12 источников) | 16,23          | 34        |
| - трубы дефлекторов склада угля и шихты | 1,27           | 2,6       |
| - дефлекторы вагоноопрокидывателя       | 0,45           | 0,9       |
| - открытый склад угля                   | 29,85          | 62,5      |
| ИТОГО:                                  | 47,80          | 100,0     |

Разгруженный на вагоноопрокидывателе уголь, поступает на конвейер С-1а.б или С-2а.б. Для снижения пылевыведения на перегрузочных станциях и при транспортировке угля на конвейерах смонтирован кожух с установкой оросительных форсунок. Подача воды осуществляется автоматически с появлением нагрузки на транспортной ленте. Результаты замеров пыли в производственной среде представлены в таблице № 2.

Таблица 2. Результаты исследования воздуха производственной среды

| Место измерения               | Физический фактор | Дата измерения | Условия отбора проб | ПДК мг/м <sup>3</sup> | Фактический уровень физического фактора мг/м <sup>3</sup> | Величина отклонения от ПДК (раз) | Примечание                |
|-------------------------------|-------------------|----------------|---------------------|-----------------------|-----------------------------------------------------------|----------------------------------|---------------------------|
| Галерея С-1а.б (с орошением)  | Пыль угольная     | 07.02.2011г.   | 757 мм.рт.ст. 10°C  | -/10.0                | 14,8±3,0                                                  | 1,9                              | транспортёр под нагрузкой |
| Галерея С-1а.б (без орошения) | Пыль угольная     | 07.02.2011г.   | 757 мм.рт.ст. 10°C  | -/10.0                | 19,0±3,8                                                  | 1,5                              | транспортёр под нагрузкой |
| Галерея С-2а.б (с орошением)  | Пыль угольная     | 07.02.2011г.   | 757 мм.рт.ст. 10°C  | -/10.0                | 24,7±5,0                                                  | 3,4                              | транспортёр под нагрузкой |
| Галерея С-2а.б (без орошения) | Пыль угольная     | 07.02.2011г.   | 757 мм.рт.ст. 10°C  | -/10.0                | 33,9±5,0                                                  | 2,5                              | транспортёр под нагрузкой |

На аспирационные системы углеподготовительного цеха приходится более 34 % от общей доли выброса угольной пыли в углеподготовительном цехе. Это обусловлено значительным пылеобразованием на перегрузочных станциях по конвейерным трактам. Контроль над работой аспирационных систем осуществляется персоналом экоаналитической лаборатории ОАО «КОКС». Результаты проверки представлены в таблице № 3.

Эффективность очистки аспирационных систем зависит от качественных показателей поступающих углей, чем меньше влажность угольного концентрата, тем больше пылевыведение в местах перегрузки и тем больше разница в концентрации угольной пыли до и после аспирационной установки, при этом КПД очистки составляет ≥ 90%. Эффективность очистки аспирационных систем менее 90% полученная при проведении замеров, связана с тем, что в период измерения транспортировался уголь с повышенной влажностью (W=9,8%), однако измеренной эффективности достаточно, чтобы достигнуть концентрации пыли в воздухе рабочей зоны менее 0,5 ПДК.

Таблица 3. Оценка работы аспирационных установок в углеподготовительном цехе:

| Наименование аспирационной установки | Эффективность очистки, % | Концентрация пыли в воздухе рабочей зоны, мг/м <sup>3</sup> ( норма ПДК = 10 мг/м <sup>3</sup> ) |
|--------------------------------------|--------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| В-1                                  | 79                       | 4,8                                                                                              |
| В-2                                  | 80                       | 4,6                                                                                              |
| АС-7                                 | 83                       | 4,3                                                                                              |
| АС-8                                 | 84,5                     | 4,5                                                                                              |
| АС-9                                 | 93,7                     | 4,5                                                                                              |
| АС-10                                | 82                       | 4,6                                                                                              |
| АС-18                                | 88                       | 6,4                                                                                              |
| АС-19                                | 88                       | 6,2                                                                                              |
| Тайра (взамен АС-16)                 | -                        | 3,8                                                                                              |

Для эксперимента, параллельно с АС-7, на транспортёре С-2АБ был установлен пылеулавливающий аппарат «ТАЙРА» для мокрой очистки воздуха от угольной пыли в местах перегрузки и пересыпки угля и устанавливается непосредственно на укрытие этих мест. Отличительная особенность аппарата заключается в том, что он обеспечивает очистку от пыли у мест ее выделения и позволяет осуществлять рециркуляцию воздуха, вследствие чего отпадает необходимость в традиционной сети воздухопроводов, подверженных засорению пылью. В ходе испытаний производилось включение установки совместно либо раздельно с аспирационной системой АС-7. Полученные результаты замеров показали, что пылеулавливающая установка «ТАЙРА» снижает запыленность практически в два раза. Результаты замеров, проводимых при оценке работы установки «ТАЙРА», приведены в таблице 4.

Таблица 4. Оценка работы пылеулавливающей установки «ТАЙРА»

| № п/п | Рабочее место                              | Место измерения (технологическая операция)    | Ингредиент    | Условия отбора проб | Концентрация, мг/м <sup>3</sup> | ПДК мг/м <sup>3</sup> |
|-------|--------------------------------------------|-----------------------------------------------|---------------|---------------------|---------------------------------|-----------------------|
| 1     | Машинист вагоноопрокидывателя 3-го разряда | Натяжная конвейера С-2А (с Тайра, без АС-7)   | Пыль угольная | 752 мм.рт.ст. 15°С  | 2,49±0,52                       | -/10,0                |
| 2     | Машинист вагоноопрокидывателя 3-го разряда | Натяжная конвейера С-2А (с Тайра, с АС-7)     | Пыль угольная | 752 мм.рт.ст. 15°С  | 1,74±0,37                       | -/10,0                |
| 3     | Машинист вагоноопрокидывателя 3-го разряда | Натяжная конвейера С-2А (без Тайра, с АС-7)   | Пыль угольная | 752 мм.рт.ст. 15°С  | 5,47±1,15                       | -/10,0                |
| 4     | Машинист вагоноопрокидывателя 3-го разряда | Натяжная конвейера С-2А (без Тайра, без АС-7) | Пыль угольная | 752 мм.рт.ст. 15°С  | 9,69±2,03                       | -/10,0                |

По итогам апробирования пылеулавливающего аппарата «ТАЙРА» было принято решение о включении в план мероприятий по снижению выбросов угольной пыли на 2010 год (таблица 5) замена АС -16 на аппарат «ТАЙРА».

Таблица 5. Мероприятия по снижению выбросов угольной пыли на 2010 год по углеподготовительному цеху

| Источник выброса                       | Мероприятие по уменьшению выброса      | Выброс пыли в атмосферу, тонн/год   |                              |                     | Срок выполнения мероприятия | Стоимость, руб. |
|----------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|---------------------|-----------------------------|-----------------|
|                                        |                                        | По отчету 2-ТП (воздух) за 2009 год | После выполнения мероприятий | Уменьшение выбросов |                             |                 |
| АС-13                                  | Замена вентустановки и воздухопроводов | 4,2741                              | 2,1312                       | 2,1429              | 2 кв.                       | 230000          |
| АС-14                                  | Замена вентустановки и воздухопроводов | 1,6604                              | 1,375                        | 0,2854              | 4 кв.                       | 230000          |
| АС-16                                  | Замена вентустановки на «ТАЙРА»        | 1,4444                              | 0,9502                       | 0,4942              | 1 кв.                       | 96000           |
| АС-17                                  | Замена вентустановки и воздухопроводов | 1,4354                              | 1,1332                       | 0,3022              | 4 кв.                       | 230000          |
| Общий выброс угольной пыли             |                                        | 97,242                              | 94,0173                      | 3,2247              |                             |                 |
| Сумма затрат на выполнение мероприятий |                                        |                                     |                              |                     |                             | 786000          |

Основываясь на результатах контроля среднесменных концентраций определяемых веществ в ВПС за первое и второе полугодие 2010 года (приведенных в таблицах № 6, 7) можно сделать вывод, что реализация мероприятий комплексной программы повышения устойчивости функционирования и снижения негативного воздействия на окружающую среду на 2004-2010 гг. обеспечивает снижение среднесменных концентраций определяемых веществ.

Таблица 6. Сведения о результатах контроля среднесменных концентраций определяемых веществ в ВПС за 1 полугодие 2010 года:

| № п/п | Наименование рабочего места                | Место проведения исследования | Определяемое вещество | Количество анализов | ПДК мг/м <sup>3</sup> | Среднесменная концентрация мг/м <sup>3</sup> |
|-------|--------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|----------------------------------------------|
| 1     | Дробильщик                                 | Дробильное отделение          | Пыль угольная         | 36                  | 10                    | 5,449<br>5,508<br>5,311                      |
| 2     | Машинист вагоноопрокидывателя 3-го разряда | Вагоноопрокид                 | Пыль угольная         | 36                  | 10                    | 9,925<br>9,617<br>9,302                      |
| 3     | Машинист силосов и угольной башни          | Верх ЗСУ                      | Пыль угольная         | 27                  | 10                    | 8,238<br>10,804<br>9,576                     |
|       |                                            | Верх ЗСШ                      | Пыль угольная         | 36                  | 10                    | 9,498<br>10,022<br>9,466                     |

Таблица 7. Сведения о результатах контроля среднесменных концентраций определяемых веществ в ВПС за 2 полугодие 2010 года

| № п/п | Наименование рабочего места                | Место проведения исследования | Определяемое вещество | Количество анализов | ПДК мг/м <sup>3</sup> | Среднесменная концентрация мг/м <sup>3</sup> |
|-------|--------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|----------------------------------------------|
| 1     | Дробильщик                                 | Дробильное отделение          | Пыль угольная         | 36                  | 10                    | 5,440<br>5,376<br>5,510                      |
| 2     | Машинист вагоноопрокидывателя 3-го разряда | Вагоноопрокид                 | Пыль угольная         | 36                  | 10                    | 7,794<br>8,138<br>8,330                      |
| 3     | Машинист силосов и угольной башни          | Верх ЗСУ                      | Пыль угольная         | 27                  | 10                    | 9,468<br>8,814<br>9,216                      |
|       |                                            | Верх ЗСШ                      | Пыль угольная         | 36                  | 10                    | 9,198<br>9,563<br>9,164                      |

## ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЯ ФЛУОРЕНОВОЙ ФРАКЦИИ ИЗ ПОГЛОТИТЕЛЬНОГО МАСЛА

*С.П. Субботин, к.э.н., зав. каф. ХТТТ и Э, А.В. Неведров, к.т.н., доц.,  
А.В. Папин, к.т.н., доц.*

*Кузбасский Государственный технический университет, г. Кемерово*

В настоящее время на большинстве коксохимических предприятий России переработка каменноугольной смолы носит узконаправленный характер: извлечение нафталина, получение поглотительного масла, шпалопропиточного масла, пека, фенольной и антраценовой фракций. Нафталиновая, антраценовая и фенольная фракции в основном направляются на переработку на родственные предприятия, где есть установки для их переработки в товарные продукты или утилизации путем сжигания с получением тепловой энергии. Реализация данных видов побочных продуктов коксохимических производств имеет скорее всего не экономическую, а экологическую целесообразность.

Однако, во многих побочных продуктах коксохимии присутствуют химические соединения, которые являются ценным и дефицитным сырьем для фармацевтических, химических и других видов промышленности. Производство этих ценных химических соединений на коксохимических предприятиях позволит увеличить их прибыль.

Одним из таких ценных товарных продуктов коксохимии может стать флуорен. Флуорен содержится в каменноугольной смоле, а именно в поглотительном масле, получаемом из каменноугольной смолы.

Поглотительное масло в коксохимическом производстве используется при очистке коксового газа от бензольных углеводородов. В его составе присутствует более 140 индивидуальных соединений [1]. Основная масса представлена 23 компонентами ароматического ряда с температурами кипения 218-293 °С. Кроме того, во фракции имеется около 40 азотосодержащих соединений и 16 компонентов фенольного ряда. Качество поглотительного

масла определяется поглотительной способностью (количество метилнафталинов), склонностью к кристаллизации при охлаждении и склонностью к полимеризации при повышенных температурах, за что ответственны высококипящие соединения: аценафтен, дифениленоксид и флуорен. Выделение высококипящих соединений путем дополнительной ректификации поглотительного масла решает задачу, как по улучшению качества поглотительного масла, так и по сырью для выделения индивидуальных высококипящих компонентов. В технологической схеме бензольного отделения коксохимического предприятия эту задачу решает регенератор поглотительного масла. При регенерации из масла удаляются полимеры, в которых концентрируется значительная часть высококипящих соединений, в том числе и флуорен. Регенерация поглотительного масла осуществляется периодически по мере накопления полимеров в оборотном масле и повышения его плотности.

Определение фракционного состава поглотительного масла и полимеров выполнялось путем разгонки в колбе Вюрца при контроле температуры на выходе паровой фазы кипящей смеси. Основное количество высококипящих компонентов, присутствующих в масле, при разгонке удалялось в интервале температур 270-300 °С. В свежем поглотительном масле количество продукта, выкипающего в интервале 270-300 °С составило 4-6 % (по массе). Выход высококипящей фракции из оборотного и регенерированного масла почти вдвое превысил выход из свежего поглотительного масла. В полимере выход этой фракции достигал 50 %.

Результаты исследований содержания высококипящих компонентов (аценафтена, дифениленоксида и флуорена) в оборотном поглотительном масле и в отогнанных из него полимерах, представлены в таблице.

Таблица. Содержание высококипящих компонентов в поглотительном масле и полимерах

| Наименование вещества          | Компоненты  |                 |             | Σ ВКК       |
|--------------------------------|-------------|-----------------|-------------|-------------|
|                                | Аценафтен   | Дифенилен-оксид | Флуорен     |             |
| Оборотное поглотительное масло | 22,28-30,09 | 14,90-16,73     | 6,46-7,66   | 47,25-51,41 |
| Полимеры                       | 34,41-36,27 | 27,40-34,62     | 10,47-19,42 | 73,91-86,87 |

Σ ВКК – суммарное содержание высококипящих компонентов.

Данные, представленные в таблице, позволяют определить сырьевую базу для получения аценафтена, дифениленоксида и флуорена.

Из табл. 1 видно, что при регенерации поглотительного масла в выделяющихся полимерах содержание высококипящих компонентов в 1,5-2 раза превышает их содержание в оборотном поглотительном масле. Общая сумма компонентов, выкипающих после 270 °С в полимерах достигает 80 мас. % и более. Наибольшее количество целевого компонента (флуореновая фракция) отмечается в продуктах, выделенных в начале цикла регенерации [2].

Оптимальным с позиций переработки для извлечения флуорена является отбор полимера на начальном цикле регенерации. В случае переработки полимера на другие индивидуальные компоненты время отбора не имеет существенного значения.

При разработке технологии извлечения флуорена из полимера лабораторные исследования необходимо разделить на два этапа.

Первый этап – выделение из поглотительного масла широкой фракции высококипящих компонентов в интервале 270-310 °С с целью отгона легкой фракции и удаления собственно полимеров.

Второй этап – ректификация широкой фракции с контролем состава продуктов при различных температурах.

Как уже было отмечено выше, выделение широкой фракции 270-310 °С осуществлялось в колбе Вюрца.

Затем широкая фракция охлаждалась и подвергалась центрифугированию для выделения кристаллической фазы и масла. Кристаллы и масло подвергались хроматографическому анализу. Результаты анализа показали, что в состав масла и кристаллов входят нафталин, диметилнафталины, дифенил, аценафтен, дифениленоксид и флуорен. Кристаллы от масла отличает повышенное содержание высококипящего компонента, что свидетельствует о том, что уже на стадии кристаллизации происходит концентрирование флуорена в твердой фазе. Полученная таким образом флуореновая фракция в дальнейшем подвергалась очистке.

Таким образом, подводя итог, необходимо отметить, что получение флуореновой фракции наиболее рационально из полимеров, которые образуются при регенерации поглотительного масла. Кроме того, при производстве флуорена возможно попутно получать другие ценные продукты: аценафтен и дифениленоксид. Производство этих продуктов позволит повысить экономическую эффективность коксохимических предприятий.

#### Список литературы:

1. Мариич Л.И., Амброзевич Ф.Н. О качестве поглотительного масла // Кокс и химия. 1981. № 9. – С. 32-35.
2. Лозбин В.И., Мочальников С.В., Солодов Г.А., Папин А.В., Неведров А.В.// Известия Томского политехнического университета. 2007. Т. 310. № 1. - С. 149.

## ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА УГОЛЬНОЙ ШИХТЫ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КОКСА ПОВЫШЕННОГО КАЧЕСТВА

*Е.А. Кошелев, к.т.н., нач. ПТО, В.С. Швед, к.т.н., нач. ЦЗЛ,  
В.К. Фрицлер, зам. нач. ЦЗЛ по НИР.  
ОАО «КОКС», г. Кемерово, 650021, ул. 1-ая Стахановская, 6,  
факс: (384 2)57-19-27, e-mail: info@kemerovokoks.ru*

Одной из важнейших задач для получения кокса максимальной прочности является оптимизация состава шихты. В настоящей работе основные направления оптимизации угольной шихты включили в себя:

1. Максимально полное изучение собственной сырьевой базы коксования: действующих шахт «Владимирская», «Романовская», строящихся шахт «Бутовская», «им. С.Д. Тихова», разреза «Участок Коксовый» путём отбора пластовых проб.

2. Поиск альтернативных поставщиков углей для расширения базы данных.

3. Детальное изучение качества углей с применением современных методов исследований (петрографический анализ, химический состав золы на спектрометре «Спектроскан», пластометрические показатели по Сапожникову, Гизелеру, дилатометрические показатели по ИГИДметИ, показатель свободного вспучивания, технический анализ).

В ходе исследований установлено влияние на качество шихты следующих показателей с их оптимальными значениями:  $R_0=1,1-1,2\%$ ,  $V_t\sim 70\%$ ,  $Y=15-17\text{мм}$ ,  $A<9,2\%$ , химического состава золы.

С учётом полученных результатов исследований углей составлялись различные варианты шихт и проводились ящичные коксования с оценкой качества получаемого кокса. Наилучшие варианты этих шихт проверяли промышленными коксованиями, в ходе которых выбраны оптимальные.

В ходе проведения данной работы подтвердили влияние фракционного состава углей и химического состава золы углей в шихте для коксования на показатели реакционной способности кокса и его «горячую» прочность. По результатам проведенной работы сделаны выводы об отрицательном влиянии таких углей как «Каахемский», «Элегестский», «Эрчим-Тхан» марки Ж на качество кокса, по причине высокого содержания основных оксидов в золе этих углей. А уголь шахты «Южная» (КС) отличен тем, что после его обогащения в нём остаётся большая доля «промпродукта» - сростков породы с углём, который также оказывает негативное влияние на качество кокса.

Выполненные исследования позволили получать кокс, удовлетворяющий требованиям потребителей мирового уровня.

## МЕХАНИЗМ ОКИСЛЕНИЯ УГЛЕЙ КИСЛОРОДОМ, ВЕДУЩИЙ К ИХ САМОВОЗГОРАНИЮ

*В.И. Бутакова, Ю.М. Посохов, В.К. Попов  
ФГУП «ВУХИН», 620990, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта, 14.  
Факс: (343) 371-40-54, 378-78-96.  
E-mail: vuhin@nexcom.ru, [spectrotest@gmail.com](mailto:spectrotest@gmail.com).*

Выявление механизма начальной стадии окисления при самовозгорании углей, – важнейшей практической проблемы угольной промышленности, – возможно лишь на основании теории строения углей [1], согласно которой основу органической массы углей составляют углеводороды с системой сопряжения с открытой цепью (ПСС) и их производные.

Известно, что окисление углеводородов кислородом в присутствии катализаторов или при воздействии на систему излучением или другими факторами протекает по радикально-цепному механизму. Однако механизм окисления углеводородов и углей кислородом в отсутствие внешнего воздействия остается неизвестным.

С целью выявления активных центров и механизма окисления, ведущего к самовозгоранию углей, методом силового поля MMFF94 и методом расширенного Хюккеля исследованы пространственные конфигурации атомов в модельных соединениях с учетом индуцированных эффективных зарядов.

В изучаемый набор модельных соединений вошли цис- и транс-ПСС с открытой цепью, включающие  $-\text{CH}_2-$  и  $-\text{CH}_3$  группы, а также перекисные, альдегидные, спиртовые и кислотные фрагменты. Дополнительно выполнены расчеты моделей ароматического и парафинового соединений.

Показано принципиальное отличие метильных групп, включенных в систему сопряжения (группы центров  $\text{H1ab}$  и  $\text{H1вгд}$ ) от метильных групп, связанных с насыщенными фрагментами. Действительно, у метильной группы, включенной в систему сопряжения, два атома водорода имеют равные положительные эффективные заряды и располагаются вне плоскости системы сопряжения, а третий – характеризуется меньшей величиной эффективного заряда и находится в плоскости системы. При этом у метильной группы, соединенной с насыщенным фрагментом, все три атома водорода имеют равные эффективные заряды и располагаются в той же плоскости, что и атомы



углерода.

Также показано, что у двух атомов водорода концевой метильной группы (центры Н1аб) эффективные заряды больше, чем у двух атомов водорода метильной группы – заместителя водорода в цепи системы сопряжения (центры Н1вгд).

В результате моделирования показано, что группа центров Н1аб активна по отношению к молекулярному кислороду; выявлен центр С3, активный по отношению к молекуле воды, а также предложен поэтапный механизм начальной стадии процесса самовозгорания углеводов:

Этап 1. Возникновение водородной связи между молекулой кислорода и двумя атомами водорода метильной группы, включенной в систему сопряжения (центры Н1аб) с образованием переходного контура [2], с дальнейшим формированием гидроперекиси, выделения молекулы воды, образования альдегида (молекулярный механизм окисления углеводов).

Этап 2. Взаимодействие молекулы кислорода с альдегидом (центр А) по радикально-цепному механизму [3] с образованием кислотного фрагмента, при разрушении которого выделяется  $\text{CO}_2$ , и возникает углеводород. В случае окисления концевой метильной группы, включенной в систему сопряжения с открытой цепью (центры Н1аб), образуется ПСС с концевой метиленовой группой (центр С3), способной реагировать с молекулой воды [2]. А в случае окисления неконцевых метильных групп (центры Н1вгд) образуются углеводороды, не активные по отношению к молекуле воды.

Этап 3. Взаимодействие молекулы воды с концевой метиленовой группой (центр С3) с образованием неустойчивой структуры – вторичного спирта. Образованная неустойчивая структура, стремясь к более устойчивому состоянию, выделяет метан, с формированием альдегидной группы (центр А), активной по отношению к молекулярному кислороду. В этом случае альдегид также образуется по молекулярному механизму.

Предлагаемый механизм согласуется с экспериментальными данными по самовозгоранию и окислению углей, а именно [4-7]:

- 1) с максимальным пиком поглощения кислорода в первые нескольких минут;
- 2) с первоочередным окислением алифатических структур;
- 3) с образованием неустойчивых уголь-кислородных комплексов перекисного характера;
- 4) с периодичностью в процессе окисления;
- 5) с ускорением процесса самовозгорания углей молекулами воды.

Очевидно, что предлагаемый механизм является механизмом именно начальной стадии самовозгорания углей, поскольку в углях присутствуют центры Н1аб [1].

Процесс самовозгорания углей развивается при последовательном повторении второго и третьего этапов и поддерживается энергией, выделяемой при переходе неустойчивых структур в более устойчивые состояния.

Список литературы:

1. Попов В. К. Работы лаборатории углехимии // Кокс и химия. 2011, №3. -С. 20-23.
2. Березин Б. Д., Березин Д. Б. Курс современной органической химии. — М: Высшая школа. 2003. - 767 с.
3. The chemistry of diens and polyenes // Rappoport Z. — Hebrew University, Jerusalem. 1997. 1005 p.
4. Орешко В.Ф. Периодичность в процессе окисления каменных углей // Изв. АН СССР. 1949. №5. -С. 748-758.
5. Кучер Р. В., Бутузова Л. Ф., Шиндрик Т. Г. О периодичности реакции окисления каменных углей // ХТТ. 1979. №4. -С. 21-24.
6. Стадников Г. Л. Самовозгорающиеся угли и породы, их геохимическая характеристика и методы опознавания. - М.: Углетехиздат. 1956. - 478 с.
7. Саранчук В. И. др. Влияние воды на процесс низкотемпературного окисления угля // ХТТ. 1978. №1. -С. 9-10.

## **ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПРОМЫШЛЕННЫМИ ОТХОДАМИ И ОНКОЛОГИЧЕСКАЯ ЗАБОЛЕВАЕМОСТЬ НАСЕЛЕНИЯ КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТИ**

**С.А. Мун<sup>1</sup>, С.А.Ларин<sup>2</sup>**

***1Учреждение РАН Институт экологии человека СО РАН, 650065 г. Кемерово,  
пр-т Ленинградский, 10, тел. 8 (3842) 57-50-79; E-mail: ihe@kemtel.ru***

***2ГОУ ВПО «Кемеровская государственная медицинская академия Росздрава и социального  
развития РФ» 650029 г. Кемерово, ул. Ворошилова, 22а***

По данным Государственных докладов «О состоянии и охране окружающей природной среды Кемеровской области» ежегодный валовый выброс загрязняющих веществ (ЗВ) в атмосферу за последние 25 лет составлял 1178.1 – 2081.5 тыс.т. Ежегодный сброс ЗВ со сточными водами составлял 497.4-1375.7 тыс.т. Таким образом, на каждого жителя области ежегодно приходится от 578 до 1132 кг загрязняющих веществ, поступающих в окружающую среду. С 1998 по 2008 гг. количество атмосферных выбросов выросло с 1237.7 до 1810.3 тыс.т. (на 46.3%), в том числе от стационарных источников с 1000.2 до 1515.4 тыс.т. (на 51.9%) и от передвижных источников (транспорт) с 237.4 до 294.8 тыс.т. (на 24.2%). В этот же промежуток времени сброс загрязнённых жидких отходов в водные источники и на поверхность земли возрос с 730.0 до 781.9 млн.м<sup>3</sup>, в т.ч.

без очистки с 81.0 до 321.4 млн. м<sup>3</sup> (в 4 раза). При этом количество ЗВ, поступающих со сточными водами в водные объекты, возросло с 523.8 до 616.8 тыс.т. (на 17.7%).

Воздействие окружающей среды на человека проявляется в форме онкологических заболеваний. При добыче и особенно переработке (сжигании) угля образуется большое количество канцерогенных факторов: полициклические ароматические углеводороды (бензо[а]пирен и другие); сажи; каменноугольные смолы и пеки; бериллий, кадмий, мышьяк, никель и их соединения; тетрахлордibenзо-р-диоксин; 2-нафтиламин; радон.

Между стандартизованными показателями онкологической заболеваемости населения Кемеровской области, с одной стороны, и количеством вредных выбросов промышленных предприятий в атмосферу и водные источники, с другой стороны, выявлены прямые корреляционные связи. При этом показатели заболеваемости в текущем году отражают количество ЗВ, поступивших в окружающую среду 5-9 лет назад. Иными словами, канцерогенное воздействие промышленности проявляется в показателях заболеваемости спустя определённые промежутки времени. Это означает, что непрерывное увеличение загрязнения атмосферы и гидросферы Кузбасса, имеющее место в последнее десятилетие, приведёт к росту онкологической заболеваемости в ближайшие десять лет. Вместе с тем, выявленные взаимосвязи позволяют рассчитать максимально допустимые уровни загрязнения окружающей среды для заданных (желаемых) уровней онкологической заболеваемости. Например, для поддержания показателя заболеваемости раком лёгкого на уровне 40 человек на 100000 населения необходимо ограничить валовые выбросы ЗВ в атмосферу в пределах 1259.4 тыс.т. в год, а для поддержания показателя заболеваемости раком желудка на уровне 26 человек на 100000 населения необходимо ограничить сброс ЗВ в водные источники в пределах 493.1 тыс.т. в год.

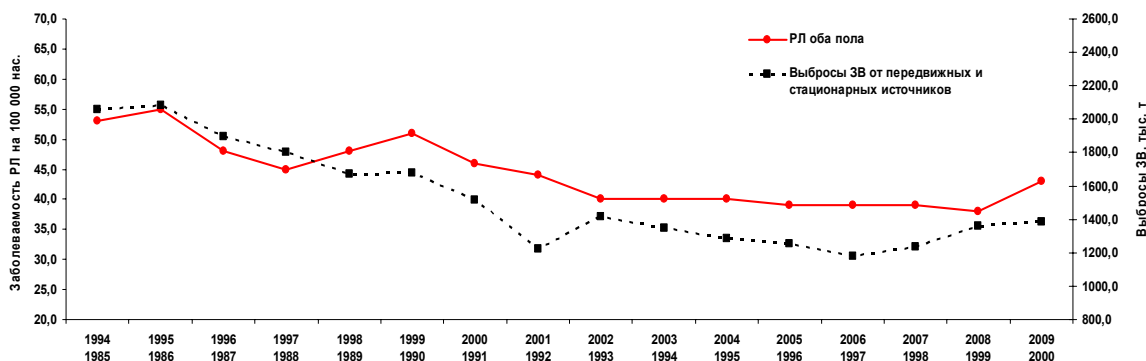


Рис. 1. Взаимосвязь во времени между показателями заболеваемости населения раком легкого (РЛ) с 1994 по 2009 гг. и выбросами загрязняющих веществ (ЗВ) в атмосферу Кемеровской области с 1985 по 2000 гг.

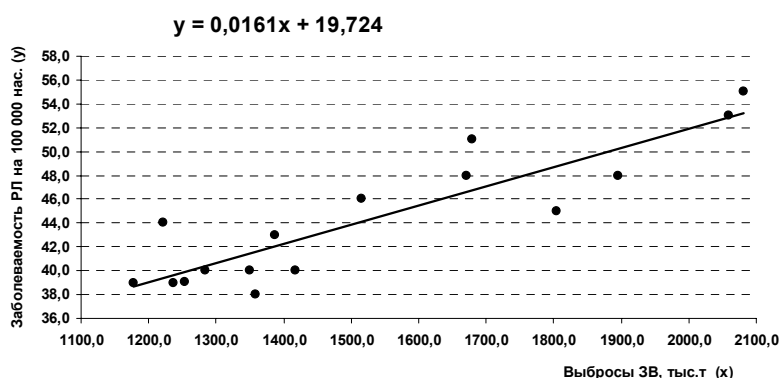


Рис. 2. Зависимость между показателями заболеваемости населения раком легкого (РЛ) и выбросами загрязняющих веществ (ЗВ) в атмосферу Кемеровской области.

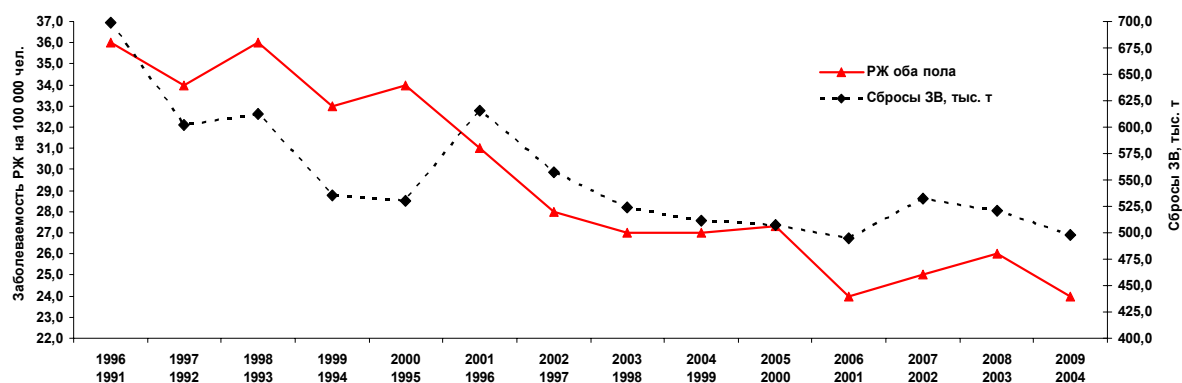


Рис. 3. Взаимосвязь во времени между показателями заболеваемости населения раком желудка (РЖ) с 1996 по 2009 гг. и сбросами загрязняющих веществ (ЗВ) в водные источники Кемеровской области с 1991 по 2004 гг.

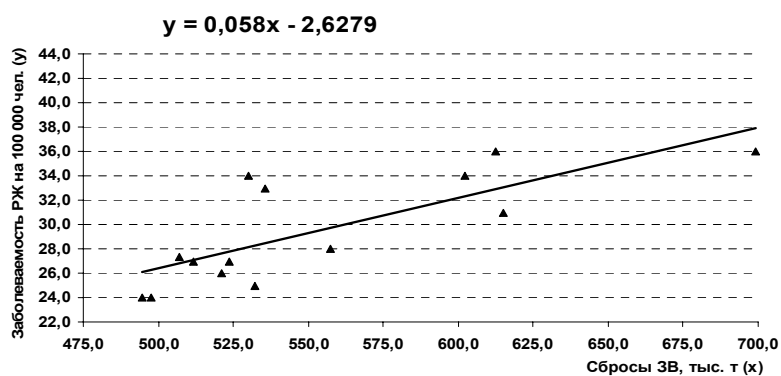


Рис. 4. Зависимость между показателями заболеваемости населения раком желудка (РЖ) и сбросами загрязняющих веществ (ЗВ) в водные источники Кемеровской области.

## **СОДЕРЖАНИЕ**

### **СЕКЦИЯ I:**

#### **ОБЪЕДИНЕННЫЕ СЕКЦИИ «ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ В УГОЛЬНОЙ ОТРАСЛИ» И «ПРОБЛЕМЫ УГОЛЬНОГО МЕТАНА: МЕТАНОБЕЗОПАСНОСТЬ УГОЛЬНЫХ ШАХТ, ИЗВЛЕЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТАНА»**

|                                                                                                                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>О НЕОБХОДИМОСТИ УВЛАЖНЕНИЯ ВОЗДУХА, ПОДАВАЕМОГО В ШАХТЫ</b><br><i>Вершинин С.Н., Исмаилов З.Р.</i> .....                                                                                   | 8  |
| <b>ПУТИ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ БОРЬБЫ С ГЕОДИНАМИЧЕСКИМИ ЯВЛЕНИЯМИ В ШАХТАХ</b><br><i>В. С. Зыков</i> .....                                                                                         | 12 |
| <b>ПРОБЛЕМЫ КЛАССИФИКАЦИИ ТЕХНОГЕННЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ В УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ</b><br><i>Зыков В.С., Абрамов И. Л., Торгунаков Д. В.</i> .....                                                  | 19 |
| <b>СЕЙСМООПАСНОСТЬ ШАХТНЫХ ПОЛЕЙ КУЗБАССА</b><br><i>В.В.Иванов, Н.Ф.Сурунов,</i> .....                                                                                                        | 21 |
| <b>ЭКСПЕРТНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ АНАЛИЗА, ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ НА ШАХТЕ</b><br><i>А.В.Кожин, В.Е.Шехтман</i> .....                                            | 22 |
| <b>ПЕРСПЕКТИВНАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ГАЗОВОЙ СРЕДЫ, ОКРУЖАЮЩЕЙ АТМОСФЕРЫ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ УГОЛЬНЫХ ШАХТ И ПОДЗЕМНЫХ ОБЪЕКТОВ</b><br><i>Котлярский А.И., Черняк З.А.</i> ..... | 26 |
| <b>ОРГАНИЗАЦИЯ КОМБИНИРОВАННОГО ПРОВЕТРИВАНИЯ ВЫЕМОЧНЫХ УЧАСТКОВ УГОЛЬНЫХ ШАХТ В УСЛОВИЯХ ЭНДОГЕННОЙ ПОЖАРООПАСНОСТИ</b><br><i>Курта И.В., Никулин А.Н.</i> .....                             | 27 |
| <b>ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЦ ЗОН ДЕЗИНТЕГРАЦИИ ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ ПОДЗЕМНЫХ ВЗРЫВАХ</b><br><i>С.Н. Лис</i> .....                                                                                       | 29 |
| <b>ПЕРСПЕКТИВЫ ХИМИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ШАХТНОГО МЕТАНА И ГОРЮЧИХ ГАЗОВ ПОДЗЕМНОЙ ГАЗИФИКАЦИИ УГЛЕЙ</b><br><i>Г.А. Мандров, В.И. Клишин, В.Я. Шахматов</i> .....                                | 33 |
| <b>АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СИСТЕМ БЕЗОПАСНОСТИ ШАХТЫ</b><br><i>О.В. Михайлова, А.С. Полосухин</i> .....                                                             | 36 |
| <b>МОДУЛИ ПОРОШКОВОГО ПОЖАРОТУШЕНИЯ «ТУНГУС» ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОБЪЕКТОВ УГОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ</b><br><i>Никитин Д.Н., Ненашев Р.В.</i> .....                                                       | 39 |
| <b>ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ И ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ КРУПНЫХ ОСЕВЫХ ВЕНТИЛЯТОРОВ ГЛАВНОГО ПРОВЕТРИВАНИЯ ШАХТ СЕРИИ ВО</b><br><i>Н.Н. Петров, Н.В. Панова, Н.А. Квитка</i> .....           | 40 |
| <b>РАЗРАБОТКА НОВЫХ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ СХЕМ ДЛЯ РЕВЕРСИВНЫХ ВЕНТИЛЯТОРОВ МАЛОЙ МОЩНОСТИ</b><br><i>Петров Н.Н., Грехнёва Е.Ю.</i> .....                                                          | 43 |

|                                                                                                                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА РУДНИЧНОЙ АТМОСФЕРЫ<br/>К НЕПРЕРЫВНОМУ ДИСТАНЦИОННОМУ КОНТРОЛЮ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ<br/>ПРИКОНТУРНОЙ ЧАСТИ ПЛАСТА</b> |    |
| <i>М.С.Плаксин</i> .....                                                                                                                                                           | 47 |
| <b>ПОБЕД СОБСТВЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ ГПНТЬ СО РАН «МЕТАН В УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ»:<br/>ХАРАКТЕРИСТИКА И АНАЛИЗ ИНФОРМАЦИОННОГО МАССИВА</b>                                                     |    |
| <i>О.Л. Лаврик, В.В. Рыкова, Е.И. Лукьянова</i> .....                                                                                                                              | 50 |
| <b>АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ И ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ВЗРЫВА<br/>МЕТАНОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ В КОМПЛЕКСНО- МЕХАНИЗИРОВАННОМ ЗАБОЕ</b>                                                  |    |
| <i>В.В. Сенкус, Б.М. Стефанюк, К.Д. Лукин, С.Н. Нагайчук, Вал. В. Сенкус</i> .....                                                                                                 | 54 |
| <b>РАЗРАБОТКА СПОСОБА ОТРАБОТКИ СВИТ ПЛАСТОВ<br/>АНТИКЛИНАЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ</b>                                                                                                  |    |
| <i>Вал. В. Сенкус, Б.М., Стефанюк, В.В. Сенкус, Н.И. Конакова, Вас. В. Сенкус</i> .....                                                                                            | 57 |
| <b>РАЗРАБОТКА СПОСОБА ОТРАБОТКИ СВИТ ПОЛОГИХ ПЛАСТОВ<br/>СИНКЛИНАЛЬНЫХ И БРАХИСИНКЛИНАЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ</b>                                                                      |    |
| <i>Вал. В. Сенкус, Н.И. Конаковой, В.В. Сенкус, Вал. В. Сенкус</i> .....                                                                                                           | 60 |
| <b>СПОСОБ ФЛЕГМАТИЗАЦИИ ВЗРЫВОВ МЕТАНОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ В ОЧИСТНОМ ЗАБОЕ</b>                                                                                                         |    |
| <i>В.В. Сенкус, Б.М. Стефанюк, К.Д. Лукин, С.Н. Нагайчук, Вал. В. Сенкус</i> .....                                                                                                 | 62 |
| <b>ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ДИЗЬЮНКТИВНЫХ НАРУШЕНИЙ<br/>НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДЕГАЗАЦИИ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ</b>                                                                                |    |
| <i>В.Н. Фрянов, В.Г. Криволапов, О.В. Фрянова, Ю.М. Говорухин, О.А. Петрова</i> .....                                                                                              | 64 |
| <b>СПОСОБЫ ПЕРЕРАБОТКИ УГЛЯ (И МЕТАНА УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ) В МОТОРНЫЕ ТОПЛИВА</b>                                                                                                     |    |
| <i>Сибирская технологическая компания “ЦЕОСИТ”</i> .....                                                                                                                           | 69 |
| <b>ПРОЕКТИРОВАНИЕ ШАХТ НА ОСНОВЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОПЕРЕЖАЮЩЕЙ ОЦЕНКИ<br/>ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО И ГЕОМЕХАНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД</b>                                         |    |
| <i>Шабаров А.Н., Кротов Н.В., Цирель С.В., Никулин А.Н.</i> .....                                                                                                                  | 70 |
| <b>СЕКЦИЯ II:</b>                                                                                                                                                                  |    |
| <b>ОБЪЕДИНЕННЫЕ СЕКЦИИ «ДОБЫЧА УГЛЯ ПОДЗЕМНЫМ СПОСОБОМ»<br/>И «ШАХТНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО»</b>                                                                                          |    |
| <b>ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ РАЗРАБОТКИ<br/>МОЩНЫХ КРУТОНАКЛОННЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ</b>                                                                          |    |
| <i>Анферов Б.А., Кузнецова Л.В.</i> .....                                                                                                                                          | 74 |
| <b>ТАМПОНАЖ ЗАКРЕПНЫХ ПУСТОТ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК</b>                                                                                                                |    |
| <i>Бурков Ю.В., Росстальной Е.Б.</i> .....                                                                                                                                         | 77 |
| <b>К ВОПРОСУ РАЗРАБОТКИ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ АВТОНОМНЫМИ ОЧИСТНЫМИ ЗАБОЯМИ</b>                                                                                                         |    |
| <i>Л.А. Важеннин, Д.А. Пьянков, Е.А.Иванчин</i> .....                                                                                                                              | 78 |
| <b>ПЕРЕДОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КОНТРОЛЯ ЗА СОСТОЯНИЕМ АНКЕРНОЙ КРЕПИ ВЫРАБОТОК</b>                                                                                                        |    |
| <i>О.В. Ванякин, А.А. Дьяков, П.А. Зименс, А.В. Самохин</i> .....                                                                                                                  | 81 |
| <b>К ВОПРОСУ НОРМИРОВАНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОТЕРЬ<br/>ПРИ КАМЕРНО-СТОЛБОВЫХ СИСТЕМАХ РАЗРАБОТКИ ПОЛОГИХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ</b>                                                       |    |
| <i>Егоров А.П., Щеглов Е.С.</i> .....                                                                                                                                              | 82 |

|                                                                                                                                                                                                                  |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ОТРАБОТКИ ЗАПАСОВ ПОЛОГИХ ПЛАСТОВ<br/>КАМЕРНО-СТОЛБОВОЙ СИСТЕМОЙ РАЗРАБОТКИ</b><br><i>Егоров А.П.</i> .....                                                                         | 85  |
| <b>РЕГИОНАЛЬНЫЙ И ЛОКАЛЬНЫЙ ПРОГНОЗ СТЕПЕНИ УДАРООПАСНОСТИ МАССИВОВ РУДЫ<br/>И ПОРОД ТАШТАГОЛЬСКОГО РУДНИКА ЭЛЕКТРОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ</b><br><i>Зюзин Е.А., Иванов В.В.</i> .....                               | 88  |
| <b>НОВЫЕ КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ УЗЛОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ<br/>КОПРА МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ</b><br><i>Е.Г.Кассихина, В.В.Першин, Н.О. Бутрим</i> .....                                                    | 90  |
| <b>ПРОДЛЕНИЕ СРОКА ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРОХОДЧЕСКОГО КОМБАЙНА ПРИМЕНительно К<br/>ГОРНО ГЕОЛОГИЧЕСКИМ УСЛОВИЯМ КУЗБАССА</b><br><i>К. Е. Куцкий</i> .....                                                                | 94  |
| <b>ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БУРОШНЕКОВЫХ МАШИН И ИНСТРУМЕНТА<br/>ПРИ ПРОКЛАДКЕ ИНЖЕНЕРНЫХ ПОДЗЕМНЫХ КОММУНИКАЦИЙ</b><br><i>Маметьев Л.Е., Дрозденко Ю.В., Любимов О.В.</i> .....                                       | 97  |
| <b>ПРИЛОЖЕНИЕ ТЕОРИИ КАТАСТРОФ К РАСЧЕТУ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ<br/>ГОРНОТЕХНИЧЕСКИХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ</b><br><i>Д.И.Назарович, В.В.Першин</i> .....                                                              | 99  |
| <b>ТЕХНОЛОГИИ ПОДГОТОВКИ ОЧИСТНЫХ ЗАБОЕВ К ПРОИЗВОДСТВУ<br/>МОНТАЖНО-ДЕМОНТАЖНЫХ РАБОТ И ИХ ПРОВЕДЕНИЕ</b><br><i>А. В. Ремезов, В. В. Ульянов, С. В. Новоселов, К. А. Бубнов</i> .....                           | 102 |
| <b>РАЗВИТИЕ ТЕХНИКИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА МОНТАЖНО-ДЕМОНТАЖНЫХ РАБОТ (МДР)</b><br><i>А. В. Ремезов, В. В. Ульянов, С. В. Новоселов, К. А. Бубнов</i> .....                                                            | 104 |
| <b>СОКРАЩЕНИЕ ПРОСТОЕВ ОЧИСТНЫХ ЗАБОЕВ ЗА СЧЕТ<br/>СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МОНТАЖНО-ДЕМОНТАЖНЫХ РАБОТ</b><br><i>А. В. Ремезов, В. В. Ульянов, С. В. Новоселов, К. А. Бубнов</i> .....                                  | 105 |
| <b>ЗАКОНОМЕРНОСТИ МОДИФИКАЦИИ И ТРАНСФОРМАЦИИ ШАХТО-СИСТЕМ ТИПА:<br/>SDS, RTS MFMS В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЙ ТНП И КОНЪЮНКТУРЫ РЫНКА ТЭР</b><br><i>Харитонов В.Г., Ремезов А.В., Новоселов С.В.</i> .....             | 107 |
| <b>ОБОСНОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ШАХТО-СИСТЕМ ТИПА: SDS,<br/>RTS, MFMS НА РАЗЛИЧНЫХ ЭТАПАХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА РАЗВИТИЯ ОТРАСЛИ</b><br><i>Харитонов В.Г., Ремезов А.В., Новоселов С.В.</i> ..... | 114 |
| <b>ОСНОВНЫЕ ПОСТУЛАТЫ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ШАХТО-СИСТЕМ ТИПА:SDS, RTS, MFMS<br/>В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ СОСТОЯНИЙ ВНУТРЕННЕЙ И ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ</b><br><i>Харитонов В.Г., Ремезов А.В., Новоселов С.В.</i> .....         | 118 |
| <b>ПРЕДПОСЫЛКИ ГЕНЕЗИСА ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ ГОРНОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ<br/>ТИПА:SDS, RTS, MFMS</b><br><i>Харитонов В.Г., Ремезов А.В., Новоселов С.В.</i> .....                                                  | 120 |
| <b>ЗАВИСИМОСТЬ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ГОРНЫХ ПОРОД<br/>ОТ ИЗМЕНЯЮЩЕГОСЯ ВО ВРЕМЕНИ МЕХАНИЧЕСКОГО НАПРЯЖЕНИЯ</b><br><i>Сирота Д. Ю.</i> .....                                                          | 125 |
| <b>ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОТРАБОТКИ ВЕРХНЕГО СЛОЯ<br/>НА МОЩНЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТАХ</b><br><i>В.А.Федорин, В.Я.Шахматов, Е.Л.Варфоломеев, О.В.Кассина</i> .....                                                    | 127 |
| <b>ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ФРОНТА ПОГРУЗКИ ПРИ РАБОТЕ<br/>ПРОХОДЧЕСКИХ КОМБАЙНОВ ИЗБИРАТЕЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ</b><br><i>Хорешок А.А., Маметьев Л.Е., Борисов А.Ю.</i> .....                                          | 130 |

|                                                                                                                                                                                       |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ АНКЕР-ИНЪЕКЦИОННОЙ СИСТЕМЫ УПРОЧНЕНИЯ ТРЕЩИНОВАТЫХ ГОРНЫХ ПОРОД</b>                                                                                             |     |
| <i>Хямяляйнен В.А., Майоров А.Е.</i> .....                                                                                                                                            | 134 |
| <b>СЕКЦИЯ III:</b>                                                                                                                                                                    |     |
| <b>ОБЪЕДИНЕННЫЕ СЕКЦИИ «ОБОГАЩЕНИЕ И ПЕРЕРАБОТКА УГЛЯ, НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ ГЛУБОКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ УГЛЯ, ЭКОЛОГИЯ И НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ»</b>                                              |     |
| <b>УТИЛИЗАЦИЯ ВТОРИЧНЫХ РЕСУРСОВ В ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОУГОЛЬНЫХ ТОПЛИВНЫХ СУСПЕНЗИЙ</b>                                                                                          |     |
| <i>М.П. Баранова</i> .....                                                                                                                                                            | 137 |
| <b>НОВОЕ НАПРАВЛЕНИЕ ПОВТОРНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТРАБОТАННЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ МАСЕЛ</b>                                                                                                      |     |
| <i>Т.Е.Вахонина, М.С.Клейн</i> .....                                                                                                                                                  | 140 |
| <b>ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОБОРУДОВАНИЯ И ГИБКОСТЬ ПРОЦЕССА ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ ФЛОТАЦИИ ПРИ ОБОГАЩЕНИИ УГЛЯ</b>                                                                            |     |
| <i>Юрген Винклер, Лутиц Маркворт, В.И. Удовицкий</i> .....                                                                                                                            | 142 |
| <b>К ВОПРОСУ О СНИЖЕНИИ РАСХОДОВ ФЛОКУЛЯНТОВ ПРИ ОЧИСТКЕ ТЕХНОГЕННЫХ ВОД УГЛЕОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИК</b>                                                                                |     |
| <i>Евменова Г.Л.</i> .....                                                                                                                                                            | 144 |
| <b>ИССЛЕДОВАНИЕ УРОВНЕЙ ПОТЕРЬ ПЛОДОРОДНОГО СЛОЯ ПОЧВЫ И ПОЧВООБРАЗУЮЩИХ ПОРОД В ТЕХНОЛОГИЯХ ГОРНОТЕХНИЧЕСКОЙ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ЗЕМЕЛЬ НА РАЗРЕЗАХ КАНСКО-АЧИНСКОГО УГОЛЬНОГО БАСЕЙНА</b> |     |
| <i>И.В.Зеньков, Е.В.Кириюшина</i> .....                                                                                                                                               | 145 |
| <b>ПРИМЕНЕНИЕ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ ОБОГАЩЕНИЯ УГЛЯ</b>                                                                                                         |     |
| <i>Г.В. Иванов, А.А. Куранов, В.К. Кипа, С.А. Золотарев, В.Е. Медведев</i> .....                                                                                                      | 149 |
| <b>МЕТОД РАСЧЕТА УВЕЛИЧЕНИЯ КРУПНОСТИ ФЛОТИРУЕМЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ЗЕРЕН ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РАСТВОРИМЫХ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ</b>                                                   |     |
| <i>С.А.Кондратьев</i> .....                                                                                                                                                           | 151 |
| <b>РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ РЕАГЕНТОВ ПРОИЗВОДСТВА ФГУП «ПО «ПРОГРЕСС» НА УГЛЕОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИКАХ КУЗБАССА</b>                                                            |     |
| <i>Линев К.Н., Горбунков И.А, Логинов К.Ю., Клейн М.С.</i> .....                                                                                                                      | 155 |
| <b>ПОЛУКОКСОВАНИЕ УГЛЕЙ В КУЗБАССЕ: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ</b>                                                                                                                       |     |
| <i>В.С. Медяник</i> .....                                                                                                                                                             | 158 |
| <b>ГУМИНОВЫЕ ПРЕПАРАТЫ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ</b>                                                                                              |     |
| <i>Москаленко Т.В.</i> .....                                                                                                                                                          | 160 |
| <b>УТИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ УГЛЕОБОГАЩЕНИЯ В ВИДЕ ТОПЛИВНЫХ ВОДОУГОЛЬНЫХ СУСПЕНЗИЙ</b>                                                                                                      |     |
| <i>Мурко В.И., Федяев В. И., Вахрушева Г. Д., Айнетдинов Х. Л., Антипенко Л. А.</i> .....                                                                                             | 162 |
| <b>ПОЛУЧЕНИЕ ТОПЛИВНЫХ ГРАНУЛ ЗА СЧЕТ ПЕРЕРАБОТКИ МАЛОЛИКВИДНЫХ ТВЕРДЫХ ГОРЮЧИХ ОТХОДОВ</b>                                                                                           |     |
| <i>Никулин А.Н., Епифанцев К.В., Курта И.В.</i> .....                                                                                                                                 | 165 |
| <b>ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ - НЕОБХОДИМОЕ УСЛОВИЕ ГАРМОНИЧНОГО РАЗВИТИЯ КУЗБАССА</b>                                                                                    |     |
| <i>Новикова Е.В., Харионовский А.А.</i> .....                                                                                                                                         | 167 |
| <b>ИТОГИ ДЕСЯТИЛЕТИЯ</b>                                                                                                                                                              |     |
| <i>Г.П. Сазыкин</i> .....                                                                                                                                                             | 170 |

|                                                                                                                                                                                                                                                              |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>ПРИМЕНЕНИЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ФЛОКУЛЯНТОВ<br/>ДЛЯ ОСАЖДЕНИЯ УГОЛЬНЫХ СУСПЕНЗИЙ</b><br><i>Ульрих Е.В., Шевченко Т.В., Файрушин Ш.А.</i> .....                                                                                                                | 172 |
| <b>ПОЛУЧЕНИЕ ТОПЛИВНЫХ ГРАНУЛ ИЗ ОТХОДОВ ПРЕДПРИЯТИЙ<br/>ДОБЫЧИ И ПЕРЕРАБОТКИ УГЛЯ</b><br><i>Ушаков А.Г., Брюханова Е.С., Ушаков Г.В.</i> .....                                                                                                              | 175 |
| <b>ПРИМЕНЕНИЕ НОВЫХ РЕАГЕНТОВ «РЕОМАКС»<br/>ДЛЯ СКЛАДИРОВАНИЯ ШЛАМОВ УГЛЕОБОГАЩЕНИЯ</b><br><i>В.С.Фролов, А.В.Сидоров</i> .....                                                                                                                              | 177 |
| <b>ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ВУС ИЗ КАМЕННОГО УГЛЯ<br/>ДЕНИСОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ</b><br><i>Часовенко Е.В., Москаленко Т.В.</i> .....                                                                                                                        | 179 |
| <b>ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗДЕЛЕНИЯ УГЛЕЙ<br/>В ОТСАДОЧНЫХ МАШИНАХ «ВАТАС» И «ALLMINERAL»</b><br><i>С.О.Шутов, И.А.Королев, В.И.Удовицкий</i> .....                                                                                           | 181 |
| <b>НОВЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УГЛЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ<br/>МЕХАНОХИМИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ</b><br><i>Юсупов Т.С., Бурдуков А.П., Антипенко Л.А.</i> .....                                                                                                         | 184 |
| <b>СЕКЦИЯ IV:<br/>ОБЪЕДИНЕННЫЕ СЕКЦИИ «ЭКОНОМИКА УГОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ»<br/>И «УГЛЕЭНЕРГЕТИКА, УГЛЕСБЫТ, ЭКОНОМИКА, ИНВЕСТИЦИИ»</b>                                                                                                                        |     |
| <b>О СИСТЕМЕ ФУНКЦИОНАЛЬНО СБАЛАНСИРОВАННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ<br/>УГОЛЬНЫХ ШАХТ И КОМПАНИЙ</b><br><i>Аксенов Е.П.</i> .....                                                                                                                                        | 188 |
| <b>ОБ ОСВОЕНИИ ЕРУНАКОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ</b><br><i>Брагин В.Е.</i> .....                                                                                                                                                                                   | 190 |
| <b>ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА УГЛЯ ЮЖНОЙ ЯКУТИИ КАК ФАКТОР РОСТА<br/>КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ</b><br><i>В.Л. Гаврилов</i> .....                                                                                                                                         | 191 |
| <b>УПРАВЛЕНИЕ КРОВЛЕЙ ПРИ РАЗРАБОТКЕ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КРИОЛИТОЗОНЫ</b><br><i>П.Н. Васильев, В.Л. Гаврилов</i> .....                                                                                                                                    | 194 |
| <b>АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ СДЕЛОК СЛИЯНИЯ И ПОГЛОЩЕНИЯ НА ОСНОВЕ МЕТОДИКИ<br/>ОЦЕНКИ МОРФООРГАНИЗАЦИОННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОРПОРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ<br/>РАЗВИТИЯ СИСТЕМ НА ПРИМЕРЕ ЗАВОДА ГОРНОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ</b><br><i>Воронина М.Ю., Савосина З.П.</i> ..... | 196 |
| <b>ПРОБЛЕМЫ И НАПРАВЛЕНИЯ ОСВОЕНИЯ УГОЛЬНЫХ РЕСУРСОВ<br/>МАЛОИЗУЧЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ПЕЧОРСКОГО БАССЕЙНА<br/>В ЗОНЕ ФОРМИРОВАНИЯ НОВЫХ ТРАНСПОРТНЫХ КОРИДОРОВ</b><br><i>Калинина А.А., Луканичева В.П.</i> .....                                                | 199 |
| <b>СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ В УПРАВЛЕНИИ МАТЕРИАЛЬНЫМИ<br/>ЗАПАСАМИ ООО «КУЗБАССРАЗРЕЗУГОЛЬ – ВЗРЫВПРОМ»</b><br><i>Медведев Б.Н, Пронин В.В.</i> .....                                                                                        | 202 |
| <b>ОБОСНОВАНИЕ ЭНЕРГОЕМКОСТИ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ ГОРНОЙ МАССЫ<br/>БОЛЬШЕГРУЗНЫМИ АВТОМОБИЛЯМИ НА РАЗРЕЗАХ КУЗБАССА</b><br><i>И.А. Паначев, И.В. Кузнецов</i> .....                                                                                             | 205 |



|                                                                                                                                                                                                                                                             |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>ИННОВАЦИИ И ИХ РОЛЬ В ПОВЫШЕНИИ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ<br/>УГЛЕДОБЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ</b><br><i>Л.Ю.Сапожникова</i> .....                                                                                                                                | 211 |
| <b>ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ<br/>ПРИ ФУНКЦИОНИРОВАНИИ УГОЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ В КУЗБАССЕ</b><br><i>Скукин В. А.</i> .....                                                                                                          | 213 |
| <b>ЗНАЧЕНИЕ УГЛЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ БУДУЩЕГО</b><br><i>Трушина Г.С., Зуев К.Н.</i> .....                                                                                                                                                                          | 214 |
| <b>ПРОБЛЕМА ПОДБОРА КАДРОВ ДЛЯ ИННОВАЦИОННОГО БИЗНЕСА</b><br><i>Ушаков А.Г., Брюханова Е.С., Ушаков Г.В.</i> .....                                                                                                                                          | 219 |
| <b>ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЭТАПОВ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА УГЛЕДОБЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ<br/>НА ВЕЛИЧИНУ ЕГО ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗАПАСОВ</b><br><i>Ходич О.А.</i> .....                                                                                                               | 220 |
| <b>ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА БАШЕННЫХ КОПРОВ</b><br><i>Ю. П. Черкаев, В. В. Першин</i> .....                                                                                                                                                    | 223 |
| <b>ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОБОГАЩЕННЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ<br/>УГЛЕЙ НА ВНУТРЕННЕМ РЫНКЕ</b><br><i>Чурашев В.Н., Маркова В.М.</i> .....                                                                                                             | 224 |
| <b>КОНЦЕПЦИЯ ГРУППОВОГО ЛИЦЕНЗИРОВАНИЯ НЕДР КУЗБАССА И ЕГО<br/>ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ</b><br><i>С. В. Шаклеин, И. Л. Борисов</i> .....                                                                                                               | 227 |
| <b>СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАЗРАБОТКИ СТРАТЕГИЧЕСКОГО<br/>ПЛАНА НА УГЛЕДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ КУЗБАССА</b><br><i>Щипачев М.С.</i> .....                                                                                                                 | 230 |
| <b>ОЦЕНКА ПРЕДПРИЯТИЙ УГОЛЬНОЙ ОТРАСЛИ КАК ИНСТРУМЕНТ<br/>ПОВЫШЕНИЯ ИНВЕСТИЦИОННОЙ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТИ</b><br><i>Б.Б.Кириллов</i> .....                                                                                                                       | 233 |
| <b>СЕКЦИЯ V:<br/>«ДОБЫЧА УГЛЯ ОТКРЫТЫМ СПОСОБОМ»</b>                                                                                                                                                                                                        |     |
| <b>ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ ГОРНО-ТРАНСПОРТНОГО<br/>ОБОРУДОВАНИЯ НА УГОЛЬНЫХ РАЗРЕЗАХ КУЗБАССА</b><br><i>А.В. Менчугин, П.В. Буянкин</i> .....                                                                                     | 236 |
| <b>ГЕОМЕХАНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОБОСНОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ<br/>И ЛИЦЕНЗИОННЫХ ГРАНИЦ УГОЛЬНЫХ РАЗРЕЗОВ</b><br><i>Дьяченко А.Н., Быкадоров А.И.</i> .....                                                                                                            | 240 |
| <b>МОНИТОРИНГ ДЕФОРМИРУЮЩИХСЯ УЧАСТКОВ БОРТОВ КАРЬЕРОВ</b><br><i>Кольцов П.В.</i> .....                                                                                                                                                                     | 241 |
| <b>ПО «БЕЛОРУССКИЙ АВТОМОБИЛЬНЫЙ ЗАВОД» - ГОРНОМУ ПРОИЗВОДСТВУ</b> .....                                                                                                                                                                                    | 245 |
| <b>К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ БОРТОВ НА УГОЛЬНЫХ РАЗРЕЗАХ<br/>ПРИ КОМБИНИРОВАННОЙ ОТРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ</b><br><i>Быкадоров А.И., Иванова Е.В.</i> .....                                                                                       | 247 |
| <b>ПОВЫШЕНИЕ СПЕЦИАЛЬНЫХ СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН<br/>ЗА СЧЕТ ВВЕДЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ НАПЛАВКИ В КАЧЕСТВЕ ЭЛЕМЕНТА МОДИФИКАТОРА<br/>УЛЬТРАМЕЛКОДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ <math>Al_2O_3</math>.</b><br><i>Радченко М.В., Князьков К.В., Смирнов А.Н.</i> ..... | 248 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                       |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>ДИНАМИКА ЗАТОПЛЕНИЯ ЛИКВИДИРУЕМЫХ ШАХТ КУЗБАССА</b><br><i>П. М. Ларичкин, О. А. Ягунова, Л.П. Фадеева</i> .....                                                                                                                                                                    | 255 |
| <b>О ПРИМЕНИМОСТИ ТЕОРИИ ХАББЕРТА ДЛЯ ОЦЕНКИ ПРЕДЕЛЬНЫХ ОБЪЕМОВ ДОБЫЧИ УГЛЯ В КУЗНЕЦКОМ УГОЛЬНОМ БАССЕЙНЕ</b><br><i>В.Н. Опарин, А.А. Ордин</i> .....                                                                                                                                 | 259 |
| <b>К ОЦЕНКЕ ПРЕДЕЛЬНЫХ ОБЪЕМОВ ДОБЫЧИ УГЛЯ В КУЗБАССЕ НА ОСНОВЕ ЛАГОВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ</b><br><i>А. А. Ордин</i> .....                                                                                                                                                                | 264 |
| <b>ОПТИМИЗАЦИЯ ТОПЛИВНОГО БАЛАНСА ЭНЕРГЕТИКИ КАК ОСНОВА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ</b><br><i>В.А.Саркисян</i> .....                                                                                                                                                                  | 271 |
| <b>МЕЖДУНАРОДНЫЙ СИМПОЗИУМ<br/>«УГЛЕХИМИЯ И ЭКОЛОГИЯ КУЗБАССА»</b>                                                                                                                                                                                                                    |     |
| <b>ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ</b>                                                                                                                                                                                                                                                              |     |
| <b>О СОСТОЯНИИ ОСНОВНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ РАЗВИТИЯ УГЛЕХИМИИ В КУЗБАССЕ</b><br><i>З.Р. Исмагилов</i> .....                                                                                                                                                                                  | 277 |
| <b>ПОЛУКОКСОВАНИЕ УГЛЕЙ В КУЗБАССЕ: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ</b><br><i>В.С. Медяник</i> .....                                                                                                                                                                                          | 279 |
| <b>ВЛИЯНИЕ АЛКИЛИРОВАНИЯ БУРОГО УГЛЯ И ТОРФА НА СОСТАВ И СВОЙСТВА ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ</b><br><i>С.И. Жеребцов, З.Р. Исмагилов</i> .....                                                                                                                                                  | 282 |
| <b>АЛКИЛИРОВАНИЕ УГЛЕЙ И ТОРФА СПИРТАМИ</b><br><i>С.И. Жеребцов, З.Р. Исмагилов</i> .....                                                                                                                                                                                             | 296 |
| <b>КОМПЛЕКСНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ ГУМИНОВЫХ ВЕЩЕСТВ</b><br><i>Х.А. Исхаков, Ч.Н. Барнаков, З.Р. Исмагилов</i> .....                                                                                                                                                                           | 307 |
| <b>СОСТАВ КАРБОНОВЫХ КИСЛОТ БИТУМОИДОВ САПРОПЕЛИТОВ</b><br><i>Н. Н. Рокосова, Ю. В. Рокосов</i> .....                                                                                                                                                                                 | 311 |
| <b>ИЗМЕНЕНИЕ РЕАКЦИОННОСТИ УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СТРУКТУРНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ И ПРИСУТСТВИЯ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ДОБАВОК</b><br><i>Ч.Н. Барнаков, Г.П. Хохлова, О.С. Ефимова, В.Ю. Малышева, З.Р. Исмагилов</i> .....                                                          | 318 |
| <b>ПОВЕРХНОСТНАЯ МОДИФИКАЦИЯ УГЛЕРОДНЫХ СОРБЕНТОВ ПОЛИКАРБОСИЛАНОМ</b><br><i>Г.П. Хохлова, О.С. Ефимова</i> .....                                                                                                                                                                     | 323 |
| <b>НАНОПОРИСТЫЙ УГЛЕРОДНЫЙ МАТЕРИАЛ С ОДНОМЕРНОЙ ПРОВОДИМОСТЬЮ</b><br><i>А.В. Самаров, Ч.Н. Барнаков, А.П. Козлов, З.Р. Исмагилов</i> .....                                                                                                                                           | 328 |
| <b>ИЗМЕНЕНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КАМЕННОУГОЛЬНОЙ СМОЛЫ ПРИ ЕЕ МОДИФИЦИРОВАНИИ ОЗОНОМ В РАЗЛИЧНЫХ СРЕДАХ</b><br><i>С.А. Семенова, О.М. Гаврилюк, З.Р. Исмагилов, Л.В. Брюховецкая</i> .....                                                                                      | 334 |
| <b>ХАРАКТЕРИСТИКА УГЛЕЙ ХАРТАВАГАТАЙСКОГО, НУУРСТХОТГОРСКОГО И ХУШУУТСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЙ МОНГОЛИИ</b><br><i>С.А. Семёнова, Н.И. Фёдорова, З.Р. Исмагилов, Б. Авид</i> .....                                                                                                           | 339 |
| <b>ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ ЕТРАНИТРОПЕНТАЭРИТРИТА И НАНОРАЗМЕРНЫХ ЭНЕРГОЕМКИХ ЧАСТИЦ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В СИСТЕМАХ ДИСТАНЦИОННОГО ИНИЦИИРОВАНИЯ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ</b><br><i>Адуев Б.П., Белокуров Г.М., Нурмухаметов Д.Р., Нелюбина Н.В., Фурега Р.И.</i> ..... | 341 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                  |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>ОКИСЛЕНИЕ КОМПОНЕНТОВ КАМЕННОУГОЛЬНОЙ СМОЛЫ В НАНОРЕАКТОРЕ<br/>НА БАЗЕ СУЛЬФИРОВАННОГО ПОЛИКАЛИКСАРЕНА</b><br><i>Г.Н. Альтигулер</i> .....                                                                                                                                    | 344 |
| <b>ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАНОКОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ<br/>ПОЛИТЕТРАФЕНИЛМЕТАЦИКЛОФАНОКТОЛА</b><br><i>Е.В. Остапова, Г.Н. Альтигулер</i> .....                                                                                                                                   | 347 |
| <b>СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ НАНОРАЗМЕРНЫХ ЧАСТИЦ МЕТАЛЛОВ<br/>И СОЗДАНИЕ НА ИХ ОСНОВЕ КАТАЛИЗАТОРОВ ДЛЯ КОНВЕРСИИ МЕТАНА</b><br><i>И.И. Образцова, Н.К. Еременко, Г.Ю. Сименюк, А.Н. Еременко, Б.Г. Трясунов</i> .....                                                              | 350 |
| <b>СЕКЦИОННЫЕ ДОКЛАДЫ</b>                                                                                                                                                                                                                                                        |     |
| <b>NOVEL NATURAL OXYGEN CARRIERS SUCH AS SEWAGE SLUDGE ASHES USED<br/>FOR EFFECTIVE CHEMICAL LOOPING COMBUSTION PROCESS</b><br><i>Ewelina Ksepko, Ph.D., Grzegorz Labojko, Ph.D., Marek Sciazko, Ph.D.</i> .....                                                                 | 355 |
| <b>EFFECT OF INCREASED PRESSURE IN CO<sub>2</sub> REACTIVITY OF COALS</b><br><i>Zbigniew Robak, Slawomir Stelmach, Andrzej Mianowski</i> .....                                                                                                                                   | 357 |
| <b>СЫРЬЕ ДЛЯ УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ ПРОДУКТОВ ПЕРЕРАБОТКИ УГЛЕЙ</b><br><i>Е.И. Андреев</i> .....                                                                                                                                                                               | 360 |
| <b>ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЗЕМНОЙ СФЕРЫ<br/>НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ЗЕМНОЙ КОРЕ</b><br><i>Г.М. Белокуров</i> .....                                                                                                                                                 | 363 |
| <b>ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ КАТАЛИЗАТОР ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ РЕСУРСОВ БЕНЗОЛА<br/>В ПРОДУКТАХ ПЕРЕРАБОТКИ УГЛЯ</b><br><i>А.Г. Бяков, И.Я. Петров, Б.Г. Трясунов</i> .....                                                                                                                    | 366 |
| <b>НЕТРАДИЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ОЧИСТКИ СЫРОГО КОКСОХИМИЧЕСКОГО БЕНЗОЛА</b><br><i>С. Э. Вагнер, Б. Г. Трясунов, Е.И. Бунеева</i> .....                                                                                                                                                  | 368 |
| <b>О НЕОБХОДИМОСТИ УВЛАЖНЕНИЯ ВОЗДУХА, ПОДАВАЕМОГО В ШАХТЫ</b><br><i>С.Н. Вершинин, З.Р. Исмаилов</i> .....                                                                                                                                                                      | 372 |
| <b>ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ УГЛЕЙ НА СТАБИЛЬНОСТЬ<br/>ИХ ВОДНЫХ СУСПЕНЗИЙ</b><br><i>Е.В. Волоскова, В.А. Полубояров</i> .....                                                                                                                                             | 375 |
| <b>ВЛИЯНИЕ МЕХАНОХИМИЧЕСКОЙ И ХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СВОЙСТВА УГЛЕЙ</b><br><i>Е.В. Волоскова, В.А. Полубояров</i> .....                                                                                                                                                         | 378 |
| <b>ИЗУЧЕНИЕ ТОКСИЧНОСТИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ<br/>ПРЕДПРИЯТИЙ КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТИ</b><br><i>Н.В. Журавлева, О.В.Иванькина</i> .....                                                                                                                               | 381 |
| <b>ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТАНА В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ НА ГРАНИЦАХ САНИТАРНО-ЗАЩИТНЫХ<br/>ЗОН ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ</b><br><i>Н.В. Журавлева, Р.Р. Потокина</i> .....                                                                                                                    | 383 |
| <b>КОМПЛЕКСНОЕ РЕШЕНИЕ ВОПРОСА БЕЗОПАСНОСТИ НА ШАХТАХ, ОПАСНЫХ ПО ГАЗУ<br/>И ПЫЛИ, И УГОЛЬНЫХ ПЛАСТАХ, СКЛОННЫХ К САМОВОЗГОРАНИЮ (СПОСОБ КОМПЛЕКСНОЙ<br/>ПЕРЕРАБОТКИ ГАЗООБРАЗНОГО УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ)</b><br><i>В.В. Фомин, В.М. Мысов, В.П. Лукашов, К.Г. Ионе</i> ..... | 386 |
| <b>ПОЛУЧЕНИЕ УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ ЕСТЕСТВЕННО ОКИСЛЕННЫХ УГЛЕЙ</b><br><i>Манина Т.С, Исмаилов З.Р., Семенова С.А., Федорова Н.И., Болтнева А.В., Лырищikov С.Ю.</i> .....                                                                                                    | 389 |

|                                                                                                                                                                                                                                               |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>ПРИРОДА ЭЛЕКТРОННОГО ПАРАМАГНЕТИЗМА И ОПТИЧЕСКОГО ПОГЛОЩЕНИЯ<br/>ПИРОЛИЗОВАННЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ</b><br><i>В.А. Полубояров, О.В. Андриюшкова</i> .....                                                                                 | 391 |
| <b>НАУКА О САПРОПЕЛИТОВЫХ УГЛЯХ ДЛЯ РАЗВИТИЯ<br/>ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В РЕГИОНЕ</b><br><i>Рокосов Ю. В., Рокосова В. Ю.</i> .....                                                                                                          | 394 |
| <b>РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ УГЛЕОБОГАЩЕНИЯ КУЗБАССА</b><br><i>Столбоушкин А.Ю., Стороженко Г.И., Никитин А.И.</i> .....                                                                                                             | 397 |
| <b>СИНТЕЗ ФЕРРОМАГНИТНЫХ УГЛЕРОДНЫХ СОРБЕНТОВ<br/>ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ</b><br><i>С.И. Цыганова, В.В. Патрушев, И.В. Королькова, О.Ю. Фетисова, Г.Н. Бондаренко,<br/>В.Ф. Каргин, Д.А. Великанов</i> .....                      | 400 |
| <b>СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ</b><br><i>М.А. Керженцев, О.Ю. Подъячева, Ч.Н. Барнаков, А.В. Самаров, З.Р. Исмаилов</i> .....                                                                     | 403 |
| <b>РАЗРАБОТКА НАНОПОРИСТОГО УГЛЕРОДНОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ ИОНИСТРОВ<br/>И ИСПЫТАНИЕ В ЛАБОРАТОРНОЙ МОДЕЛИ</b><br><i>А.В. Самаров, Ч.Н. Барнаков, А.П. Козлов, О.С. Ефимова, З.Р. Исмаилов, Б.П. Адуев,<br/>Г.М. Белокуров, А.В. Пузынин</i> ..... | 407 |
| <b>ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКОЛОГО-ГИГИЕНИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ РАБОЧИХ МЕСТ В УСЛОВИЯХ<br/>КОКСОХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА</b><br><i>Субботин С.П., Авдюшкин В.Н.</i> .....                                                                                      | 409 |
| <b>ИССЛЕДОВАНИЕ ИСТОЧНИКОВ ВЫБРОСОВ КАМЕННОУГОЛЬНОЙ ПЫЛИ<br/>НА РАБОЧИХ МЕСТАХ В УГЛЕПОДГОТОВИТЕЛЬНОМ ЦЕХА ОАО «КОКС»</b><br><i>Субботин С.П., Солодянкин С.С.</i> .....                                                                      | 411 |
| <b>ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЯ ФЛУОРЕНОВОЙ ФРАКЦИИ ИЗ ПОГЛОТИТЕЛЬНОГО МАСЛА</b><br><i>С.П. Субботин, А.В. Неведров, А.В. Папин</i> .....                                                                                                         | 414 |
| <b>ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА УГОЛЬНОЙ ШИХТЫ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КОКСА<br/>ПОВЫШЕННОГО КАЧЕСТВА</b><br><i>Е.А. Кошелев, В.С. Швед, В.К. Фрицлер</i> .....                                                                                                  | 416 |
| <b>МЕХАНИЗМ ОКИСЛЕНИЯ УГЛЕЙ КИСЛОРОДОМ, ВЕДУЩИЙ К ИХ САМОВОЗГОРАНИЮ</b><br><i>В.И. Бутакова, Ю.М. Посохов, В.К. Попов</i> .....                                                                                                               | 416 |
| <b>ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПРОМЫШЛЕННЫМИ ОТХОДАМИ<br/>И ОНКОЛОГИЧЕСКАЯ ЗАБОЛЕВАЕМОСТЬ НАСЕЛЕНИЯ КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТИ</b><br><i>С.А. Мун, С.А. Ларин</i> .....                                                                             | 417 |

**«ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ РОССИИ:  
НОВЫЕ ПОДХОДЫ К РАЗВИТИЮ УГОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ»**

**Труды XIII международной  
научно-практической конференции**

**ПОД ОБЩЕЙ РЕДАКЦИЕЙ:**

**д.т.н. В.И. Клишина, и.о. директора Института угля СО РАН;**

**д.т.н. З.Р. Исмагилова, директора Института углехимии  
и химического материаловедения СО РАН;**

**д.т.н В.Ю. Блюменштейна, проректора по научно-инновационной работе  
Кузбасского государственного технического университета;**

**Г.П. Дубинина, заместителя генерального директора  
КВК «Экспо-Сибирь».**

**Технический редактор: А.С. Малышева**

Лицензия на полиграфическую деятельность

ПЛД 4477

от 14.07.99

Подписано к печати 3.11.2011

Тираж 300 экз.

Институт угля РАН

650065, г. Кемерово, пр. Ленинградский, 10

Институт углехимии и химического материаловедения СО РАН

650000, г. Кемерово, пр. Советский, 18

Кузбасский государственный технический университет

650025, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

ООО «Кузбасская выставочная компания «Экспо-Сибирь»

650000, г. Кемерово, пр. Советский, 63-а

Отпечатано в типографии ООО КВК «Экспо-Сибирь»