

РАЗДЕЛ VIII

ПРОМЫШЛЕННАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

РАЗДЕЛ VIII. ПРОМЫШЛЕННАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Экологически значимые индикаторы состояния окружающей среды и здоровья населения . . .	698
<i>Е.В. Сугак, Е.Н. Леонова, Е.В. Кузнецов</i>	
О выборе режима нейтрали сетей 110–500 кВ систем электроснабжения	701
металлургических предприятий	
<i>А.А. Буралков, В.В. Кибардин</i>	
К вопросу о фторировании природных вод Прибайкалья	708
<i>Н.И. Янченко, А.Н. Баранов, В.Л. Макухин</i>	
Экологизация процесса охлаждения анодных огарков	712
<i>С.Г. Шахрай, В.В. Коростовенко, И.И. Ребрик</i>	
Разработка и применение горелочных устройств для дожигания анодных газов	715
алюминиевого производства	
<i>Ю.И. Сторожев, П.В. Поляков</i>	
Гидрометаллургическая переработка отходов газоочистки	721
медно-никелевого производства	
<i>А.Г. Касиков, Н.С. Арешина, И.Э. Мальц</i>	
Использование фильтровальных материалов на очистке газов и фильтрации растворов	728
<i>Л.А. Филянова, Н.М. Сухова</i>	
Каталитические свойства воды и перспективы их использования	731
<i>Б.М. Стефанюк, А.В. Аленичев, В.В. Сенкус, А.Я. Стефанюк</i>	
Технология безреагентной очистки сточных вод и брикетирования ила и шлама	735
<i>В.В. Сенкус, Б.М. Стефанюк, В.В. Сенкус, Н.И. Конакова</i>	
Основные направления защиты воздушного бассейна на производствах	739
свинца и цинка	
<i>М.Ф. Богатырев, А.М. Богатырев</i>	
Автоматизация процесса оценки напряженного состояния прибортовых массивов	743
на карьерах в среде Autocad. Решение задачи предельного равновесия	
в плоской постановке	
<i>Н.И. Сартаков, В.К. Бушков, А.Н. Гурин, В.В. Назима, И.Л. Хархордин</i>	
Влияние паров воды на выбросы металлургических предприятий	750
и тепловых электростанций	
<i>В.В. Мечев, О.А. Власов, П.В. Мечев</i>	

ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЗНАЧИМЫЕ ИНДИКАТОРЫ СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ

Е.В. Сугак, Е.Н. Леонова, Е.В. Кузнецов

Сибирский государственный аэрокосмический университет
имени академика М.Ф. Решетнева, г. Красноярск, Россия

Как известно, структура заболеваемости за последние 200 лет существенно изменилась. До начала XIX в. доминирующими заболеваниями были острые инфекционные заболевания, травмы и несчастные случаи. В XX веке стала возрастать доля хронических заболеваний, которые в настоящий момент преобладают [9]. Основанием для такого суждения служат не только многочисленные жалобы населения на неприятный запах в воздухе, головные боли, плохое самочувствие (информация СМИ), а также строгая медицинская статистика, говорящая о тенденции к росту заболеваемости на загрязненных территориях и данные научных исследований, направленных на количественное определение связи между загрязнением окружающей среды и его влиянием на организм человека [1, 2, 3].

В связи с этим, оценка потенциального риска здоровью человека, который обуславливается загрязнением окружающей среды, является одной из важнейших социально-экологических проблем. Кроме того, количественная оценка социально-экологических рисков позволяет решать и прикладные задачи. Например, на стадии проектирования и строительства нового предприятия необходимо разрабатывать карты риска и определять конечный риск негативного воздействия на человека и окружающую среду, с учетом уже существующего риска на данной территории [5]. Оценка социально-экологических рисков может быть использована для проведения целенаправленной экологической политики и политики в области охраны здоровья населения, выделения приоритетных территорий и групп населения повышенного риска, нуждающихся в первоочередных природоохранных и лечебно-профилактических мероприятиях.

Для реализации этих задач необходимо выделить индикаторы состояния здоровья и окружающей среды, дающие возможность оценить ситуацию в полном объеме.

Назначение индикаторов – оценка ситуации (состояния, обстановки) по определенным направлениям исследований. Удачно выбранные индикаторы окружающей среды позволяют перейти к разработке системы моделей с целью создания унифицированного методического аппарата, позволяющего математически обработать и получить информацию о качестве окружающей среды, доведенную до числовых значений и удобную для графической визуализации, пригодную для передачи в систему поддержки принятия решений [6].

Применяемые в работе индикаторы должны обладать базовыми свойствами [7]:

- чувствительность;
- способность к агрегативности;
- простота интерпретации;
- научная обоснованность.

Необходимо исключить резкое увеличение количества индикаторов, характеризующих состояние окружающей среды и здоровья населения. Таким образом, индикатор следует рассматривать как информационный указатель и как символ со смысловым содержанием, удовлетворяющий базовым свойствам индикаторов.

Индикаторы здоровья

К основным критериям здоровья относятся [8]:

- 1) санитарно-демографическая статистика (рождаемость, смертность, продолжительность жизни);
- 2) статистика заболеваемости;
- 3) статистика физического развития.

Для адекватной оценки степени экологического риска города или региона необходимо изучить и оценить меру вклада вредных факторов окружающей среды в изменении состояния здоровья населения, рассматривая при этом здоровье человека как основной

биоиндикатор экологического риска и важную составную часть экологического мониторинга. Изучение особенностей, оценки и прогноз состояния здоровья различных групп населения, в связи с характером загрязнения окружающей среды, являются важным разделом социальной экологии [4].

Для реализации этих задач необходимо получить достоверную информацию о состоянии и сдвигах экологически обусловленных медикостатистических, гигиенических и демографических показателей. Существующая классификация болезней в целом не ориентирована на анализ и изучение взаимосвязи изменения окружающей среды и здоровья, является очень громоздкой и недостаточно пригодна для решения задач оперативного мониторинга и построения модели оценки потенциального риска здоровью населения.

В связи с этим была разработана классификация экологически значимых заболеваний. Выделяют три группы патологических процессов, различающихся по степени зависимости показателей состояния здоровья и окружающей среды [4]:

1. Индикаторная экологическая патология	Отражает высокую степень зависимости состояния здоровья от загрязнения среды	Профессиональные болезни, онкологические заболевания, перинатальная смертность, врожденная патология, генетические дефекты, аллергические заболевания и реакции, токсикологические поражения
2. Экологически зависимая патология	Отражает среднюю степень зависимости от загрязнения среды	Младенческая смертность, смертность детей раннего возраста, общая детская смертность, вторичные иммунодефициты, хронический бронхит и пневмония у детей, хронические паренхиматозные поражения печени и желчевыводящих путей, обострение основных заболеваний дыхательной и сердечно-сосудистой систем в дни резкого ухудшения метеорологической обстановки в городах
3. Экологически обусловленная патология	Отражает умеренную зависимость от состояния среды	Спонтанные выкидыши, патология беременности, хронический бронхит и пневмония у взрослых, заболеваемость с временной утратой трудоспособности, анемии у детей, основные заболевания сердечно-сосудистой системы, увеличение ранних предболезненных показателей меры риска ведущих общих заболеваний

Проанализировав данные, опубликованные в официальных изданиях, выяснилось, что статистические сведения о физическом развитии населения недостаточно доступны для широкой аудитории. С другой стороны, если будут использованы данные о физическом развитии детей, подростков и взрослого населения, резко увеличится количество индикторов, а это может значительно затруднить построение модели по оценке экологического риска. В связи с этим используются статистические данные о рождаемости, смертности, продолжительности жизни и экологически зависимые заболевания первой и второй группы.

Индикаторы состояния окружающей среды

К индикаторам состояния окружающей среды в большинстве работ относится загрязняющие химические вещества, выделяемые автомобильным транспортом и стационарными источниками. По данным Среднесибирского УГМС (Среднесибирское межрегиональное территориальное управление Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды), мониторинг проводится в отношении 24 химических загрязняющих веществ. По сравнению с 2007 годом, в 2008 году выбросы от стационарных источников увеличились на 0,46 % и на 30,17 % от автомобильного транспорта. Увеличился объем выбросов в атмосферу бенз(а)пирена в 1,3 раза, фенола – в 1,2 раза, формальдегида – в 1,13 раз и др. Во всех случаях наблюдается увеличение объемов выбросов химических веществ [1].

Следует учитывать и другие факторы, оказывающие влияние на здоровье человека. К ним относятся физические факторы: шум, вибрация, электромагнитные поля (ЭМП), освещенность, микроклимат. Шум, превышающий предельно допустимый уровень, вызывает потерю слуха, развитие тугоухости, угнетающе действует на психику, нарушает работу сердечно-сосудистой системы, желудочно-кишечного тракта, а именно тормозит

секреторную и моторную функции желудка. Вибрация неблагоприятно влияет на опорно-двигательную систему, нервную систему, возможно развитие вибрационной болезни. ЭМП вызывает заболевания нервной, эндокринной, иммунной, репродуктивной систем. Недостаточное освещение влияет на функционирование зрительного аппарата, психику человека, его эмоциональное состояние, вызывает нарушение центральной нервной системы, возникающей в результате прилагаемых усилий для опознания четких или сомнительных сигналов. Параметры микроклимата, не соответствующие предельно допустимым нормам, оказывают влияние на сердечнососудистую систему, терморегуляцию.

Жители промышленного города ежедневно сталкиваются с физическими факторами на рабочем месте, дома и на отдыхе. По этой причине следует учитывать указанные индикаторы при построении модели оценки экологического риска.

В 2008 году в Красноярском крае по отдельным физическим факторам было обследовано 18797 объектов, являющихся источником физических факторов, из них не отвечали санитарно-эпидемиологическим требованиям 3411 объектов или 18,1% (в 2007 году – 7,4%). Наибольшая доля объектов, являющихся источниками физических факторов, не отвечала требованиям санитарных норм по освещенности, ЭМП и шуму. За последние годы показатели по указанным факторам не имеют тенденции к снижению. Основная причина этому – несовершенство (моральное устаревание) технологических процессов, конструктивные недостатки машин, механизмов, оборудования, приспособлений и инструментов, несвоевременная замена изношенного производственного оборудования и планово-предупредительный ремонт [1].

Основными источниками шума и вибрации в городах являются производственные объекты, внутригородской автомобильный, железнодорожный транспорт. Источниками ЭМП в населенных местах края являются радиотехнические объекты, электротранспорт, линии электропередач, электропроводка, бытовые электроприборы, радары, персональные компьютеры. В последние годы наблюдается широкое распространение маломощных источников ЭМП радиочастотного диапазона – это передающие радиотехнические объекты сухопутной подвижной радиосвязи (ПРТО). К ним относятся: сотовая цифровая связь, телевидение, радиовещание, радиосвязь, спутниковая связь. Количество ПРТО в 2008 г. На территории Красноярского края выросло в 1,4 раза (в 2007 г. прирост составил 1,2 раза) [1].

Таким образом, при оценке экологического риска и прогнозировании последствий техногенного воздействия на окружающую среду и здоровье населения требуется учитывать следующие индикаторы: рождаемость, смертность, продолжительность жизни, химические вещества, выделяемые стационарными источниками и автомобильным транспортом, а также физические факторы (шум, вибрация, ЭМП, освещенность, микроклимат).

ЛИТЕРАТУРА

1. Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды Красноярского края в 2008 году» – Красноярск, 2009. 226 с.
2. Государственный доклад «О санитарно-эпидемиологической обстановке в Алтайском крае в 2008 году» – Барнаул, 2009. 311 с.
3. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2008 году» – Иркутск, 2009. 410 с.
4. Гичев Ю.П. Здоровье человека как индикатор экологического риска индустриальных регионов. – Вестн. Рос. АМН, 1995, № 8, с. 52–54.
5. Сугак, Е.В. Вычислительные и информационные технологии анализа и оценки социально-экологических рисков/Е.В. Сугак, Е.Н. Окладникова, Е.В. Кузнецов//Экология и промышленность России, 2008, т. 8, с. 24–29.
6. Потапов А.И., Воробьев В.Н., Карлин Л.Н., Музалевский А.А. Мониторинг, контроль и управление качеством окружающей среды. Часть 3. Оценка и управление качеством окружающей среды. Научное и учебно-методическое справочное пособие. – Санкт-Петербург: РГТМУ, 2005. – 600 с.
7. SCOPE 58. Sustainability Indicators. Report of the project on Indicators of Sustainable Development. Edited by B. Moldan and S. Billharz. UNEP. By John Wiley and Sons. New York. 1997. 415 p.
8. Здоровье населения и методы его изучения: Избранные произведения/Под ред. М.С. Бедногою. – М.: Статистика, 1979, 232 с.
9. Стожаров А.Н. Медицинская экология: учеб. пособие/А.Н. Стожаров. – Минск: Выш. шк., 2007. – 368 с.

О ВЫБОРЕ РЕЖИМА НЕЙТРАЛИ СЕТЕЙ 110–500 кВ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

А.А. Буралков, В.В. Кибардин

ФГАОУ «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск, Россия

Предприятия металлургического комплекса, особенно заводы с электролизным способом получения цветных металлов (алюминия, меди), являются крупными и очень энергоемкими потребителями электроэнергии с повышенными требованиями к надежности электроснабжения. Для электроснабжения таких заводов и передачи больших мощностей используются сети высокого напряжения 110, 150, 220, 330 и 500 кВ.

Одним из важных вопросов надежного функционирования электрических сетей высокого напряжения является выбор режима нейтрали силовых трансформаторов. В соответствии с п. 1.2.16 «Правил устройства электроустановок» (ПУЭ) для электрических сетей напряжением 110 кВ предусматривается работа как с глухозаземленной, так и с эффективно заземленной нейтралью. При этом электрические сети напряжением 220 кВ и выше должны работать только с глухозаземленной нейтралью, когда нейтраль трехфазного силового трансформатора присоединяется непосредственно к заземляющему устройству.

Электрической сетью с эффективно заземленной нейтралью, согласно п. 1.7.4 ПУЭ, считается такая сеть, у которой коэффициент замыкания на землю – отношение разности потенциалов между неповрежденной фазой и землей в точке замыкания на землю другой фазы (или двух других фаз) к разности потенциалов между фазой и землей в этой точке до замыкания – не превышает 1,4. Это означает, что при линейном напряжении сети 110 кВ и фазном напряжении в $110 \text{ кВ} / 1,732 = 63,51 \text{ кВ}$ напряжение между неповрежденной фазой и землей в точке замыкания другой фазы не должно превышать $63,51 \text{ кВ} \times 1,4 = 88,91 \text{ кВ}$.

Режим заземления нейтрали обмоток 110–150 кВ трансформаторов выбирается с учетом класса изоляции нейтрали, обеспечения в допустимых пределах коэффициента замыкания, допустимых значений токов однофазного короткого замыкания (КЗ) по условиям выбора оборудования, действия релейной защиты и автоматики (РЗА), влияния на линии связи, а также с учетом требований к заземлению нейтрали по условиям установки фиксирующих приборов. В сетях 110 кВ и выше определяющим при выборе режима нейтрали является не факторы надежности электроснабжения и электробезопасности, а фактор стоимости изоляции электрооборудования, коммутационных аппаратов и линий электропередачи.

Однако при таких режимах нейтрали замыкание одной фазы на землю приводит к КЗ, ток которого очень велик, что требует быстрого отключения поврежденного участка сети с помощью РЗА. С целью уменьшения величины тока однофазного КЗ на землю в сети 110 и 220 кВ с несколькими источниками питания со стороны низкого и среднего напряжения допускается заземлять постоянно нейтраль только у одного трансформатора, а заземление нейтрали других силовых трансформаторов и автотрансформаторов сети осуществлять через специальные реакторы.

Кроме того, трансформаторы напряжением 110 и 220 кВ с испытательным напряжением нейтрали, соответственно, 100 и 200 кВ могут работать с разземленной нейтралью при условии ее защиты разрядником или ограничителем напряжения. При обосновании расчета допускается работа с разземленной нейтралью трансформаторов 110 кВ и с испытательным напряжением нейтрали 85 кВ, но также защищенной разрядником. В настоящее время они защищаются ограничителями перенапряжений типа ОПНН-110. Таким образом, все автотрансформаторы, реакторы напряжением 110 кВ и выше, а также обмотки трансформаторов напряжением 330–750 кВ должны иметь постоянное заземление нейтрали.

Рассмотренные режимы нейтрали электрических сетей высокого и сверхвысокого напряжения долгое время эксплуатировались у нас в стране и за рубежом без особых нареканий. Однако в последние годы появились новые причины длительных аварийных отключений в электроэнергетических системах и перерывов электроснабжения, связанные с возрастанием солнечной активности.

В конце января 2009 г. был опубликован рабочий отчет американской Национальной Академии Наук (NAS) «Severe Space Weather Events – Understanding Societal and Economic Impacts», или в переводе с английского «Угрозы космической погоды – оценка социальных и экономических последствий», где рассматривались воздействия «космических штормов» на системы электроснабжения Северной Америки, системы аэронавигации, базирующиеся на использовании GPS, космические летательные аппараты и телекоммуникационные спутники, а также уточнялся ущерб от выхода из строя перечисленных систем для США.

Еще в 1915 г. выдающийся русский ученый, основоположник гелиобиологии, Александр Чижевский обратил внимание и статистически подтвердил связь между увеличением солнечной активности с периодом примерно в 11 лет и земными катаклизмами [1, 3]. Первоначально взгляды Чижевского не были восприняты научным миром и их даже причислили к разряду мистических. Однако сейчас не только ученые, но и целые отделы спецслужб разных стран, по сообщениям прессы, занимаются анализом солнечной активности.

В настоящее время считается, что цикл солнечной активности равен 11,2 года, хотя найдены и более длинные циклы (22, 44, 55, 80, 110, 210, 420 лет). Однако 11-летний цикл может меняться от 7 до 17 лет (в XX веке он был ближе к 10 годам). Примерно каждые 11 лет становится наибольшим и число пятен на Солнце. С таким же периодом в 11 лет происходит и изменение полярности («переполусовка») магнитного поля Солнца. Пятна являются источниками солнечных вспышек, выбросов плазмы и протонов с высокой энергией, которые вместе образуют солнечные бури.

Солнечные вспышки – это относительно небольшие взрывы, порождающие излучение. Они вызывают скрытое радиопоглощение в так называемом D-слое (на высоте 60–90 км) земной ионосферы, интерферируя с сигналами спутниковой системы навигации GPS и коротковолновыми приемниками. Вспышки также ударяют в верхние слои атмосферы, раздувая ее и увеличивая трение спутников, в результате чего, те теряют высоту и могут упасть на Землю. Так погибли американская орбитальная станция «Skylab» и советский «Салют-6». В июле 2000 года во время очень большой магнитной бури был потерян японский спутник «Asko».

Корональные выбросы массы – это гигантские пузыри плазмы, которые, если Земля оказывается на их пути, индуцируют сильные электрические токи в протяженных линиях связи, воздушных ЛЭП, кабелях и силовых трансформаторах, особенно сверхвысокого напряжения (от 330 до 1150 кВ переменного тока), в магистральных трубопроводах и рельсах железных дорог.

Протонные ливни – это солнечные потоки обладающих высокой энергией протонов, которые иногда сопровождают солнечные вспышки и корональные выбросы массы. Они оказывают сильное воздействие на радиоэлектронную аппаратуру, могут повредить данные в компьютерных сетях, а космонавты и пассажиры самолетов из-за них могут получить повышенную дозу радиации.

Самая сильная за последние 500 лет магнитная буря случилась осенью 1859 г. Тогда 26 августа на Солнце около 55° западной долготы появилась большая группа пятен, и произошел первый корональный выброс массы. 28 августа этот выброс достиг Земли скользящим ударом. Наблюдались большие магнитные возмущения, нарушение работы телеграфа и полярные сияния на юге, до 25° Северной широты. 30 августа геомагнитные возмущения от первого коронального выброса массы завершились.

1 сентября произошла вспышка рентгеновского излучения. В этот день в 11:15 GMT английский астроном Ричард Каррингтон (Richard C. Carrington) заметил белые вспышки на Солнце; которые были хорошо видны даже без оптических приборов. Затем большая группа солнечных пятен совершила вращение до западной долготы 12°. И вдруг поверх пятен вспыхнули два ослепительных шара, которые быстро росли. Они были столь яркими, что затмевали блеск Солнца. Примерно через пять минут шары исчезли.

2 сентября в 05:00 GMT магнитные обсерватории Гринвича и Кью зафиксировали геомагнитный хаос, немедленно последовавший за возмущениями; второй корональный выброс массы достиг Земли за 17 часов, двигаясь со скоростью 2380 км/с, обладая южной ориентацией магнитного поля. При этом наблюдались полярные сияния вплоть до 18° северной широты. Ночь над Америкой стала днем – так было светло от сполохов сияния. Города казались охваченными огнем. Полярные сияния после этой вспышки над своими головами наблюдали даже жители Индии, Кубы, Ямайки, Гавайских островов, а не только в высоких широтах. Имевшиеся тогда магнитометры зашкалило. Еще более ярким

свидетельством серьезности происходящего стали неполадки на телеграфных линиях в Европе и Северной Америке. Искровые разряды больно жалили телеграфистов и поджигали бумагу телеграфных лент. Даже при отключении аппаратов от батарей вызванные «электромагнитной бурей» токи все равно позволяли телеграфу нормально работать и передавать сообщения.

3–4 сентября основная фаза геомагнитного возмущения, вызванная вторым выбросом корональной массы закончилась, но продолжало наблюдаться рассеянное полярное сияние уменьшающейся интенсивности. Солнечные вспышки и интенсивные корональные выбросы также ускоряли протоны до энергий в 30 мегаэлектронвольт (МэВ) или выше. В арктических областях, где магнитное поле Земли создает наименьшую защиту, протоны проникали до высот 50 км и давали дополнительную энергию ионосфере. В результате, протонный ливень солнечной бури 1859 г. уменьшил количество озона в земной стратосфере на 5 %. Для восстановления озонового слоя потребовалось четыре года.

Так как полярные сияния распространяются от высоких широт к низким, сопровождающие их ионосферные и авроральные электрические токи индуцируют интенсивный, соединяющий континенты ток на поверхности Земли. Именно эти токи проникли в телеграфную систему. Многоамперные высоковольтные нагрузки и привели к тому, что сгорели несколько телеграфных станций. Об этом в свое время тоже писал А. Л. Чижевский [2].

Благодаря тому, что цивилизация того времени еще не достигла нынешних технологических высот, удар солнечной бури 1859 г. не сказался серьезным образом на повседневной жизни. Если бы такая вспышка произошла в наши дни, то разрушений было бы гораздо больше: выведенные из строя космические спутники, сбой радиосвязи, отключение электричества на целых континентах, для восстановления которого потребовались бы недели, а то и месяцы. Хотя буря подобной мощности, как в 1859 г., происходит редко, но бури половинной мощности происходят примерно раз в 50 лет.

Отмечено, что в последние 30 лет число и интенсивность солнечных бурь существенно возросли. Максимумы солнечной активности наблюдались около 1980, 1990, в 2001–2002 гг., следующий пик ожидается в 2011–2012 гг.

Из перечисленных в рабочем отчете NAS «Severe Space Weather Events ...» земных объектов, подверженных воздействию солнечных бурь, особое внимание было уделено системам электроснабжения, поскольку именно их выход из строя на длительное время представляет самую большую технологическую угрозу повседневной жизни человечества.

Передача и распределение электроэнергии в современных электроэнергетических системах осуществляется на переменном трехфазном токе с помощью воздушных и кабельных линий электропередачи (ЛЭП). Для приема и преобразования электроэнергии служат трансформаторные подстанции с трансформаторами и распределительными устройствами. И именно трансформаторы в электрических сетях с заземленной нейтралью являются «Ахиллесовой пятой» электроэнергетики.

Для передачи электроэнергии потребителям внутри энергосистем используют ЛЭП высокого напряжения 110, 150, 220 кВ с последующим понижением до 6–10 кВ, а затем – до 380/220 В. Для связи энергосистем между собой и передачи больших мощностей (200–2200 МВт), что характерно для металлургических предприятий с электролизным производством цветных металлов, и на большие расстояния (300–2000 км) используют воздушные ЛЭП сверхвысокого (330, 500, 750 кВ) и ультравысокого напряжения (1150 кВ). (Указаны значения по российским стандартам).

При солнечных бурях возникающие в ионосфере Земли электрические токи индуцируют в длинных металлических проводниках (проводах, трубопроводах, рельсах железных дорог) токи частотой менее 1 Гц, а в земле – постоянные токи силой в десятки ампер. В силу того, что нейтраль силовых трансформаторов напряжением 110–1150 кВ заземлена, эти наведенные токи протекают по обмоткам высокого напряжения (ОВН) трансформаторов Тр и проводам ЛЭП (рис. 1).

По известному закону Ома ток I в электрической цепи переменного тока равен отношению электродвижущей силы E к полному сопротивлению цепи Z , складывающемуся из активного R и индуктивного X_L сопротивлений, т.е. $Z = (R^2 + X_L^2)^{-1/2}$. Так как индуктивное сопротивление обмоток трансформаторов X_L пропорционально частоте тока f и индуктивности обмоток L ($X_L = 2\pi f \cdot L$), то на постоянном токе оно равно нулю и ток определяется лишь активным сопротивлением обмоток трансформатора, которое очень мало. В результате ток в медных обмотках трансформатора возрастает в десятки раз.

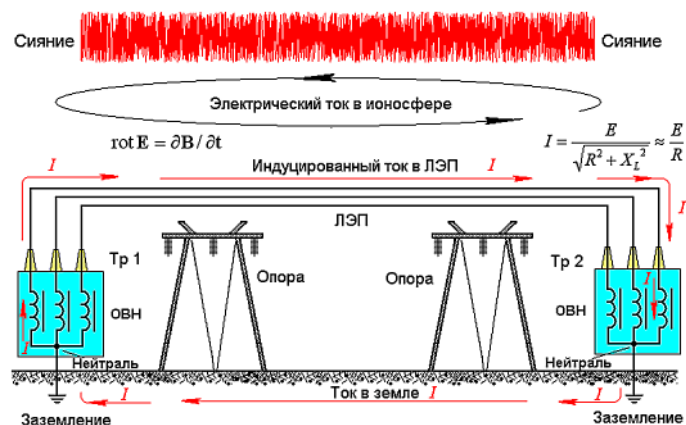


Рис. 1. Схема протекания индуцированного солнечными бурями тока в силовых трансформаторах

Кроме того, постоянный ток, проходя по обмоткам трансформатора, сильно насыщает его сердечник, смещая рабочую точку по кривой намагничивания $B = f(H)$ трансформаторной стали (рис. 2) от положения 1 до положения 2 (крайний случай). В результате этого даже меньшее изменение магнитной индукции B переменного тока частотой 50 Гц, показанное на рисунке 2б (по сравнению с рисунком 2а), приводит к гораздо большему увеличению (в десятки раз) напряженности магнитного поля H и синусоидального тока i в обмотке трансформатора (рис. 2г и в). В силу такого резкого увеличения как постоянного, так и переменного тока обмотки высокого напряжения и сердечник трансформатора быстро нагреваются, а обмотки еще расплавляются и сгорают.

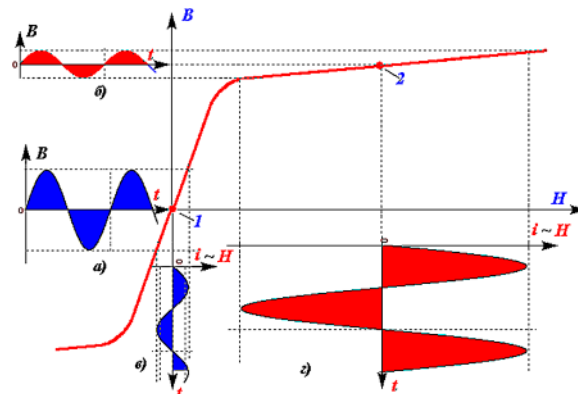


Рис. 2. Кривая намагничивания стали сердечников силовых трансформаторов и токов в его обмотках до (1) и после (2) намагничивания сердечников

В соответствии с известным уравнением Максвелла $\text{rot} E = \partial B / \partial t$, приведенном и на рисунке 1, при скорости изменения магнитной индукции геомагнитного поля около 4800 нанотесла (нТ) в минуту (как это было во время сильной солнечной бури 1921 г.), по оценкам экспертов, на поверхности земли могут индуцироваться поля с напряжением до 20 В на км. В результате, по расчетам специалистов, только в США через 90 секунд после солнечного удара сгорят 300 ключевых трансформаторов сверхвысокого напряжения. И тогда без электроэнергии останутся более 130 миллионов человек. Отклик энергосистем на более сильную бурю, подобную той, что произошла в 1859 г., ученые еще не смоделировали. А там, очевидно, результаты воздействия на энергосистемы будут еще более масштабными!

В других странах, в том числе и в России, последствия прогнозируемого солнечного удара будут не лучше. Особенно, если учесть, что электротехническая промышленность нашей страны, находится в упадке и не способна в короткие сроки произвести большое число мощных силовых трансформаторов и другого необходимого при такой аварии электрооборудования.

Поскольку многотонные силовые трансформаторы с выгоревшими обмотками отремонтировать на месте нельзя, а можно только заменить на новые, то такая ситуация

в энергосистемах продлится несколько месяцев, а то и лет. Кроме того, для установки новых крупногабаритных трансформаторов на подстанциях требуются квалифицированные специалисты (которых у нас в стране становится все меньше и меньше) и неделя, а то и больше, непрерывной работы людей и техники.

Для подтверждения этих не слишком оптимистичных выводов можно привести аварию в 1989 г., когда скромный по масштабам солнечный шторм привел к повреждению силовых трансформаторов сверхвысокого напряжения и на 9 часов погрузил во тьму канадскую провинцию Квебек. Во время этого же электромагнитного шторма на АЭС Salem в американском штате Нью Джерси вышел из строя мощный силовой трансформатор. И это был лишь один серьезный случай из 200 аварий, происшедших в это время в Северной Америке.

29 апреля 1994 г. вскоре после начала сильной геомагнитной бури на АЭС Maine Yankee полностью был выведен из строя мощный трансформатор. 24 марта 1940 г. из-за сильнейшей геомагнитной бури было временно нарушено электроснабжение в некоторых регионах штатов Новой Англии, Нью-Йорка, Пенсильвании, Миннесоты, Квебека и Онтарио, выведены из строя 80 % всех магистральных телефонных сетей в Миннеаполисе.

Еще одной опасностью солнечных бурь являются так называемые веерные отключения после выхода из строя трансформаторных подстанций. Поскольку энергосистемы и их сети на континентах взаимосвязаны, то потеря даже одного узла влечет за собой каскад аварий. Так, в 2006 г. отключение одной из ЛЭП в Германии вызвало серию повреждений трансформаторных подстанций по всей Европе. В результате во Франции пять миллионов человек сидели без света два часа.

Раннее спутниковое предупреждение о вспышках на Солнце, конечно, может помочь персоналу энергосистем смягчить последствия солнечных бурь, за счет ограничения потоков электроэнергии между системами, регулирования напряжения и нагрузки в сети. Однако, как показал опыт 1859 г., в запасе у специалистов всего 15 минут, а то и меньше, чтобы предпринять нужные меры. Вместе с тем, спутниковая система слежения за солнечной погодой становится все менее надежной, так как спутник NASA под названием ACE уже 11 лет в работе и превысил срок своей службы.

В России наземные наблюдения за Солнцем ведутся, но обсерватории устарели и есть только в 6 городах, что крайне мало на такую большую страну, как наша. Потому необходимы какие-то технические решения, обеспечивающие надежную работу электрических сетей во время самых мощных солнечных бурь. Особенно, сейчас, когда специалисты NAS, согласно «New Scientist», прогнозируют солнечный шторм, аналогичный Каррингтонскому, на 22 сентября 2012 г., хотя отечественные специалисты и высказывают сомнение в такой точности прогноза пиков солнечной активности на ближайшие годы.

Для оценки возможности солнечного шторма и крупных аварий в энергосистемах в указанные сроки нами были использованы астрологические методы. На рис. 3 приведена карта на момент Каррингтонского события 1 сентября 1859 г. в 11:15 по Гринвичу (GMT).

Как видно из рисунка 3, Солнце, символизирующее в данном случае само себя как звезду нашей системы, и Меркурий, отвечающий за связь, в $8^{\circ}27'$ и $1^{\circ}54'$ Девы находятся в квадрате с Ураном (электричество, электромагнетизм) в $7^{\circ}40'$ Близнецов, тоже отвечающих за связь. Уран к тому же находится в 8 Доме аварий и катастроф. При этом квадрат Солнца и Урана является точным с орбисом $0^{\circ}47'$.

С другой стороны, точнейший трин (орбис 0°) Солнца с Плутоном в $8^{\circ}27'$ Тельца обеспечил очень большую мощь (Плутон) солнечной (Солнце) бури в этот день на Земле (Телец – земной знак) и массовый выход из строя телеграфных станций (Уран в Близнецах) вследствие индуцирования в телефонных линиях больших токов.

Оппозиция Сатурна и Марса в $18^{\circ}51'$ и $25^{\circ}01'$ Льва в 9 Доме дальних путешествий и дальней связи к Хирону в $19^{\circ}13'$ Водолея в 3 Доме привела к нарушению (Марс) и ограничению (Сатурн) связи между дальними странами (9 Дом) из-за необычного (Хирон) поведения телеграфных (Водолей) станций связи (3 Дом).

Из-за квадрата Урана в $7^{\circ}40'$ Близнецов в 8 Доме аварий с Луной в $5^{\circ}51'$ Скорпиона в 12 Доме несчастий эта вспышка и выход из строя телеграфных станций затронула большое число людей (Луна). Точное соединение Юпитера в $17^{\circ}56'$ Рака с куспидом (началом) 9 Дома академической науки в $17^{\circ}01'$ Рака показывает, что к этой вспышке на Солнце было привлечено внимание крупных ученых (Юпитер, 9 Дом), занимающихся исследованиями небесных явлений (9 Дом).

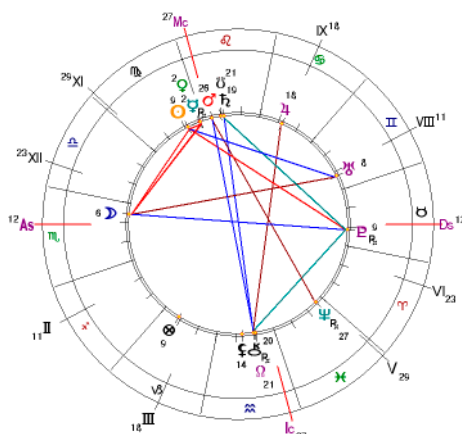


Рис. 3. Вспышка на Солнце 1.09.1859 г., 11:15 GMT, Гринвич, Англия

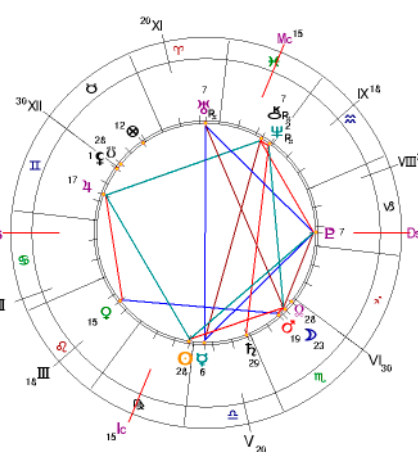


Рис. 4. Вспышка на Солнце 22.09.2012 г., 4:00 GMT, Нью-Йорк, США

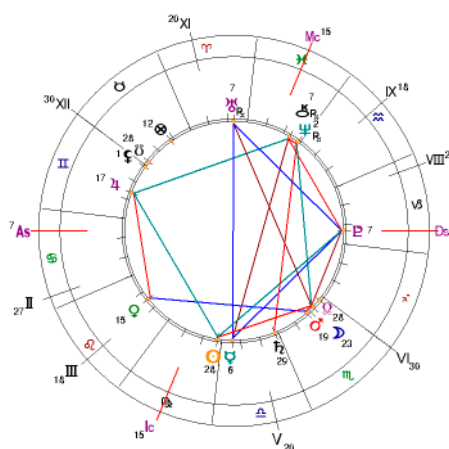


Рис. 5. Вспышка на Солнце 30.09.2012 г., 1:39 GMT, Нью-Йорк, США

Если обратиться к карте вероятной солнечной бури, прогнозируемой американскими специалистами на 22.09.2012 г. в полночь по Нью-Йоркскому времени, показанной на рисунке 4, то в ней опять оказываются задействованными Солнце в $29^{\circ}34$ Девы, Меркурий в $8^{\circ}59$ Весов, Уран в $6^{\circ}50$ Овна и Плутон в $6^{\circ}58$ Козерога, образующие вместе уже более напряженную аспектную конфигурацию – Тау-квадрат с Плутоном на острие этого квадрата.

Данная ситуация (рис. 4) с астрологической точки зрения оказывается более опасной, нежели ситуация 1859 г. на рисунке 3, так Плутон и Уран образуют точный квадрат с орбисом $0^{\circ}07$, и потому нарушения (Плутон) в области электроэнергетики, электросвязи (Уран) могут быть более массовыми и более серьезными.

Вновь Плутон оказывается в земном знаке – Козероге, отвечающем за организационно-системные функции. Потому данная прогнозируемая солнечная буря, если она произойдет, затронет многие государственные структуры (Козерог). Символичным выглядит и положение Уран уже в огненном знаке Овна, что вполне соотносится со сгоранием (Овен) силовых трансформаторов (Уран) на системно-связующих (Козерог) подстанциях сверхвысокого напряжения.

Однако, с астрологической точки зрения, более напряженной выглядит ситуация на 1:39 GMT 30 сентября 2012 г., показанная на рисунке 5, когда почти при тех же положениях Урана и Плутона, виновник бурь – Солнце окажется в $7^{\circ}18$ Весов, а Луна в $6^{\circ}31$ Овна и в точном соединении с Ураном при орбисе в 0° . Вместе эти четыре объекта вновь образуют Тау-квадрат, но уже более точный, чем 21.09.2012 г. Следует отметить, что в это же время будет и Полнолуние, усиливающее все земные проявления планетных конфигураций, а значит, и последствия солнечных бурь.

Вообще, Уран (электричество) образует квадрат с орбисом 1° с Плутоном (массовые нарушения) в следующие периоды 2012–2015 годов: с 01.06 по 09.10.2012 г.; с 04.05 по 06.06 и с 15.10 по 19.11.2013 г.; с 03.04 по 07.05.2014 г.; с 21.11.2014 г. по 06.04.2015 г. Если в это время на нашем светиле будет наблюдаться сильная активность, то повреждения в энергосистемах, а равно и в связи, будут весьма масштабными, затрагивающими все человечество.

Другими «опасными» для земной электроэнергетики датами являются 4 октября 2013 г. и 30 марта 2014 г. В обе эти даты будет Новолуние, в первую – Солнце и Луна будут находиться в оппозиции с Ураном, во вторую – в соединении с ним. Разумеется, опасность для электроэнергетики эти даты будут представлять лишь при наличии сильной активности Солнца в это время, что могут прогнозировать лишь специалисты в области физики нашего светила.

Помимо указанных дат в периоды квадрата Уран и Плутона возможны сильные нарушения в системах электроснабжения и в дни, когда Солнце образует напряженные аспекты к Урану и Плутону – квадраты, оппозиции, соединения, полу- и полутораквадраты.

В заключение можно сказать, что прогноз ученых NAS о сильной солнечной буре с тяжелыми последствиями как для электроэнергетики, так и для космических спутников, авиации, средств телекоммуникации и аэронавигации на 22 сентября 2012 г. с астрологической точки зрения выглядит вполне правдоподобным. И потому уже сейчас надо предпринимать меры по предотвращению негативных последствий возможных солнечных бурь, ибо времени на это остается крайне мало.

Одной из эффективных мер предупреждения выхода из строя электрических сетей 110 кВ и выше при солнечных бурях является изменение режима нейтрали силовых трансформаторов. Для предупреждения прохождения через обмотки трансформаторов индуцированного тока постоянного тока или тока очень низкой частоты (менее 1 Гц) следует либо отсоединять нейтраль от заземляющего устройства на время сильных магнитных бурь, что нарушает режим работы электрических сетей, либо подключать нейтраль к земле через мощный резистор, либо через конденсаторную установку, а лучше – через последовательную LC-цепь, достаточной мощности и с преобладанием индуктивного сопротивления.

В последнем случае заземления нейтрали сети сохраняются почти все преимущества подключения через дугогасящий реактор, но в то же время исключается прохождение через обмотки трансформаторов индуцированных постоянных токов и существенно снижаются токи низких частот, поскольку емкостное сопротивление конденсаторов обратно пропорционально частоте тока f и емкости C , т. е. $X_C = 1/(2\pi f \cdot C)$.

Очевидно, что подключение нейтрали трансформатора к земле через резистивную цепь или LC-цепь достаточно выполнять лишь на одной стороне ЛЭП. Кроме того, такие режимы заземления нейтрали сети можно использовать кратковременно, лишь на период воздействия вспышек на Солнце на Землю, для чего следует предусмотреть установку соответствующих коммутационных аппаратов параллельно LC-цепи. Такие режимы нейтрали уже относятся к комбинированным, или переменным и они сочетают преимущества обоих режимов – глухого заземления и заземления через резистор или LC-цепь.

Для изучения эксплуатационных свойств таких режимов нейтрали высоковольтных сетей необходимы дополнительные исследования, как с помощью математического моделирования, так и в действующих электроэнергетических системах, от которых питаются металлургические предприятия, в частности алюминиевые заводы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чижевский А. Л. Физические факторы исторического прогресса. – Калуга, 1924. – 72 с.
2. Чижевский А. Л. О влиянии космических причин на деятельность аппаратов связи // Жизнь и техника связи. Том XII. – М.: 1925, с. 22–31.
3. Чижевский А. Л. Земное эхо солнечных бурь. – М.: Мысль, 1976. – 367 с.

К ВОПРОСУ О ФТОРИРОВАНИИ ПРИРОДНЫХ ВОД ПРИБАЙКАЛЯ

Н.И. Янченко¹, А.Н. Баранов¹, В.Л. Макухин²

¹ Иркутский государственный технический университет, г. Иркутск, Россия

² Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск, Россия

В Приангарье расположены Иркутский и Братский алюминиевые заводы, которые за сорок шесть лет работы использовали более одного миллиона тонн фтористых солей в пересчете на фтор. Предполагаем, что весь фтор перешел в Ангара, что может привести к некоторому повышению существующей низкой (относительно норм для питьевой воды) концентрации фтора в природных водах. Для оценки локального загрязнения фтором природных вод предложена математическая модель, которая в отличие от ОНД-86 учитывает трансформацию и рельеф местности и более объективно оценивает участки локального загрязнения фтором.

В городе Шелехове находится Иркутский алюминиевый завод, построенный в 1962 году, с современной производительностью 375 тыс. тонн алюминия в год. В 1966 году построен Братский алюминиевый завод с проектной мощностью 840–860 тыс. тонн алюминия, в настоящее время производительность составляет примерно 1 млн тонн алюминия в год. Известно, что при электролитическом производстве алюминия из криолит-глиноземных расплавов расходуется примерно 40 кг фтористого алюминия на тону производимого алюминия. Таким образом, при выпуске 1,3 млн тонн алюминия в год на территории Прибайкалья (водосборный бассейн реки Ангара) ежегодно расходуется 35 тыс. тонн фтористых солей в пересчете на фтор. Проведенные ориентировочные расчеты показали, что с момента пуска алюминиевых заводов на территорию Прибайкалья поступило с сырьем более миллиона тонн фтора в составе фтористых солей. Принимаем, что из Байкала вытекает примерно 60 км³ воды в год с содержанием фтора 0,2 мг/дм³ (Ангара вытекает из Байкала). При поступлении 35 тыс. тонн фтора в эту воду возможно, повысится концентрация фтора в воде на 0,58 мг/дм³ и концентрация фтора в воде составит в сумме 0,78 мг/дм³, что не превышает установленные нормативы для питьевой воды. Этот приближенный расчет сделан на основе предположения, что весь фтор с тальми водами, атмосферными осадками поступит в природные воды и Ангара, т. е. распределится в водах Прибайкалья. Однако реально существует опасность локального загрязнения водных источников фтором и поэтому важно рассмотреть модели распределения фтора в атмосфере, т. к. из атмосферы фтористый водород абсорбируется природными водными поверхностями и поступает с атмосферными осадками.

Фтор – активный химический элемент, не встречается в природе в чистом виде, взаимодействует даже с инертными газами, вступает в реакцию практически со всеми элементами и это приводит к распространенности его соединений. В организм человека фтора, в составе фторсодержащих соединений, поступает из воздуха только в районах с высоким природным и техногенным загрязнением, в других случаях источником фтора является питьевая вода [1], продукты питания. Как указано в работе [1], имеющиеся сведения о фторидах в литературе в основном связаны с флюорозом (избыток фтора), либо с кариесом зубов (недостаток фтора). Поступление ионов фтора в растения, животных и человека зависят от его содержания в воздухе, воде, почвах. Все природные воды содержат ион фтора [2], хотя концентрации его очень варьируются. Это зависит от содержания фтористых минералов в водовмещающих породах, пористости пород и физико-химических свойств воды. В работе Л.М. Яновского исследован 781 источник в Прибайкалье и указано, что население таежных ландшафтов получает воду со значительно меньше минерализацией и уровнями фторидов, чем население степи и лесостепи. Содержание иона фтора в открытых водоемах лесостепей $0,8 \pm 0,112$ мг/дм³, в таежных ландшафтах $0,3 \pm 0,18$ мг/дм³ [2]. По данным работ [3, 4], содержание фтор-ионов в Братском водохранилище находится в пределах 0,24–0,36 мг/дм³, в р. Ангаре – 0,25 мг/дм³, в оз. Байкал не превышает 0,3 мг/дм³. Фтор, единственный ион для которого установлены интервалы предельно-допустимых концентраций в питьевой воде (0,7–1,5 мг/дм³) [5]. Питьевая вода

в городе Иркутске содержит примерно $0,2 \text{ мг/дм}^3$. Таким образом, некоторая часть населения Прибайкалья испытывает недостаток поступления фтора с питьевой водой. В связи с этим представляет интерес рассмотреть антропогенное поступление фтора с фторсодержащими выбросами алюминиевых заводов Прибайкалья.

В настоящее время все природоохранные организации, промышленные предприятия и проектные организации теоретическую оценку загрязнения атмосферы проводят по гостированным методикам (базирующимся на основе ОНД-86) [6]. Сыграв свою положительную роль на первых этапах потенциальной оценки загрязнения окружающей среды, с точки зрения современности, они устарели, так как имеют ряд существенных недостатков, которые позволяют воспринимать полученные данные скорее как качественные, а не количественные [7]. К недостаткам можно отнести: симметричность расчёта по секторам с выбранным шагом (особенно это проявляется при расчёте загрязнения от одиночного источника); пренебрежение климатическими особенностями местности и меняющимся направлением вектора скорости ветра, характеристиками подстилающей поверхности; некорректность учёта стратификации атмосферы (значение коэффициента температурной стратификации берётся единым для слишком обширных территорий). Естественно, модель должна быть удобной для пользователя (этим требованиям отвечают гостированные методики), но, главное, модель должна правильно отражать изучаемые явления. В работе [8] приведен результат расчета выбросов HF с учетом эффекта суммации по методике ОНД-86, при прогнозируемой мощности выбросов HF, в случае реализации первого этапа модернизации БрАЗа (рис. 1).

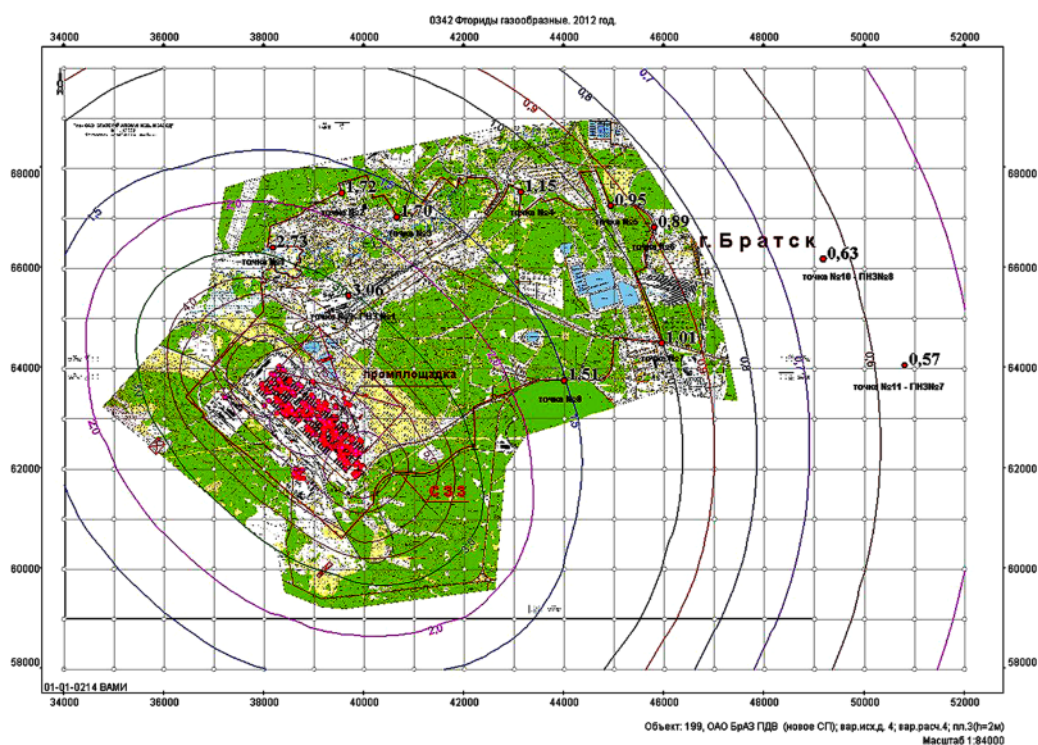


Рис. 1. Мощность выбросов HF 1007,9 тонн. Распределение HF в атмосфере. Значения в долях ПДК_{с.с.} [8]

Нами для моделирования распространения выбросов фторидов использовалась численная модель распространения и трансформации примесей. Была выбрана область площадью $60 \times 40 \text{ км}^2$ и высотой 2400 м над поверхностью Братского водохранилища. Расчёты проводились при следующих значениях параметров. Шаги по времени и горизонтали составляли 5 мин и 2 км соответственно; шаг по вертикали задавался следующим образом: до высоты 400 м от поверхности водохранилища он равнялся 50 м, до высоты 600 м – 100 м, далее 300, 500 и 1000 м. Интенсивность выбросов фтористого водорода 1542 т/год. Блок химических реакций, учитывавшихся при численных экспериментах, представлен в [9]. Сведения о направлении и скорости ветра были взяты из работы [10].

По данным Братской зональной гидрометеорологической обсерватории в зимние месяцы преобладают ветры западного направления, часто наблюдается штиль, скорость ветра, как правило, не превышает 5 м/с, что связано с антициклоническим характером по-

годы. Весной увеличивается повторяемость южных и юго-западных ветров при сохранении преобладающего западного ветра. Летом при преобладающем западном направлении повторяемость остальных направлений ветра почти равномерна и только восточный ветер отмечается редко; скорость ветра всех направлений невелика (1–5 м/с). Осенью повторяемость западных ветров снова увеличивается по сравнению с летним периодом [10].

С помощью описанной численной модели были проведены расчёты в выбранной области исследования при различных направлениях и скоростях ветра. На рисунке 2 представлены распределения рассчитанных приземных концентраций фтористого водорода в долях ПДК_{с.с.} при часто повторяющемся в районе Братска юго-западном потоке, способствующем переносу примеси в сторону города. ПДК_{с.с.} фтористого водорода равна 0,005 мг/м³.



Рис. 2. Изолинии рассчитанных приземных концентраций HF в районе БрАЗа при западном ветре скоростью 2 м/с, в мг/м³.
Интенсивность источника 1542 т/год

Выбросы алюминиевых заводов содержат твердые и газообразные фториды, которые распределяются в объектах окружающей среды, в том числе в осадках дождя и снега, поступают в поверхностные и грунтовые воды и т.д. Содержание водорастворимого фтора в осадках дождя в п. Падун города Братска находится в интервале 0,15–1,0 мг/дм³, в осадках снега – 0,3–0,6 мг/дм³, по нашим данным 2008–2009 годов. При выполнении снегохимической съемки в марте 2010 года в радиусе до 40 км в восток-северо-восточном направлении от БрАЗа, установлено, что содержание водорастворимого фтора в фильтрате снеговой находится в интервале от 0,1 мг/дм³ до 7,0 мг/дм³ и частично этот фтор, с талыми водами поступит в поверхностные воды.

Таким образом, распространение фтора согласно модели ОНД-86 происходит во всех направлениях практически равномерно, по мере удаления от алюминиевых заводов, без учета некоторых региональных особенностей. Предложенная нами модель, которая учитывает трансформацию примесей в атмосфере и рельеф местности показывает, что распространение фтора неравномерное и существует опасность локального загрязнения фтора.

Таким образом, соединения фтора, содержащиеся в выбросах алюминиевых заводов распределяются в атмосферных осадках и снежном покрове, повышают содержание фтора в природных водах и возможно, улучшают качество питьевой воды по фтору в отдельных районах.

Из этого следуют практические рекомендации экологическим службам алюминиевых заводов стремиться к такому распределению соединений фтора в окружающей среде, чтобы не было чрезмерного накопления в отдельных локальных областях.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта 2.1.1/6468 Аналитической ведомственной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы (2009–2010 годы)».

ЛИТЕРАТУРА

1. Mobile forms of fluorine in ecosystems and endemic diseases [Подвижные формы фтора и эндемические болезни] / Dmytrenko G. E., Zhovinsky E. // The 31-st International Geological Congress, Rio de Janeiro, Aug. 6–17, 2000. – Rio de Janeiro: Geol. Surv. Braz., 2000. – P. 6014
2. Яновский Л. М. Биогеохимические предпосылки к проявлениям фтористой интоксикации у населения Прибайкалья // Микроэлементы в медицине. 2001. 2 (1). С. 42–48,
3. Гребенщикова В. И. Лустенберг Э. Е., Китаев Н. А., Ломоносов И. С. Геохимия окружающей среды Прибайкалья (Байкальский геоэкологический регион). – Новосибирск: Изд-во Гео, 2008, 234 с.
4. Гидрометеорологический режим озер и водохранилищ СССР. Братское водохранилище / под ред. Ф. И. Белых, В. А. Знаменского. – Л.: Гидрометеоиздат, 1978, 166 с.
5. ГН 2.1.5.2280–07 Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования
6. Методика расчёта концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий: Общесоюзный нормативный документ (ОНД-86) / науч. рук. М. Е. Берлянд. Л.: Гидрометеоиздат, 1987. 93 с.
7. Аргучинцева А. В., Сташок О. В. Оценка антропогенного загрязнения атмосферы города (на примере г. Братска) // Известия ИГУ. Сер. Науки о Земле. 2009. 1, № 1. С. 25–34.
8. Отчет «Экологическая оценка стратегии технического развития ОАО «РУСАЛ Братск». Рук. отчета: А. В. Тимошкин, В. С. Буркат. Организация ОАО «РУСАЛ ВАМИ», Санкт-Петербург, 2007 г.
9. Керр Дж. А. Экспертные оценки кинетических данных для применения в исследованиях по атмосферному моделированию // Успехи химии. 1990. 59, Вып. 10. С. 1627–1653.
10. Климат Братска / под редакцией Ц. А. Швер, В. Н. Бабиченко. Л.: Гидрометеоиздат, 1985. – 168 с.

ЭКОЛОГИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ОХЛАЖДЕНИЯ АНОДНЫХ ОГАРКОВ

С.Г. Шахрай¹, В.В. Коростовенко¹, И.И. Ребрик²

¹ ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск, Россия

² Объединенная компания «Российский алюминий», г. Москва, Россия

Электролитическое производство алюминия сопровождается выделением значительного количества загрязнителей атмосферного воздуха, номенклатура которых включает твердые вещества (пыль) и газообразные: фторид водорода, оксиды серы и углерода, пр. Применение на современных алюминиевых заводах предварительно обожженных анодов не может полностью экологизировать процесс производства алюминия, однако позволяет улучшить условия труда в корпусе электролиза за счет сокращения содержания смолистых веществ в аноде.

Ранее нами рассмотрены технические и технологические аспекты опыта сбора, эвакуации и обезвреживания выбросов от мощных электролизеров Содерберга [1, 2]. Полный анализ электролитического получения алюминия, к сожалению, не ограничивается только той частью технологии, которая связана с электролизом. Значительной проблемой является очистка выбросов при охлаждении анодных огарков и теплового загрязнения атмосферы, имеющих место при осуществлении данной операции.

Обожженные аноды после сторания заменяются новыми. Извлекаемые из электролизера анодные огарки предварительно охлаждаются и в дальнейшем вовлекаются в переработку для реутилизации. Температура огарка в момент извлечения из ванны близка к температуре расплава и составляет 950–980 °С; масса огарка – примерно 20% от массы анода, т.е. 180–200 кг. Операция сопровождается выбросами газов, причем наиболее интенсивно в период охлаждения огарка до 400 °С. Средние потери фтористого водорода и сернистого ангидрида с извлекаемыми огарками составляют, соответственно 3,5 и 1,01 кг/т Al [3]. В результате в виде газовых соединений от огарка выделяется порядка 30% потерь, что в пересчете на удельные выбросы составляет 1,0–1,05 и 0,25–0,3 кг/т Al соответственно.

С целью уменьшения фонарных выбросов и потерь фтористых солей охлаждение огарка осуществляет в герметичном контейнере [4].

Контейнер (рис. 1) представляет собой шкаф со съемными крышками. Его верхняя плоская стенка снабжена пазами для установки в них штанг анодных огарков. Газы из контейнера в объеме от 3 до 5 тыс. м³/ч дополнительным вентилятором эвакуируются в газоочистные установки через патрубок в задней стенке. Применение контейнера обеспечивает улавливание до 90–92% выбросов от огарка, однако его конструкция имеет ряд недостатков: высокое аэродинамическое сопротивление патрубка, расположенного в задней стенке и потери разрежения за счет пазов в верхней плоской стенке, необходимых для установки анодных штанг (рис. 2). Такое расположение патрубка снижает эффективность использования теплового давления газов, выделяющихся от огарка. В случае одновременного охлаждения в контейнере нескольких огарков разрежение, создаваемое дополнительным вентилятором, оказывается недостаточным для их улавливания и эвакуации. В результате указанного выше через неплотности в съемных крышках и пазы для установки штанг периодически происходят утечки газа в атмосферу корпуса. Для их устранения требуется постоянное обслуживание и герметизация неплотностей.

Другой недостаток операции охлаждения заключается в безвозвратной потере 37–40 кВт тепла от огарка, значение которой определено по формуле:

$$Q = mc(t_1 - t_2),$$

где: m = 180–200 кг – средняя масса охлаждаемого огарка; t_1 = 950 °С – температура огарка в момент извлечения из электролизера; t_2 = 20 °С – конечная температура охлажденного огарка, при которой он вовлекается в переработку; c = 0,18 ккал/кг град – средняя удельная теплоемкость анодного материала.



Рис. 1. Контейнер охлаждения анодных огарков



Рис. 2. Задняя стенка контейнера охлаждения анодных огарков с газоотводящим патрубком

В то же время нагрев до температуры расплава «свежего» анода, установленного в электролизер взамен огарка, длится около 20 часов и сопровождается расходом электроэнергии на его нагрев (без учета потерь тепла в окружающую среду) в количестве 190–200 кВт. С учетом потерь тепла через токоподводящую штангу, укрытия и с удаляемыми из электролизера газами эта величина значительно возрастает и может достигать 2–3 кратного расчетного значения. Холодный анод имеет высокое электрическое сопротивление, в результате чего приложенный ток расходуется только на его нагрев. Это приводит к неравномерности токораспределения в электролизере, увеличивая плотность тока в «прогретых» анодах.

Дополнительная особенность заключается в «термошоке», которому подвергается холодный анод при его установке в электролизер. Следствием этого может стать ряд известных явлений: растрескивание, осыпание, увеличение расхода анода и рост выхода угольной пены, снижение производительности электролизера при «науглероживании» электролита. В целях снижения этих рисков анод перед установкой в электролизер в течение 3–5 минут прогревают, погружая его подошву в расплав электролита. При этом основная масса анода остается холодной.

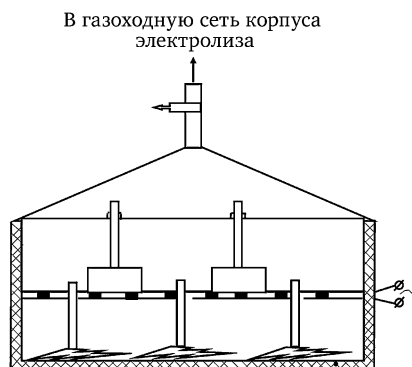


Рис. 3. Двухъярусный контейнер охлаждения анодных огарков

Снизить перечисленные негативные факторы, одновременно используя тепло от огарка на нагрев «свежего» анода, возможно за счет применения двухъярусного контейнера (рис. 3) [5]. На нижний ярус помещаются огарки, на верхний – «свежие» аноды перед их установкой в электролизер. Подина верхнего яруса выполнена перфорированной, что обеспечивает прохождение горячих газов с нижнего яруса на верхний, где их тепло отдается «свежему» аноду. Оценочные расчеты показывают, что таким образом возможно нагреть «свежий» анод до температуры 140–160 °С. При установке такого анода в электролизер достигается более быстрое равномерное токораспределение. В результате расход электроэнергии сокращается, в среднем, на 20–25 кВт/тAl; анода на 10–15 кг/тAl.

Охлажденные таким образом газы через патрубок, расположенный в верхней крышке, эвакуируются в систему организованного газоотсоса. Верхняя крышка контейнера

выполнена конической, что значительно сокращает аэродинамическое сопротивление газоотводящего патрубка [6] и энергозатраты на эвакуацию газов за счет использования их давления. При этом необходимое разрежение в контейнере, регулируемое с помощью шиберов в газоотводящем патрубке, создается за счет разрежения в системе организованного газоотсоса. По оценочным данным, эффективность сбора и эвакуации газов из контейнера составляет 97–99 %, что в пересчете на удельные выбросы составляет 0,03–0,05 кг HF/т Al.

В целях снижения потерь тепла в окружающую среду стенки контейнера оборудованы теплоизоляцией. Перфорированная подина, разделяющая нижний и верхний ярусы, может оборудоваться теплоэлектронагревателями, обеспечивающими, при необходимости, дополнительный нагрев анода до температуры 400–800 °С. Ограничение этой величины обусловлено свойствами металла, из которого изготовлен контейнер и ее превышение может привести к необратимым деформациям стенок шкафа [7].

Результаты и выводы

Внедрение двухъярусных контейнеров охлаждения огарков обеспечит:

- расширение его функционального назначения;
- повышение эффективности улавливания выделяющихся от огарка газов до 97–99 %;
- снижение фоновых выбросов фтористого водорода и сернистого ангидрида, в сравнении с использованием одноярусного контейнера, соответственно на 0,098 и 0,024 кг/т Al. В масштабах Саяногорского алюминиевого завода это составит порядка 60 т/год фтористого водорода и около 15 т/год сернистого ангидрида;
- предварительный нагрев обожженного анода до 140–160 °С теплом, утилизируемым от охлаждаемого анодного огарка;
- более быстрое достижение равномерности токораспределения в анодах при их замене;
- сокращение расхода электроэнергии на производство 1 тонны алюминия в среднем на 20–25 кВт;
- сокращение расхода анода в среднем на 10–15 кг/т Al;
- увеличение производительности электролизера на 4–7 кг/сутки
- снижение аэродинамического сопротивления газоотводящей сети и объема газов, эвакуируемых из контейнера;
- снижение риска растрескивания анода при его установке в электролизер в результате термошока;
- минимизация риска выброса из электролизера расплавленного электролита в момент установки холодного анода;
- сокращение объема газов, эвакуируемых из контейнера.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шахрай С. Г., Коростовенко В. В., Ребрик И. И. Совершенствование системы газоотсоса от электролизеров Красноярского алюминиевого завода с целью повышения экологических показателей. – Вестник Международной академии наук экологии и безопасности жизнедеятельности. – т. 14., № 6–2009. – с. 205–211.
2. Шахрай С. Г., Коростовенко В. В., Ребрик И. И. Проблемы сбора и эвакуации газов от электролизеров Содерберга и комплексный подход к их решению. – Сб. научн. докл. первого международного конгресса «Цветные металлы – 2009». – Красноярск., 8–10 сент. 2009. С 788–796.
3. Буркат В. С., Друкарев В. А. Сокращение выбросов в атмосферу при производстве алюминия. – Санкт – Петербург, 2005, 275 с.
4. Jean – Pierre Gagne, Robin Boulianne, Jean – Francois Magnan, Marc – Andre Thibault, Gilles Dufour, Claude Gauthier. Новая конструкция крышки для анодных поддонов. – Light Metals 2006., – р. 213–217
5. Шахрай С. Г., Пингин В. В., Попов Ю. А. и др. Контейнер для герметизации анодных огарков. – Патент RU № 2385973.
6. А. С. Юрьев Справочник по расчетам гидравлических и вентиляционных систем. – Санкт – Петербург.: Мир и семья, 2001. – 1153 с.).
7. Лашинский А. А., Толчинский А. Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры. Л.: Машиностроение, 1970. – 752 с.

РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ ГОРЕЛОЧНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ДОЖИГАНИЯ АНОДНЫХ ГАЗОВ АЛЮМИНИЕВОГО ПРОИЗВОДСТВА

Ю.И. Сторожев, П.В. Поляков

ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск, Россия

Из теории горения газообразного топлива известно, что эффективность горения определяется аэродинамикой процесса и температурой горения. Температура горения зависит от исходной температуры анодного газа и воздуха, а также от соотношения их расходов. Качество смешения компонентов горения определяется способом их подвода в зону горения, применением турбулизаторов. При наличии в анодном газе смолистых веществ важным фактором полноты горения является длительность пребывания продуктов горения в зоне высоких температур. Время нахождения газов в горелке зависит от ее размеров, то есть диаметра и высоты, которые конструктивно ограничены.

Все эти требования по возможности учитываются при конструировании горелочных устройств для дожигания анодных газов электролизного производства. Важным моментом является удобство технологического обслуживания горелочных устройств, поэтому многие положения теории горения в отношении эффективности дожигания вредных компонентов анодного газа при разработке горелочных устройств выполняются не в полной мере, а иногда и полностью игнорируются.

В течение последних четырех десятилетий наиболее востребованными оказались горелки щелевого типа, которые трансформировались применительно к условиям производств. Первые горелки имели диаметр, равный 220 мм [1]. Один вариант конструкции щелевой горелки приведен на рисунке 1.



Рис. 1. Вариант конструкции щелевой горелки

По рекомендации [2] с целью увеличения длительности пребывания органических компонентов в зоне высоких температур и эффективности их обезвреживания диаметр горелки увеличен до 320 мм [3]. Однако при переходе на «сухие» аноды, сопровождавшемся уменьшением содержания СО в анодном газе с 50–60 до 30 % [4] и, соответственно, температуры горения, эффективность термического обезвреживания вредных компонентов существенно снизилась. Практика эксплуатации горелочных устройств показала, что процесс сжигания анодных газов характеризуется нестабильностью и неустойчивостью. Работа горелок и их обслуживание осложнилось применением системы АПГ, увеличивающей запыленность газового потока.

По данным [5], необходимыми условиями окисления бенз(а)пирена до нетоксичного состояния и смолистых веществ является температура выше 1000 °С и длительность выдержки их при этой температуре около 0,3 с. При температуре более 800 °С необходима экспозиция не менее 3 секунд. В реальных условиях время пребывания газов в щелевых горелках не превышает 0,2–0,4 с.

Для определения максимально возможных температур выполнены расчеты температуры факела в горелке при идеальном смешении анодного газа и воздуха в зависимости от температуры анодного газа и коэффициента расхода воздуха при наиболее вероятных значениях пирометрических коэффициентов (рис. 2).

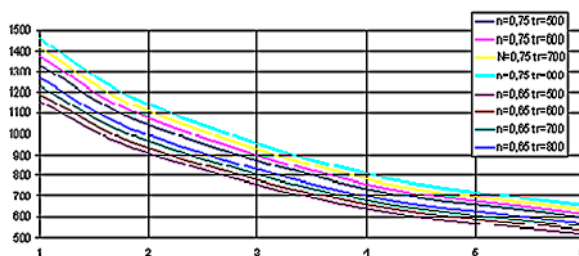


Рис. 2. Зависимость температуры факела от коэффициента расхода воздуха при содержании CO в анодном газе, равном 30 %, и температуре воздуха, равной 20 °C

Выявлено, что при коэффициенте расхода воздуха α , равном 4, имеющем место на практике, горелки работают в опасном режиме затухания, поскольку температура факела, равная 640–650 °C, близка к температуре воспламенения оксида углерода.

С учетом положений теории горения газообразного топлива, влияющих на полноту его дожигания, разработан, изготовлен и испытан в производственных условиях ряд горелочных устройств щелевого типа, имеющих высокие экологические показатели по вредным выбросам.

Для повышения температур по высоте щелевой горелки разработана конструкция теплового экрана [6]. Установка экрана на наружной поверхности щелевой горелки (рис. 3) позволила уменьшить вынос в систему организованного газоотсоса оксида углерода на 47 %, смолистых веществ – на 45 %. Горелки с экранами успешно применяются в четырех корпусах Красноярского алюминиевого завода ОК РУСАЛ. Однако опыт их эксплуатации выявил случаи разбухания корпуса из-за чрезмерного перегрева в летний период, поскольку экраны теплоизолируют наружную поверхность горелок, уменьшая конвективные и лучистые потери.

На рисунке 4 показана разработанная конструкция горелочного устройства с противоточным теплообменником [7]. Устройство включает горелку, состоящую из верхней цилиндрической 1 и нижней конической 2 частей со щелями в виде треугольников 3. Горелка приливами 4 опирается на внутреннюю поверхность чаши 5, которая установлена на приливе газосборного колокола 6. Теплообменник 7 охватывает с зазором корпус горелки и опирается внизу на чашу 5. Между конической частью корпуса горелки и чашей имеется



Рис. 3. Щелевая горелка с экраном на электролизной ванне

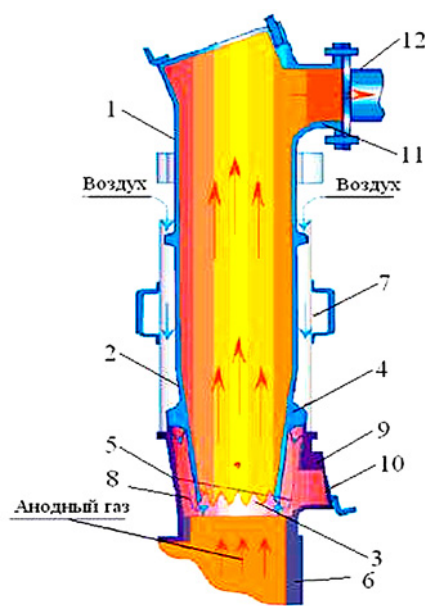


Рис. 4. Горелка с противоточным теплообменником

форкамера в виде зазора 8. В чаше предусмотрен лючок 9, закрываемый поворотной крышкой 10. Горизонтальный патрубок горелки для отвода дымовых газов 11 соединяется с системой газоотсоса 12.

Анодные газы поступают в коническую часть горелки 2. Необходимый для горения воздух поступает противотоком сверху через зазор между цилиндрической частью горелки 1 и теплообменником 7, нагревается за счет контакта с поверхностью горелки и расщепленно поступает внутрь конической части горелки 2 через щели 3. Часть нагретого воздуха перемешивается с анодным газом в форкамере, смесь воспламеняется, интенсифицируя процесс теплообмена и выгорания вредных составляющих анодного газа.

Корпус теплообменника 7 одновременно является экраном, уменьшающим теплопотери камеры горения в окружающую среду. Теплообменник представляет собой цилиндр из тонкого металла, установленный коаксиально по отношению к горелке. Между теплообменником и камерой горения создается кольцевой зазор, через который происходит поступление воздуха в камеру горения. При этом воздух нагревается до 100–200 °С. Предварительный нагрев воздуха и экранирование горелки повышают температурный уровень в камере горения, что способствует повышению эффективности термического обезвреживания вредных составляющих анодного газа.

Вследствие расположения воздушных отверстий внизу конической части горелки зона горения максимально приближена к ее основанию, что повышает стабильность работы устройства, эффективность выгорания СО и смолистых веществ. Горелка с противоточным теплообменником спроектирована с возможностью многовариантного обслуживания, что необходимо в условиях высокой запыленности газового потока при автоматическом питании ванн глиноземом.

Чистка нижней части горелки возможна через лючок, расположенный на чаше. Для осуществления этой операции убраны два зубца камеры дожигания напротив лючка чаши. Воздушный зазор между чашей и камерой дожигания можно прочистить, приподняв корпус теплообменника. Саму чашу, для удобства обслуживания горелки, можно развернуть в любую сторону, вставив ломик в отверстие лючка.

Верхнюю часть камеры дожигания можно прочистить, повернув крышку в торце камеры. Канал горизонтального отвода дымовых газов чистится, как и в обычной щелевой горелке, через лючок в газоотводящем колене. И, наконец, угловая секция чистится скребком через лючок с прямоугольной крышкой. Для всех видов чистки разработан специальный инструмент. Горелка крепится к анодному кожуху разъемным хомутом, что упрощает монтажные и демонтажные работы.

Эффективность термического обезвреживания СО в горелках с противоточным теплообменником высокая, она составляет 95,6 %, что на 8,9 % выше, чем в типовой щелевой горелке. Известно, чем эффективнее дожигаются анодные газы, тем больше накапливается твердых продуктов горения и тем быстрее зарастают горелочные устройства. Поэтому эффективно работающие горелочные устройства требуют более частой чистки.

Горелки с противоточным теплообменником установлены на всех электролизных ваннах (рис. 5) пятого корпуса Красноярского алюминиевого завода и эксплуатируются уже 5 лет. При использовании горелочных устройств с противоточным теплообменником удельные выбросы вредных веществ в систему организованного отсоса составили, кг/т Al: СО-44,3; смолистые вещества – 0,87–0,99; бенз(а)пирен – 0,0022–0,0023, что удовлетворяет требованиям OSPAR и Российского законодательства.

В данной работе рассмотрен вариант теплоизоляции потока продуктов дожигания анодных газов путем установки внутри корпуса горелки огнеупорных колец с турбулизаторами в виде выступов различной формы на внутренней поверхности (рис. 6). Вследствие высокой «термической массивности» огнеупорные кольца выполняют также функцию стабилизации процесса горения.

Теплоизолированная горелка [8] для дожигания анодных газов алюминиевого электролизера работает следующим образом. Газы, выделяющиеся в процессе электролиза, поступают через прилив газосборного колокола 3 в горелку 1, где они смешиваются с воздухом, входящим под острым углом к касательной к ее внешней поверхности через отверстия 2 прямоугольной формы с утолщенными стенками под действием разрежения, которое поддерживается в системе газопроводов 11. Расход воздуха, необходимый для полного горения анодных газов, регулируют с помощью поворотного кольца 4 с отверстиями трапециевидной формы 5, которые при повороте кольца позволяют постепенно перекрывать отверстия для подсоса воздуха, выполненные в корпусе горелки. Газовоздушный



Рис. 5. Горелочное устройство с противоточным теплообменником на электролизной ванне

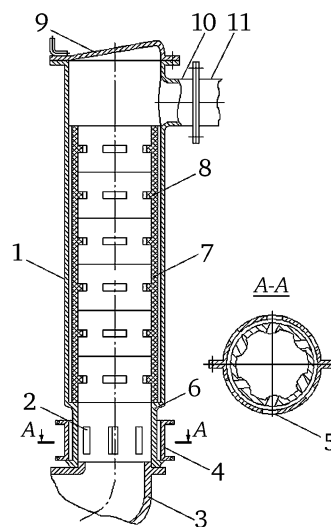


Рис. 6. Конструкция теплоизолированной горелки

поток турбулизуется на периферии выступами 8, что способствует его дополнительному перемешиванию. Вследствие теплоаккумулирующей способности огнеупорные цилиндрические кольца 7 стабилизируют процесс горения газовоздушной смеси.

Выступы огнеупорных колец позволяют активизировать процессы смешения на периферии газовоздушного потока. Расчеты показывают, что в горелке с внутренним диаметром колец, равным 240 мм, при наличии выступов шириной 20–30 мм турбулентность газовоздушного потока, характеризующаяся критерием Рейнольдса, увеличивается на 15 %. Частота турбулентных пульсаций увеличивается в 1,35 раза. Продольная составляющая пульсационной скорости [9] в пристенной области горелки с выступами на 25 % выше, чем в горелке без внутренних турбулизаторов.

Огнеупорные кольца предполагается изготавливать из керамовермикулита или мулитокремнезема с содержанием Al_2O_3 до 45 %. Изделия из этих материалов имеют плотность, равную 600 кг/м^3 , высокую термостойкость, огнеупорность до 1150°C , приемлемую механическую прочность. Эти данные дают основание полагать, что огнеупорные кольца будут иметь высокие механические, химические и термические свойства в процессе их службы в горелках. Наличие в верхней части горелки съемной крышки позволяет осуществлять чистку горелки и, в случае необходимости, замену огнеупорных колец.

Эффективность выгорания вредных компонентов анодного газа зависит от качества смешения газа и воздуха. Подвод воздуха в горелку предусмотрен под острым углом к касательной к ее внешней поверхности, при этом интенсифицируется закручивание газовоздушного потока и процесс смешения. Направленный подвод воздуха наиболее просто можно осуществить с помощью отверстий прямоугольной формы с утолщенными стенками.

Качество, то есть равномерность смешения газового и воздушного потоков, оценивали при различном направлении воздушных отверстий относительно касательной к внешней поверхности горелки путем моделирования камеры горения на «горячем» лабораторном стенде. Поток газа моделировали нагретым воздухом. Температуру газовоздушной смеси измеряли в сечении камеры с помощью тонких малоинерционных хромель-алюмелевых термопар. Наименьший перепад температур по сечению газовоздушного потока характеризовал лучшие условия смешения. Минимальный перепад температур по сечению газовоздушного потока в рассматриваемом устройстве соответствовал углу поворота воздушных отверстий относительно касательной к внешней поверхности горелки, равному $60\text{--}70^\circ$.

Моделирование механики движения газов (рис. 7) показывает активное перемешивание газовоздушного потока по всей высоте горелки при наличии турбулизаторов, например, в виде полукольцевых выступов на ее внутренней поверхности и направленного ввода воздуха через щелевые отверстия рассматриваемого устройства.

Эффективность выгорания вредных компонентов анодных газов зависит от температуры в зоне горения и по высоте горелки. Температура в зоне горения при неизменном составе и расходе анодных газов зависит от количества воздуха, поступающего в горелку. Количество подсасываемого воздуха необходимо поддерживать близким к стехиометрическому.

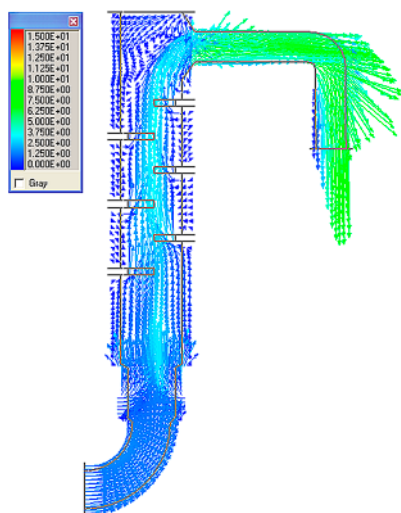


Рис. 7. Аэродинамика газовоздушного потока в теплоизолированной горелке



Рис. 8. Внешний вид теплоизолированной горелки

В рассматриваемой конструкции горелки для регулирования расхода воздуха предусмотрено поворотное кольцо с отверстиями трапециевидальной формы, устанавливаемое снаружи горелки в зоне отверстий для подсоса воздуха. Трапециевидальная форма отверстий обеспечивает плавное перекрытие отверстий в горелке при повороте кольца. Конструкция кольца апробирована на трех электролизерах опытного участка корпуса № 5 Красноярского алюминиевого завода ОК РУСАЛ.

Теплоизолированные горелки (рис. 8) изготовлены, планируется их установка и испытание на электролизной ванне одного из алюминиевых заводов.

Теплоизоляция щелевой горелки изнутри огнеупорными кольцами, интенсивное перемешивание газовоздушного потока, регулирование расхода воздуха, согласно расчетам, повышают, в сравнении с нетеплоизолированной горелкой, температуру уходящих из горелки газов, а следовательно, и в самой горелке на 100–130 °С, что при внедрении теплоизолированной горелки в производство повысит эффективность термического обезвреживания анодных газов.

В работе впервые представлено горелочное устройство для дожигания анодного газа с деформируемыми стенками (рис. 9). Устройство содержит горелку с отверстиями для подсоса воздуха, закрываемыми заслонками, позволяющими регулировать его расход. Горелка состоит из нижней камеры смешения и воспламенения, выполненной из чугуна, средней камеры дожигания, изолированной огнеупорной тканью или деформируемым

листовым огнеупорным материалом, верхней камеры сбора и удаления дымовых газов, выполненной из чугуна, крепежных колец. Для отвода дымовых газов в верхней части горелочного устройства установлен горизонтальный патрубок, соединяющийся с системой газоходов. Конструкция устройства обеспечивает полное выгорание СО и, в сравнении с типовыми щелевыми горелками, повышает эффективность термического обезвреживания бенз(а)пирена на 0,9–1,9%.

Результаты моделирования аэродинамики газовоздушных потоков (рис. 10а) показывают сжатие эпюры скоростей при наличии пережима камеры дожигания, что способствует качественному

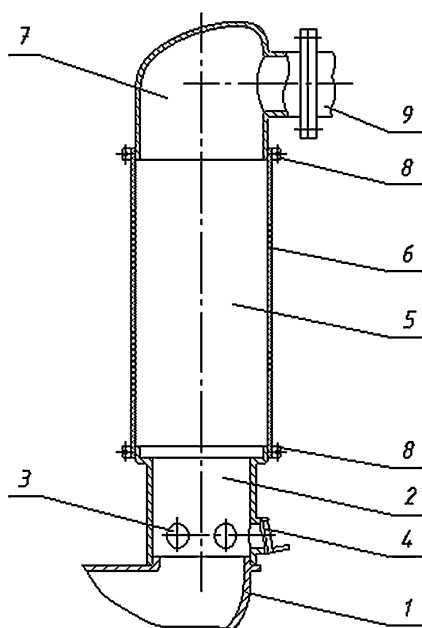


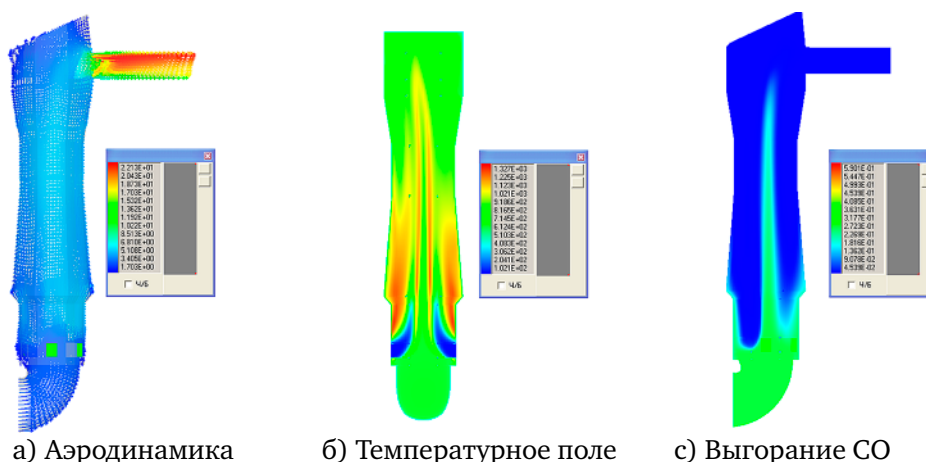
Рис. 9. Конструкция горелки с деформируемыми стенками: 1 – прилив угловой секции; 2 – камера смешения и воспламенения; 3 – воздушные отверстия; 4 – заслонка; 5 – камера дожигания; 6 – деформируемая стенка; 7 – камера удаления продуктов горения; 8 – крепежные кольца; 9 – система газоотсоса

перемешиванию газозвдушного потока. Зона горения характеризуется симметричным факелом, перекрывающим практически все сечение горелки (рис. 10 б) преимущественно до пережима в ее средней части. На рис. 10 с видно снижение концентрации оксида углерода СО по высоте горелки вследствие его полного выгорания, обеспеченное снижением теплопотерь средней части горелки и улучшением качества перемешивания газозвдушной смеси в горелке.

При диаметре горелки, равном 325 мм, и длине средней камеры дожигания, составляющей 59% от общей высоты горелки, вес горелки с деформируемыми стенками уменьшился в сравнении с щелевой горелкой практически в 2 раза, вследствие чего, при необходимости, может устанавливаться на продольной стороне анода.

По сравнению с обычной щелевой горелкой интегральная температура газов по сечению горелки в рассмотренном диапазоне коэффициентов расхода воздуха $\alpha = 2-4$ повышается на 50–135 °С.

Таким образом, рассматриваемое устройство для дожигания анодных газов алюминиевого электролизера обеспечивает высокую эффективность термического обезвреживания вредных составляющих анодных газов и снижение его массивности.



а) Аэродинамика б) Температурное поле в) Выгорание СО
Рис. 10. Моделирование горелочного устройства с деформируемыми стенками

ЛИТЕРАТУРА

1. А.С. 378526 СССР. Устройство для сжигания газов алюминиевого электролизера/ Попченков И. Н., Зайцев В. Н., Хомяков В. С. и др.; заявл. 23.11.1971; опубл. 18.04.1973.
2. Отчет о НИР «Разработка методики моделирования горелочных устройств алюминиевого электролизера и совершенствование их конструкции». КИЦМ, Красноярск, 1993. 127 с. Рук. Журавлев Ю. А., Сторожев Ю. И.
3. Пат. 2149224 РФ. Устройство для сжигания анодных газов алюминиевого электролизера/Баранцев А. Г., Тихомиров В. Н., Цымбалов С. Д., Матвиенко В. А. и др.; заявл. 28.01.1999; опубл. 20.05.2000.
4. Необъявляющий П. А., Дектерев А. А., Гаврилов А. А., Сторожев Ю. И. Расчетноэкспериментальное исследование горелочного устройства по дожиганию анодного газа. //Теплофизика и аэромеханика. –2007. – Т. 14, № 1. – С. 151–160.
5. Отчет о НИР «Исследование состава и канцерогенности смолистых веществ анодных газов с целью их полного обезвреживания». ИГУ, Иркутск, 1973. 40 с. Рук. Туренко Ф. П.
6. Пат. 2312939 РФ. Устройство для сжигания анодных газов алюминиевого электролизера/Сторожев Ю. И., Куликов Б. П., Нагрелли Э. Р., Исаева Я. И.; заявл. 01.31.2006; опубл. 12.20.2007.
7. Куликов Б. П., Сторожев Ю. И., Фризоргер В. К., Ткаченко Д. В., Дектерев А. А. Термическое обезвреживание анодных газов в горелочных устройствах алюминиевых электролизеров. //Цветные металлы.-2008.- № 4.- С. 51–55.
8. Пат. 2345178 РФ. Устройство для дожигания анодных газов алюминиевого электролизера/Сторожев Ю. И., Поляков П. В., Кирко В. И., Горюнов М. В.; заявл. 26.03.2007; опубл. 27.01.2009.
9. Медников Е. П. Турбулентный перенос и осаждение аэрозолей. М.: Энергия, 1980. 176 с.

ГИДРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДОВ ГАЗООЧИСТКИ МЕДНО-НИКЕЛЕВОГО ПРОИЗВОДСТВА

А.Г. Касиков¹, Н.С. Арешина¹, И.Э. Мальц²

¹ Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья
им И.В. Тананаева КНЦ РАН, г. Апатиты, Россия

² ОАО «Кольская ГМК», г. Мончегорск, Россия

Улавливание и очистка пылегазовых потоков в технологии медно-никелевого сырья на комбинате «Североникель» ОАО «Кольская ГМК» приводит к образованию промпродуктов и отходов, недостаточно эффективная переработка которых имеет ряд негативных последствий: воздействие на окружающую среду, потери ценных компонентов минерального сырья, а также возможные нарушения при ведении процессов основной технологии.

В результате пирометаллургической переработки медного сырья на комбинате образуется нескольких видов медьсодержащих пылей, которые с целью утилизации направляются в голову процесса. В случае наиболее мелкодисперсной пыли, которая улавливается электрофилтрами, такая схема утилизации не является оптимальной, так как ведет к потере ценных элементов и загрязнению атмосферы тяжелыми металлами. Загрязнение окружающей среды и потери металлов происходят также при вывозе в отвал для нейтрализации сильноокислых газоходных пульп и избыточных объемов промывной серной кислоты мокрой очистки газов, содержащих, помимо сульфат-иона, тяжелые металлы, осмий, рений и селен. Последний, кроме того, концентрируется в шламах серноокислотного отделения, однако реализация первичного селенового концентрата является весьма проблематичной в связи с нестабильным химическим составом шламов и наличия в нем благородных металлов. Усовершенствование и разработка новых процессов переработки промпродуктов и отходов газоочистки позволит не только снизить экологическую нагрузку на окружающую среду, но и обеспечит повышение комплексности использования полиметаллического медно-никелевого сырья.

В экспериментах использовали пыли медного производства, растворы промывной серной кислоты, сильноокислые газоходные конденсаты комбината «Североникель», а также селеновые шламы системы пылегазоочистки комбинатов «Североникель» и «Печенганикель» ОАО «Кольская ГМК», составы которых представлены в таблицах 1–3.

Таблица 1

Содержание элементов в пылях отражательной плавки (ОП) и пылях конвертирования медных штейнов (КВК) комбината «Североникель»

Вид пыли	Содержание элементов, масс. %						
	Cu _{общ}	Cu _(в. ч.)	Ni	Fe	Zn	Pb	Ag
КВК	21,1–31,7	18,6–24,6	0,40–0,70	1,5–4,5	0,33–0,50	0,41–0,58	0,009–0,012
ОП	44,0–52,0	11,0–21,4	2,8–3,0	3,0–4,0	0,01–0,02	0,03–0,09	0,013–0,017

Таблица 2

Содержание элементов в селеновых шламах системы пылегазоочистки комбинатов «Североникель» (СН) и «Печенганикель» (ПН)

Вид шлама	Содержание элементов, масс. %						
	Se	Cu	Ni	Fe	Pb	Te	Ag
СН	46,0	0,90	16,0	1,00	0,17	0,38	0,22
ПН	12,5	0,90	8,5	3,75	25,6	1,25	0,65

Таблица 3

Усредненный химический состав растворов промывной кислоты (ПК) и жидкой фазы пульпы газоходных конденсатов (СК)

Вид раствора	Содержание, г/л					
	H ₂ SO ₄	Cu	Ni	Fe	Se	Cl ⁻
ПК медного производства	296	14,8	6,0	3,1	4,1·10 ⁻³	15,1
ПК никелевого производства	406	1,1	1,7	0,6	15,1·10 ⁻³	0,9
ПК «смешанная»	420	6,8	12,0	4,0	5,6·10 ⁻³	1,0
СК дымососов	1590	3,2	0,28	0,44	4,6·10 ⁻³	н/опр
СК газохода	1313	0,48	1,92	0,36	24,0·10 ⁻³	0,01
СК камеры смешивания газов	1026	0,65	2,7	1,0	33,0·10 ⁻³	0,3

Для изучения основных закономерностей процессов выщелачивания, сорбции, экстракции и осаждения применяли модельные растворы заданного состава.

Содержания элементов в растворах и твердофазных промпродуктах определяли с использованием атомно-эмиссионного, атомно-абсорбционного, масс-спектрометрического методов анализа, для идентификации фазового состава продуктов применяли рентгенофазовый и минералогический анализ.

Гидрометаллургическая переработка тонких пылей медного производства

В настоящее время известен целый ряд работ по гидрометаллургической переработке пылей, обеспечивающей комплексное использование сырья [1–4]. Однако, учитывая, что фазовый и химический состав пылей от переработки медьсодержащего сырья весьма разнообразен, разработанные ранее схемы не могут быть универсальными.

Как показало опробование, фазовый состав пылей КВК характеризуется наличием значительного количества водорастворимых сульфатов меди, никеля и железа. Пыли ОП отличаются от первых повышенным содержанием меди, водорастворимая часть (в. ч.) которой, однако, не превышает 20–40 %. Содержание примесных элементов не является достаточным для рентабельного получения индивидуальной товарной продукции и, учитывая, что содержание технологически вредных примесей в пылях невелико (Se < 0,09 масс. %, As < 0,06 масс. %), наиболее экономически оправданной является переработка, обеспечивающая получение медной продукции в схеме основного производства катодной меди.

Учитывая фазовый состав пылей конвертирования медных штейнов, для перевода меди в раствор проводили водное выщелачивание при механическом перемешивании в заданном температурном режиме и соотношении твердой и жидкой фаз (Т:Ж) = 1:(3–4), которое рассчитывалось исходя из условий исключения образования кристаллов сульфата меди при выщелачивании и фильтровании. Это позволило обеспечить глубокое извлечение меди в раствор, причем выход нерастворимого остатка, в зависимости от вида пылей, составил от 1,4 до 2,1 % (табл. 4).

Растворы, полученные в результате выщелачивания, кроме представленных в таблице 4 элементов, содержали, в г/л: Zn 0,009–0,015; As 0,015–0,026; Pb 0,005–0,008; Ag 0,003–0,005; Se 0,0025–0,0028; а также 30–50 г/л H₂SO₄. Таким образом, по содержанию никеля и микропримесей состав растворов находится в допустимых пределах для переработки их методом электроэкстракции. Однако наличие значительного количества железа (до 15 г/л) негативно влияет на технико-экономические показатели процесса, в связи с чем для отделения основного количества меди от железа предложено проводить осаждение меди в виде медного купороса с последующим растворением соли в серноуксусном растворе.

Таблица 4

Водное выщелачивание конвертерных пылей (t=70 °C, τ=1 час, Т:Ж=1:3)

Вид пыли	Т:Ж	Содержание в фильтрате, г/л			Извлечение в раствор, %			Выход остатка, %
		Cu	Ni	Fe	Cu	Ni	Fe	
Форкамера	1:4	79,09	1,67	3,68	99,8	95,2	98,2	2,1
I поле	1:3	86,91	1,97	6,92	99,9	98,6	98,9	1,4
II поле	1:3	83,92	1,68	8,97	99,9	96,7	99,7	1,8
III поле	1:3	72,59	1,32	14,93	99,9	99,0	99,5	1,7
IV поле	1:3	70,26	1,31	13,97	99,9	98,4	99,8	1,9

Установлено, что упаривание следует вести до плотности раствора не более $1,32 \text{ г/см}^3$ ($T = 90 \pm 5^\circ\text{C}$), с последующим охлаждением до температуры $10\text{--}12^\circ\text{C}$, что позволяет получить достаточно чистую соль, содержащую $23,0\text{--}24,5\%$ меди при ее выходе $0,26\text{--}0,30 \text{ кг/л}$ раствора.

В ходе укрупненных лабораторных испытаний из смеси пылей конвертирования была получена партия медного купороса, содержащего, масс. %: Cu – 24,3; Ni – 0,005; Fe – 0,56. Несмотря на повышенное содержание железа в продукте, соотношение Cu:Fe является достаточным для получения электролита для электроэкстракции меди с обеспечением высокого выхода по току.

Полученный из пылей технический купорос, как показали исследования, является также эффективным активатором флотации сульфидных медно-никелевых руд [5] и пригоден к использованию взамен чистого сульфата меди и «кислого» купороса, получаемого в настоящее время из отсечных электролитов медного производства [6].

Маточный раствор после отделения медного купороса в условиях действующего производства может быть направлен на вторую стадию обезмеживания медных электролитов с получением меди «регенерации» или дополнительно переработан с целью доизвлечения меди экстракционным способом с использованием экстрагента Acorga M5640 [7].

Водная обработка смеси пылей ОП при температуре 70°C в течение 1 часа позволила извлечь в раствор только 32% меди, в то время как при обработке растворами $100\text{--}150 \text{ г/л}$ H_2SO_4 извлечение повысилось до 65% . С целью исключения образования кристаллов в сернокислом растворе, соотношение Т:Ж при переработке пылей отражательной плавки поддерживали на уровне 1:5. Как показали укрупненные лабораторные испытания, несмотря на недостаточно высокую степень извлечения меди (табл. 5), получение достаточно богатого по меди фильтрата позволяет перерабатывать и использовать по схеме, аналогичной переработке пылей KBK.

Таблица 5

Выщелачивание пылей ОП сернокислым раствором
($\tau=1 \text{ час}$, $t=70^\circ\text{C}$, Т:Ж=1:5, $\text{CH}_2\text{SO}_4=100 \text{ г/л}$)

№ опыта	Содержание в фильтрате, г/л				Извлечение в раствор, %			Выход твердой фазы, %
	Cu	Ni	Fe	H_2SO_4	Cu	Ni	Fe	
1	64,0	2,4	5,5	25,1	48,2	32,3	60,8	31,30
2	65,0	2,9	5,7	32,7	48,9	25,0	62,0	35,79
3	64,0	2,5	5,2	29,3	48,2	17,5	55,9	35,60

При условиях упаривания и кристаллизации, обеспечивающих оптимальное соотношение между качеством соли и ее выходом, содержание меди в полученной соли составляло $19,1\text{--}24,0$ масс. %, а выход CuSO_4 – до $0,25 \text{ кг/л}$ раствора. Как и при переработке пылей KBK, соотношение Cu:Fe в купоросе превысило сорок единиц, что позволило получить при растворении электролит, пригодный для производства высококачественной меди в процессе электроэкстракции. Маточные растворы после очистки от цинка могут быть направлены в никелевое производство комбината «Североникель».

Остатки выщелачивания пылей KBK в значительной степени обогащены свинцом (до 33%) и серебром (до 1%) по отношению к исходному продукту, в то время как остатки выщелачивания пылей ОП более, чем на 60% состоят из меди, а содержание свинца и серебра в них значительно ниже. В пылях KBK свинец присутствует в виде PbSO_4 , а медь – преимущественно в составе борнита и халькозина. Для отделения серебра от сульфата свинца, вероятно, можно рекомендовать флотационный способ, испытанный ранее на остатках выщелачивания медных пылей кислородно-факельной плавки [2]. Основные составляющие остатка выщелачивания пылей ОП – трудновскрываемые сульфидные соединения меди, в связи с чем наиболее рационально направлять эти остатки в оборот на пиromеталлургическую переработку.

Организация гидрометаллургической переработки тонких медьсодержащих пылей позволит не только исключить негативные последствия их оборота, но и сократить техногенное рассеяние серебра и потери меди в технологии, обеспечив при этом получение высококачественного катодного металла [8, 9].

Химическое обогащение селеновых шламов пылегазоочистки комбинатов «Североникель» и «Печенганикель» и определение возможностей получения чистой селеновой продукции

Как показало опробование, содержание элементов и фазовый состав шламов пылегазоочистки на предприятиях ОАО «Кольская ГМК» может колебаться в широких пределах (табл. 2), что сказывается на выборе вариантов их дальнейшей переработки. В зависимости от химического состава шламов их предварительное обогащение с целью удаления примесей цветных может быть проведено выщелачиванием с использованием соответствующего реагента, что позволяет значительно повысить содержание селена в продукте. Исследование влияния отношения Т:Ж, продолжительности и температуры процесса позволило определить оптимальные условия выщелачивания (табл. 6). Показано, что определяющую роль в выборе реагента предварительного обогащения имеют процентное содержание водорастворимых примесей и сульфида свинца: водная обработка шламов комбината «Североникель» и обработка раствором NaCl шламов комбината «Североникель» позволила повысить содержание селена в продукте в 1,6 и 2 раза соответственно.

Таблица 6

Предварительное обогащение селеновых шламов
(Т:Ж=1:20, t=80±5 °С, τ=1 час)

	Вид продукта	Содержание элементов, %				
		Se	Cu	Ni	Fe	Pb
СН	После обработки H ₂ O	72,0	0,60	15,0	0,40	0,23
	После обработки H ₂ SO ₄	73,0	0,55	14,0	0,50	0,25
	После обработки NaCl	71,0	0,58	15,0	0,45	<0,1
ПН	После обработки H ₂ O	12,5	0,78	7,7	3,40	28,0
	После обработки H ₂ SO ₄	14,0	0,45	6,8	2,20	29,0
	После обработки NaCl	25,0	0,95	14,7	5,8	0,25

Так как полученный в результате предварительного обогащения концентрат не является товарным, в работе была проверена возможность применения метода жидкостной экстракции для получения чистого селенового продукта. Вскрытие предварительно обогащенных селеновых концентратов растворами H₂SO₄ и HCl в присутствии окислителя (H₂O₂) позволило при различных соотношениях твердой и жидкой фаз извлечь в раствор до 99,0% селена, при этом наиболее эффективно оказалось использование концентрированной соляной кислоты. Однако эксперименты показали, что, вопреки литературным данным [10] экстракция смесями, содержащими третичный амин и октанол-1, при данных условиях неэффективна (табл. 7).

Таблица 7

Выщелачивание селена (Т:Ж=1:20, t=80±5 °С, τ=3 часа) и экстракция из раствора смесью, содержащей 30% ТАА, октанол-2 и разбавитель
(О:В=1:5, τ=15 мин)

	Реакционная смесь	Выщелачивание		Экстракция
		содержание в растворе, г/л	извлечение в раствор, %	извлечение в о.ф., %
СН	9М HCl + 3М H ₂ SO ₄ , H ₂ O ₂	34,8	89,1	8,3
	3М HCl + 6М H ₂ SO ₄ , H ₂ O ₂	17,2	43,6	5,1
	9М HCl	36,0	89,8	11,2
ПН	9М HCl + 3М H ₂ SO ₄ , H ₂ O ₂	5,1	81,6	4,2
	3М HCl + 6М H ₂ SO ₄ , H ₂ O ₂	3,6	44,8	8,3
	9М HCl	8,7	99,1	11,7

Несоответствие полученных данных литературным объясняется, вероятно, наличием в растворах выщелачивания в присутствии окислителя одновременно Se(IV) и Se(VI), а также высокой концентрацией элемента в растворе. Наблюдалась также экстракция

свинца (до 50 %) и некоторых других примесей, что препятствует получению чистого селенового продукта данным методом. В настоящее время проводятся исследования по переработке кислых растворов выщелачивания с целью получения чистой селеновой продукции с использованием методов осаждения.

Комплексная утилизация растворов промывной кислоты и газоходных пульп

С целью усовершенствования сорбционного процесса очистки растворов промывной кислоты сернокислотного отделения комбината «Североникель» исследована сорбция цинка и осмия пористыми и гелевыми анионитами производства фирмы «Purolite»: A 100/2412, A 500/4994, A 501P, A 510, A 530, PFA 460/4783, PFA 600/4740. Изучена кинетика процессов в статических условиях в зависимости от температуры, содержания Cl^- , кислотности и солевого фона растворов. Установлено, что высокое извлечение цинка (до 99 %) достигается с применением гелевых высокоосновных анионитов PFA 460/4783 и PFA 600/4740 при содержании Cl^- в растворах 18–36 г/л и концентрации серной кислоты до 400 г/л. Повышение концентрации примесей цветных металлов в растворе несколько ухудшает показатели сорбции цинка. При этом рост концентрации серной кислоты в растворе, не содержащем Cl^- способствует повышению степени извлечения цинка, в то время как в присутствии Cl^- высокая степень извлечения цинка достигается в широком диапазоне концентраций H_2SO_4 .

Учитывая, что в действующем производстве на цинкоочистку направляются разубоженные, усредненные по составу растворы, аниониты PFA 460/4783 и PFA 600/4740 могут быть рекомендованы к промышленному использованию для цинкоочистки некондиционных сернокислых растворов медно-никелевого производства с их предварительной корректировкой по содержанию Cl^- -иона (табл. 8).

Установлено также, что аниониты PFA 460/4783 и PFA 600/4740 способны извлекать до 80–90 % осмия из хлоридсодержащих растворов промывной серной кислоты в широком диапазоне концентраций H_2SO_4 и примесей цветных металлов. В элюатах осмий не обнаружен, в связи с чем очевидна возможность образования кондиционных осмиевых концентратов в случае длительного периодического использования смолы для цинкоочистки растворов. Рений из сернокислых растворов селективно может быть выделен сорбцией на угольных волокнах [11].

Таблица 8

Результаты укрупненных лабораторных испытаний сорбции цинка из растворов промывной серной кислоты комбината «Североникель» с корректировкой содержания Cl^- (Т:Ж=1:5, $t=25 \pm 1^\circ\text{C}$, $\text{CCl}^-=36$ г/л)

Раствор	Извлечение цинка, %					
	PFA 600/4740			PFA 460/4783		
	1 час	3 час	5 час	1 час	3 час	5 час
ПК медного производства ($\text{CH}_2\text{SO}_4 = 406,0$ г/л)	93,1	96,2	97,8	95,6	97,0	96,9
ПК «смешанная» ($\text{CH}_2\text{SO}_4 = 642,2$ г/л)	86,7	92,8	96,2	91,9	94,7	96,2

С целью обеспечения более комплексного использования растворов промывной кислоты, а также эффективной переработки сильноокислых газоходных конденсатов в ИХ-ТРЭМС КНИЦ РАН разработаны несколько технологических схем с применением метода экстракции. В зависимости от потребностей предприятия применение той или иной схемы может обеспечивать получение технической серной кислоты, концентрирование и извлечение осмия и рения, а также использование очищенных растворов в основной технологии получения катодных металлов [12, 13].

Дополнительные исследования показали, что разработанная ранее схема экстракционной переработки растворов ПК с получением технической серной кислоты может быть адаптирована для совместной переработки растворов ПК и сильноокислых конденсатов [14]. Во избежание превышения допустимого содержания селена в технологических растворах основного производства, важной задачей является эффективное выделение этого элемента из некондиционных растворов и пульп, как одной из наиболее вредных технологических примесей.

Извлечение селена из объединенных растворов промывной кислоты и конденсатов проводили в две стадии: предварительное осаждение после смешивания и корректировки концентрации H_2SO_4 , которая необходима для повышения степени извлечения селена в твердую фазу и последующая глубокая очистка растворов методом цементации на медь-содержащем реагенте с использованием цементной меди комбината «Североникель» или медной стружки.

На первой стадии при разбавлении до концентрации H_2SO_4 100–600 г/л получены первичные концентраты, содержащие 40–45 % Se в форме элементарного, а цементационная очистка растворов в лабораторных условиях при $\text{CH}_2\text{SO}_4 = 100\text{--}600$ г/л и температуре 60–70 °С позволила осадить селен в осадках, содержащих 30,2–32,0 % этого элемента преимущественно в форме селенида меди (I). При этом максимальное содержание Cu_2Se (до 90 %) отмечено в наиболее мелких фракциях, а остаточная концентрация селена в растворе не превышала 0,1–0,2 мг/л.

Следует отметить, что цементационная очистка растворов обеспечивает также удаление 30–90 % Cl^- -иона путем его осаждения в виде хлорида Cu (I). Это особенно важно в случае экстракции серной кислоты из промывных растворов медного производства, так как повышенные содержания Cl^- -иона способствуют созэкстракции цветных металлов с серной кислотой.

Промышленные испытания процесса цементационной очистки растворов промывной кислоты и газоходных конденсатов с использованием для корректировки CH_2SO_4 водных конденсатов, образующихся на предприятии, подтвердили возможность глубокой очистки растворов от селена (табл. 9) и получения первичных селеновых концентратов.

Таблица 9

Результаты промышленных испытаний процесса цементационной очистки некондиционных сернокислых растворов ($t=50\text{--}70$ °С, $\tau=13$ час)

Исходный раствор	Содержание в исходном растворе, г/л			Содержание в фильтрате, г/л	
	H_2SO_4	Cl^-	Se	Cl^-	Se
ПК	181	0,66	$2 \cdot 10^{-3}$	0,2	$0,1 \cdot 10^{-3}$
ПК + СК дымососов	468	1,1	$22 \cdot 10^{-3}$	0,09	$0,33 \cdot 10^{-3}$
ПК + СК дымососов	342	1,0	3,7	0,1	$0,1 \cdot 10^{-3}$

Изучение распределения Os и Re при переработке объединенных растворов промывной кислоты и конденсатов по экстракционной технологии показало, что Re (VII) преимущественно концентрируется в органической фазе согласно основным закономерностям, полученным ранее для сернокислых растворов [15]. Осмий, содержащийся в растворах в виде различных комплексных соединений, в значительной степени рассеивается по продуктам технологии: при исходном содержании в жидкой и твердой фазе пульпы конденсатов до 30 мг/л, селеновые концентраты первой стадии очистки содержали 0,13–1,0 % осмия, а содержание в фильтрате составляло 1–3 мг/л.

Кроме того, извлечение осмия из газоходных конденсатов в цикле «экстракция-реэкстракция H_2SO_4 » ниже, чем из промывной кислоты. В зависимости от концентрации Cl^- иона, содержание хорошо экстрагируемых хлоридных аквагидроксикомплексов Os (IV) в ПК достигает 60 %, а степень извлечения из газоходных конденсатов не превышала 10–12 %. Это обусловлено присутствием осмия элемента в растворе преимущественно в виде инертных сульфитоккомплексов Os (VI) – наиболее вероятных форм в восстановительной среде при высоком содержании H_2SO_4 и низких концентрациях Cl^- -иона. Таким образом, в зависимости от постановки технологической задачи, для избирательного извлечения осмия может быть предпочтительнее применение способа, основанного на окислении осмия до Os (VIII) и экстракции по одному из способов [13, 16].

Однако, учитывая соотношение объемов промывной кислоты и конденсатов, а также то, что вывод экстрагента на извлечение осмия и рения определяется его насыщением по суммарному содержанию этих элементов до 1 г/л, схема с регенерацией серной кислоты наиболее адаптирована к действующему производству, так как обеспечивает попутное малозатратное концентрирование редких элементов, а также использование продуктов утилизации в основном технологическом цикле.

Следует отметить, что предварительно очищенные от селена некондиционные растворы газоочистки, кроме их переработки экстракционным способом, могут быть использованы взамен товарной серной кислоты в качестве реагента выщелачивания пылей отражательной плавки, а также в технологических циклах электрорафинирования и электроэкстракции меди.

Таким образом, проведенные исследования позволили предложить ряд эффективных гидрометаллургических способов утилизации промпродуктов и отходов газоочистки ОАО «Кольская ГМК», внедрение которых позволит повысить комплексность переработки медно-никелевого сырья и уменьшить загрязнение окружающей среды.

Исследования проводились при частичной поддержке программы ОХНМ-5.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карелов С.В., Мамяченков С.В., Набойченко С.С. и др. Комплексная переработка цинк- и свинецсодержащих пылей предприятий цветной металлургии. М.: ЦНИИцветмет экономики и информации. – 1996. – 41 с.
2. Богачева Л.М., Исмаилов Х.Р. Гидрометаллургическая переработка медьсодержащих материалов. Ташкент: Издательство «ФАН» Узбекской ССР. – 1989. – 116 с.
3. Антипов Н.И., Маслов В.И., Литвинов В.П. Комбинированная схема переработки тонких конвертерных пылей медеплавильного производства // Цветные металлы. – № 12. – 1983. – С. 18–21.
4. Абишева З.С., Загородняя А.Н., Шарипова А.С., Букуров Т.Н. Гидрометаллургическая переработка пылей медного производства // Цветные металлы. – 2004. – № 1. – С. 30–35.
5. Блатов И.А., Хомченко О.А., Максимов В.И., Касиков А.Г. Получение активатора флотации из пылей медно-никелевого производства комбината «Североникель» // Цветные металлы. – 1997. – № 6. – С. 16–20.
6. Касиков А.Г., Мальц И.Э. Извлечение меди из электролитов комбината «Североникель» кристаллизацией купороса CuSO_4 // Инновационный потенциал Кольской науки. Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН. – 2005. – С. 233–237.
7. Касиков А.Г., Арешина Н.С., Мальц И.Э. Гидрометаллургическая переработка тонких пылей медно-никелевого производства ОАО «Кольская ГМК» // Химическая технология. – № 2. – С. 110–117.
8. Патент № 2346065, Россия // Касиков А.Г., Арешина Н.С., Мальц И.Э. Способ переработки пыли медного производства. – Оpubл. 10.02.2009.
9. Патент № 2348714, Россия // Касиков А.Г., Арешина Н.С., Багрова Е.Г. Способ извлечения меди из сульфатсодержащей пыли медного производства. – Оpubл. 10.03.2009.
10. И.И. Назаренко, А.Н. Ермаков. Аналитическая химия селена и теллура. – М., Наука – 1971–251 с.
11. Вяткина Т.В., Иванова М.А., Касиков А.Г., Елизарова И.Р. Использование угольных волокон для извлечения рения из серноокислых растворов // Сборник материалов научной конференции «Научно-практические проблемы в области химии и химических технологий». – Апатиты. – 2009. – С. 37–41.
12. Касиков А.Г., Арешина Н.С., Кудряков М.В., Хомченко О.А. Комплексная переработка промывной серной кислоты медно-никелевого производства экстракционным способом // Химическая технология. – 2004. – № 6. – С. 25–31.
13. Патент № 2291840, Россия // Касиков А.Г., Арешина Н.С., Петрова А.М. Способ извлечения Os и Re из промывной серной кислоты. – Оpubл. 20.01.2007, БИ № 2.
14. Арешина Н.С., Касиков А.Г., Мальц И.Э., Кузнецов В.Я. Утилизация некондиционных серноокислых растворов и пульп газоочистки комбината «Североникель» ОАО «Кольская ГМК» // Цветная металлургия – № 8–2008 – С. 32–38.
15. Касиков А.Г., Петрова А.М. Влияние концентрации серной кислоты на экстракцию рения (VII) третичными аминами // Цветные металлы. – 2008. – № 1 – С. 69–71.
16. Торгов В.Г., Шульман Р.С., Марочкина Л.Я. и др. Экстракция тетраоксида осмия алифатическими, ароматическими и непредельными углеводородами // Тезисы доклада на XIII Всесоюзное Черняевское совещание по химии, анализу и технологии платиновых металлов – Т. 1. – Свердловск. – 1986. – С. 28.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФИЛЬТРОВАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОЧИСТКЕ ГАЗОВ И ФИЛЬТРАЦИИ РАСТВОРОВ

Л.А. Филянова, Н.М. Сухова

ДГП «Восточный научно-исследовательский горно-металлургический
институт цветных металлов»

РГП «Национальный центр по комплексной переработке
минерального сырья Республики Казахстан»,
г. Усть-Каменогорск, Республика Казахстан

В металлургической промышленности Республики Казахстан при производстве цветных металлов для улавливания пыли из газов, а также очистки пульпы и растворов от твердых составляющих используются различные типы фильтровальных материалов. В последнее время на предприятиях цветной металлургии изменился состав исходного сырья, проведена замена и модернизация ряда оборудования, используемого на этих переделах, что привело к изменению физических характеристик образующихся пыли и твердых составляющих в пульпах и растворах. Зачастую новое оборудование изготовлено в странах дальнего зарубежья, которое комплектуется фильтровальными материалами своего изготовления и по истечении срока эксплуатации предприятия цветной металлургии РК вынуждены приобретать их в этих же странах. Необходимо отметить, что затраты на приобретение фильтровальных материалов всегда составляли значительную часть в общих затратах по обслуживанию оборудования. В то же время ранее выпускаемые в Казахстане и России фильтровальные материалы зачастую не могут обеспечить необходимой степени очистки газов и растворов, их скорости фильтрации, срока эксплуатации и т.д. Предприятия текстильной промышленности стран СНГ заинтересованы в производстве новых фильтровальных материалов, при использовании которых обеспечивались бы регламентируемые показатели, но сами они не в состоянии провести необходимый объем исследований по разработке и адаптированию своих материалов.

ДГП «ВНИИцветмет» в течение ряда лет выполняет работы по изучению влияния различных факторов на степень очистки газов от пыли, а также растворов и пульпы от твердого с использованием фильтровальных материалов, что позволило накопить значительный опыт в их подборе. К этим факторам следует отнести физико-химические параметры фильтруемых сред, конструктивные особенности фильтровальных аппаратов, физико-механические характеристики фильтровального материала и химические свойства используемого для его изготовления волокна. Все это в совокупности определяет характер образующегося пылевого слоя при очистке газов и твердого при фильтрации пульпы, оказывая значительное влияние на эффективность применения того или иного фильтровального материала. В настоящее время проведен ряд работ совместно с предприятиями текстильной промышленности стран СНГ, а также Германии по подработке структуры и подбору усовершенствованных фильтровальных материалов, как для очистки газов, так растворов и пульпы.

К наиболее значимым исследованиям в области фильтрования жидких сред следует отнести подбор тканей, производимых в России, Казахстане и Германии для фильтропрессов (ф/п) типа Hoesch, Tefsa, «Diefebach», Netzsch и фирмы Ларокс, изготовленных в странах дальнего зарубежья. Во всех этих аппаратах жидкая среда подается под давлением 5–10 атмосфер, а отличаются они между собой конструктивными особенностями. Испытания проводились в промышленных условиях на реальных растворах и пульпах ТОО «Казцинк» и ПО «Балхашцветмет». При этом контролировались такие параметры, как качество фильтрата (содержание твердых фракций), толщина осадка, его влажность и снимаемость с поверхности полотна, срок службы фильтровального материала и т.д. Во время проведения исследований определяли химический и фазовый анализы, также физические свойства осадков (удельный и насыпной веса, распределение осадков по фракциям, усредненный размер частиц по методике Товарова). Кроме этого, для традиционно используемых и предлагаемых тканей до и после испытаний определяли физико-механические характеристики. В результате анализа полученных результатов

Таблица 1

Физико-механические характеристики испытанных фильтровальных материалов

Наименование показателей	Наименование материала, артикул				
	РММ 3516	Арт. 0498	ТФП 92М	ТФП 126М	ВФ-18
1. Технические условия	Контрактные параметры	ТУ 8378-033-052-5011-99	ТУ 3910 РК 39589204 ТОО-01-2005		ТУ РБ 300478750.004-2004
2. Масса материала 1 м ² , г	275	320 +- 20	280+-14	330 +- 17	328 +- 20
3. Толщина материала, мм	0,43	0,90	0,80	0,77	0,66
4. Разрывная нагрузка полоски материала размером 50×200 мм, Н по длине по ширине	3000 1500	4410 3230	3880 2450	450 270	1388 927
5. Удлинение полоски материала при разрыве, % по длине по ширине	– –	50 40	40 50	35 25	73 63
6. Число нитей на 10 см по длине по ширине	– –	186 +- 2 98 +- 4	180 +- 4 90 +- 2	190 +- 2 126 +- 2	– –
7. Воздухопроницаемость материала при Р=50 Па, дм ³ /м ² .сек	25–30	20–25	20–30	40–50	93–103
8.Предприятие-изготовитель материала	компания «MARKERT Grupp», Германия	ЗАО «Воскресенск-Техноткань», Россия	ТОО ТК «Техноткань», Казахстан		ОЭП «Комета», Белоруссия
9. Наименование фильтра и место его нахождения	ф/п Hoesch, БЦЗ ПО «Балхашцветмет»	ф/п Tefsa и Diefebach, драгметалльный цех БМЗ ПО «Балхашцветмет», РМК и УК МК ТОО «Казцинк»		ф/п Netzsch и Ларокс, УК МК ТОО «Казцинк»	Дисковые фильтры, РМК ТОО «Казцинк»

и проведенной работы по подработке структуры тканей, а также подбора из выпускаемого ассортимента материалов к промышленному использованию были рекомендованы в фильтрах такого типа полипропиленовые ткани арт. 0498-ВТ (ЗАО «Воскресенск-Техноткань», Московская обл., п. Хорлово, Россия), арт. ТФП 92М и ТФП 126М (ТОО ТК «Техноткань», г. Кустанай, Казахстан), а также арт. РММ 3516 (компания «MARKERT Grupp», Германия). В настоящее время эти ткани промышленно освоены и используются на предприятиях ТОО «Казцинк» (Усть-Каменогорский и Риддерский металлургические комплексы (УК МК и РМК)) и ПО «Балхашцветмет» (медеплавильный и цинковый заводы (БМЗ и БЦЗ)) с обеспечением требуемых технологических показателей.

ДГП «ВНИИцветмет» совместно с ОЭП «Комета» (г. Витебск, Белоруссия) на основании ряда лабораторных исследований подобраны параметры основовязаного полотна из лавсановых волокон ВФ-18. В настоящее время проведены опытно-промышленные и промышленные испытания этого материала в дисковых вакуум-фильтрах на Риддерском металлургическом комплексе и Балхашской обогатительной фабрике ПО «Балхашцветмет». При этом получены более высокие показатели по качеству осадка и сроку эксплуатации полотен, чем на традиционно применяемых материалах при обеспечении всех остальных параметров согласно технологическому режиму. В таблице 1 приведены физико-механические характеристики подобранных фильтровальных материалов для указанного выше оборудования, которые в настоящее время внедрены с обеспечением экономического эффекта за счет снижения затрат на приобретение фильтровальных материалов улучшением параметров фильтруемой среды.

На всех предприятиях цветной металлургии для очистки газов в последнее время отдается предпочтение рукавным фильтрам с импульсной регенерацией рукавов (фильтры ФРИК, ФРИ, ФРКИ), в которых в качестве фильтровального материала используются иглопробивные войлоки на каркасе. Для очистки газов с температурой до 140°C ВНИИцветметом совместно с текстильными предприятиями подработаны физико-механические характеристики иглопробивных войлоков на каркасе из полиэфирных (лавсановых) волокон типа «Озон К» (поставщик – ЗАО «Волброк ЛТД», г. Москва, Россия) и «Фильтр 550 К» (Изготовитель-поставщик – AS TOOM Tekstiil, Таллинн, Эстония). Контроль запыленности газов на выходе из этих фильтров показывает, что она составляет на очистке ряда газов УК МК 1–10 мг/м³, что соответствует или ниже проекта ПДВ. Но зачастую газы, подаваемые в рукавные фильтры, имеют температуру более 140°C, повышенную влажность и содержат агрессивные компоненты (например, ангидрид серы). К их числу относятся технологические газы вельцпечей РМК и УК МК и богатые газы агломерационных машин УК МК на ТОО «Казцинк». На территории стран СНГ промышленно освоен выпуск только тканей из полиоксадиазольных (арселоновых) волокон, имеющих температуру эксплуатации до 260°C, но не выдерживающих влажную среду в сочетании с наличием ангидрида серы. В связи с этим, из ряда производимых в дальнем зарубежье фильтровальных материалов для очистки таких газов были подобраны два типа иглопробивных войлоков на каркасе: арт. F-700 LFH (фирма «Andrew textile industries», Англия) и арт. PPS/PPS 554 CS18 (фирма BWF, Германия), изготовленных соответственно из политетрафторэтиленовых (тефлоновых) и полифенилсульфидных волокон. Оба типа фильтровальных материалов выдерживают рабочую температуру 230–250°C, а кратковременную до 250–280°C. Физико-механические характеристики подобранных фильтровальных материалов для рукавных фильтров с импульсной регенерацией рукавов приведены в таблице 2.

Таблица 2

Физико-механические характеристики иглопробивных войлоков на каркасе

Наименование показателей	Наименование материала, артикул				
	F-700 LFH	PPS/PPS 554 CS18	Озон К		Фильтр 550 К
1. Технические условия	Контрактные параметры		ТУ 8397-011-51569842-2003		ТУ 100 94 195.1-99
2. Масса 1 м ² , г	790	550	470	565	550 ± 28
3. Толщина материала, мм	0,9	1,70	2,2 ± 0,3	2,5 ± 0,3	1,7 ± 0,2
4. Разрывная нагрузка полоски материала размером 50×200 мм, Н по длине по ширине	765 630	890 1245	1300 1400	1400 1500	1100 1200
5. Удлинение полоски материала при разрыве, % по длине по ширине	16 35	25 27	– –	– –	35 45
7. Воздухопроницаемость при Р=50 Па, дм ³ /м ² ·сек.	40–60	30–40	300	150	120 ± 20
8. Предприятие-изготовитель или поставщик материала	Andrew textile Industries», Англия	фирма BWF Германия	ЗАО «Волброк ЛТД», Россия		AS TOOM Tekstiil, Эстония
9. Наименование очищаемых газов	Бедные газы агломерационной машины УК МК ТОО «Казцинк»	Газы вельцпечей УК МК и РМК ТОО «Казцинк»	Технологические и вентиляционные газы УК МК и РМК ТОО «Казцинк», БЦЗ ПО «Балхашцветмет»		

В настоящее время рукава из всех иглопробивных войлоков испытаны, находятся в промышленной эксплуатации и имеют срок службы 1,5–2,0 года, обеспечивая запыленность газов на выходе рукавных фильтров 1–10 мг/м³.

Работы по подбору и совершенствованию свойств фильтровальных материалов для очистки газов, а также фильтрации растворов и пульп продолжаются.

КАТАЛИТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВОДЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Б.М. Стефанюк, А.В. Аленичев, В.В. Сенкус, А.Я. Стефанюк

Новокузнецкий филиал-институт ГОУ ВПО «Кемеровский государственный университет»,
г. Новокузнецк, Россия

При обработке воды электрическим полем напряженностью от 0,85 до 3,20 В/см было установлено, что новыми свойствами (ускоренного осаждения взвешенных частиц и осветления) обладает межэлектродная вода в течение 30–90 минут, остальная вода, поэтому в устройствах очистки воды, использующих физико-электрические способы, рекомендуется подвергать не менее половины воды при условии предоставления времени до двух часов для обеспечения ее полной очистки.

Сокращение времени достигается за счет обработки не непрерывным воздействием, а пульсирующим с периодом пульсаций 3–5 минут и скважностью 0,38 ÷ 0,42, что ускоряет процесс осаждения в 6 раз по сравнению с обработкой постоянным током [1].

На основании экспериментов получена зависимость:

$$\tau_{но} = 0,25 + 2,8 (\theta - \theta_{min})^2 + 4,7 \lg^2 \left(\frac{T}{T_{opt}} \right), \quad (1)$$

где $\tau_{но}$ – время начала осветления, час;

0,25 – минимально полученный минимум времени, час;

T – период пульсации;

T_{opt} – минимальный период пульсации, $T_{opt} = 4$ мин = 0,067 ч;

$\theta = \tau_0 / T$ – отношение минимального времени к времени периода пульсации, $\theta_{min} = 0,4$;

Зависимость представлена на рисунке 1.

Однако этим не были раскрыты возможности каталитического эффекта за «пределами» времени обработки большими, чем время периода T , т. е. времени 30 минут.

Для исследования возможностей каталитического эффекта проведены эксперименты, охватывающие время до и после обработки 120 часов.

Согласно методике проведения эксперимента одновременно отбиралось 18 проб воды, загрязненной взвешенными частицами, которые использовались следующим образом:

1, 2, 3 – пробы контрольные, которые служили для сравнения эффекта катализации;

4, 5, 6 – пробы обрабатывались физико-электрическим способом при напряженности электрического поля 2,0 В/см;

7, 8, 9 – пробы без обработки, но с добавкой осветленной воды, которая составляла 9,1 %;

10, 11, 12 – пробы без обработки, но с добавлением осветленной воды, которая составляет 16,7 %;

13, 14, 15 – пробы без обработки, но с добавлением осветленной воды, которая составляет 25,5 %;

16, 17, 18 – пробы без обработки, но с добавлением осветленной воды, которая составляет 33,3 %.

Вода для эксперимента взята из речушки Кыргайлик г. Прокопьевска, загрязненной водами шахтного слива, шахтного притока.

Результаты эксперимента, проведенного в январе 2010 года, представлены в таблице 1 (рис. 2), повторные – в феврале 2010 г. – представлены в таблице 2 (рис. 3).

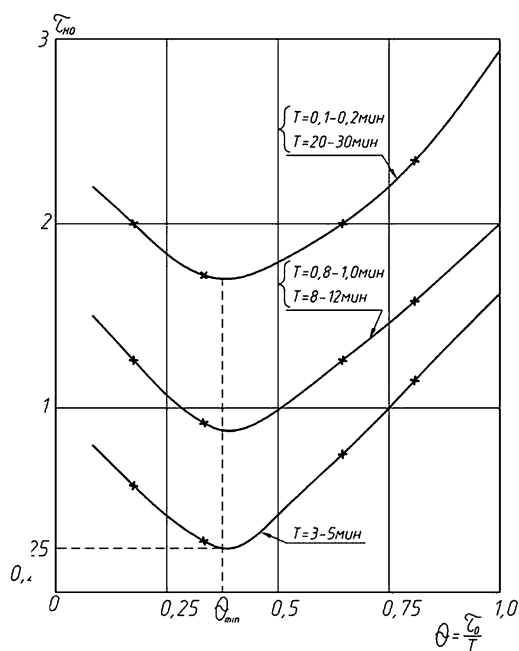


Рис. 1. Зависимости времени очистки от параметров постоянного тока

Среднее значение полученных данных были размещены на графиках по оси x – время осаждения, мин, а по оси y – время от начала эксперимента.

В качестве описания зависимости принята эллиптическая экспоида [2] вида:

$$\left(\frac{x}{x_0}\right)^n + \left(\frac{y}{y_0}\right)^n = 1. \quad (2)$$

Таблица 1

Результаты экспериментов

№ пробы a – добавка осветлен- ной воды, %	Время от начала опыта, час	Время осветления			
		в пробах, мин			среднее, мин
1, 2, 3 $a = 0$ контрольная	0	3540	3720	2580	3280
4, 5, 6 обработка ФЭО	0	30	40	35	35
	24	17	25	20	20,6
	48	5	5	5	5
7, 8, 9 $a = 9,1$	0	2820	2640	2380	2610
	24	–	–	–	–
	48	1200	1080	900	1060
	72	510	470	390	457
	96	360	330	270	320
	144	170	160	150	160
10, 11, 12 $a = 16,7$	0	2040	2080	1970	2030
	24	–	–	–	–
	48	900	920	720	818
	72	270	290	240	266
	96	130	150	120	133
	120	50	60	50	53
13, 14, 15 $a = 22,5$	0	1260	1500	1320	1360
	24	510	540	390	480
	48	180	260	240	227
	72	90	120	120	110
	96	40	50	60	50
16, 17, 18 $a = 33,3$	0	990	1020	780	930
	24	270	390	390	350
	48	70	90	100	87
	72	60	50	40	50
	96	30	25	20	25

Установить значение величины y_0 экспериментально затруднительно, то принято в априори, что эллиптическая экспоида равносторонняя, то есть на главной диагонали:

$$\frac{x_m}{x_0} = \frac{y_m}{y_0}. \quad (3)$$

Откуда получено:

$$2\left(\frac{x_m}{x_0}\right)^n = 1. \quad (4)$$

Вычислен показатель степени $n = 0,45$ и получена зависимость:

$$x_m = x_0(0,5)^{1/n} = 0,2143 x_0, \quad (5)$$

которая дает возможность получить четыре опорных точки для расчета начальной точки x_0 .

Влияние на осаждения за счет каталитического эффекта внесенной в необработанную воду некоторой доли (%) обработанной воды описывает зависимость:

$$x_{ma} = \left(\frac{c - a^5}{\sqrt[3]{a}}\right) k, \quad (6)$$

$$\text{где } c = \frac{x_{0\text{контр.}}}{\phi^2}; \quad (7)$$

$x_{0\text{контр}}$ – среднее время осаждения контрольной пробы, мин;

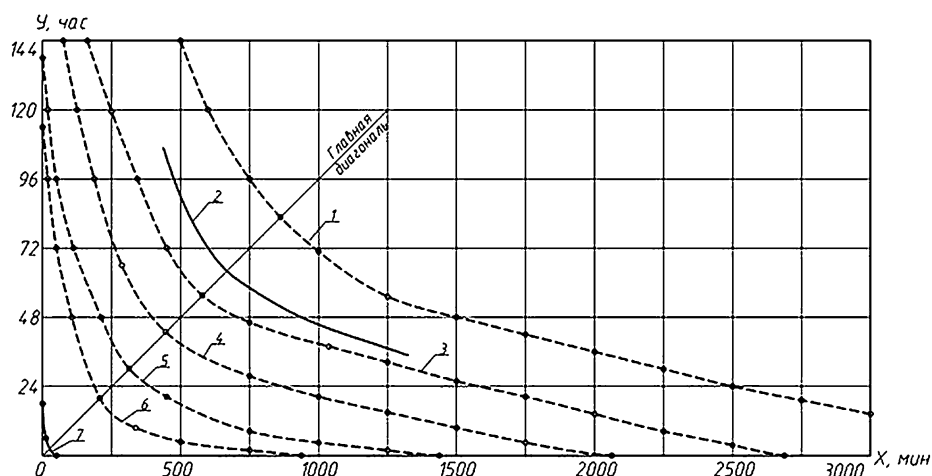


Рис. 2. Зависимости времени осаждения от времени начала эксперимента

ϕ – число природной гармонии;

$$\phi = \frac{\sqrt{5+1}}{2} = 1,6180339....; \phi^2 = 1 + \phi;$$

a – добавленная к пробе осветленная вода, %;

s – показатель степени, $s=1,84$ (установлен экспериментально);

k – коэффициент группы отбора проб (для первой группы равен 1).

Для следующей группы проб, проведенной через месяц, установлен экспериментально:

$$K = \sqrt{\frac{X_{0\text{контр}2}}{X_{0\text{контр}1}}}. \quad (8)$$

Таблица 2

Результаты повторных элементов

№ пробы а-добавка осветленной, %	Время от начала опыта, час	Время осветления, м			
		в пробах			среднее
1, 2, 3 $a=0$ контрольная	0	2640	2820	2940	2800
4, 5, 6 обработанная ФЭО $E=2,0$ В/см	0	30	40	50	40
	24	17	20	25	20,7
	48	5	7	7	6,3
	72	4	5	5	4,7
7, 8, 9 $a=9,1$	0	2100	2500	2340	2313
	24	960	920	1110	990
	48	420	390	510	440
	72	280	270	360	303
	96	150	150	170	157
	120	75	80	85	80
10, 11, 12 $a=16,7$	0	1800	1740	2100	1880
	24	780	720	930	810
	48	240	210	270	240
	72	130	100	140	123
	96	60	50	70	60
13, 14, 15 $a=25,5$	0	1320	1310	1380	1337
	24	480	420	510	470
	48	240	220	250	237
	72	120	110	120	117
	96	70	50	60	60
16, 17, 18 $a=33,3$	0	840	820	900	853
	24	330	270	360	320
	48	90	70	100	87
	72	50	30	50	43
	96	25	15	25	22

Сопоставление экспериментальных данных с данными предложенной математической модели представлены в таблице 3 по значениям величин на главной диагонали эллиптической эксплоиды, то есть x_m – экспериментальная, x_{ma} – аналитическая.

В ходе эксперимента и математического моделирования установлено, что каталитический эффект, получаемый при добавлении обработанной физико-электрическим способом воды к загрязненной воде, ощутим при процентной добавке более 5,6 % и усиливается с увеличением этой добавки.

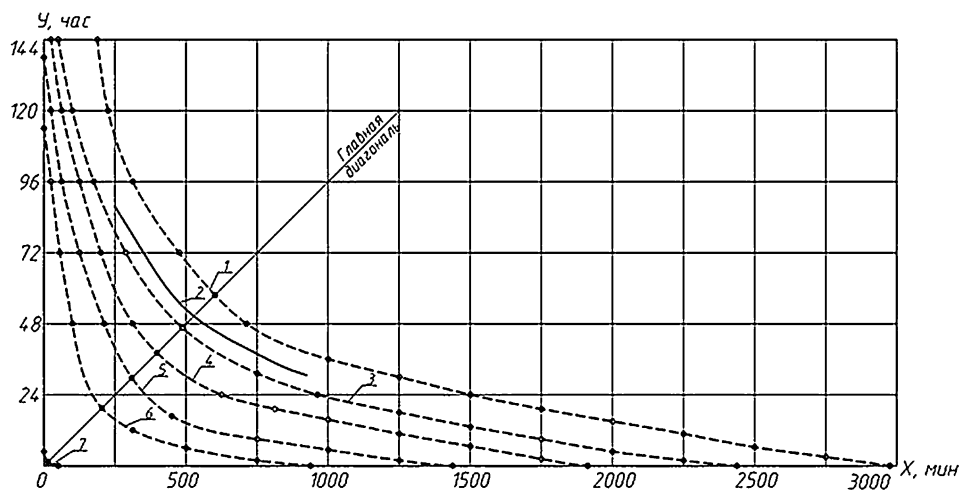


Рис. 3. Зависимости времени осаждения от времени начала эксперимента

Таблица 3

Результаты сопоставления экспериментальных и теоретических данных

a %	$x_{0 \text{ контр. } 1} = 3280$ $\kappa = 1$				$x_{0 \text{ контр. } 2} = 2800$ $\kappa = 0,92394$			
	x_0	x_m	x_{ma}	относит. отклонение %	x_0	x_m	x_{ma}	относит. отклонение %
9,1	2613	560	580	+3,57	2313	530	535	+0,95
16,7	2030	435	427	-1,61	1880	403	395	-1,99
25,5	1360	291	301	+3,44	1337	280	278	-0,12
33,3	930	199	198	-0,5	853	183	183	0,00

Выводы

1. Каталитический эффект, получаемый при освещении воды физико-электрическим способом, ограничен во времени 120 часами и процентной доли добавляемой оборотной осветленной воды не менее 5,6 %.

2. Целесообразно использовать каталитический эффект в замкнутых циклах осветления воды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стефанюк Б. М. Снижение энергозатрат гидравлической технологии добычи угля. // Диссертация на соискание докт. техн. наук Институт угля и углехимии СО РАН, 1998, гл. 7. «Физические процессы осаждения частиц в воде и пути снижения энергозатрат на осветление технологической воды». С. 264–334. рис. 7.25.

2. Стефанюк Б. М. Эллиптическая эксплоида. Деп. в ВИНТИ 15.03.85 № 189285 Деп. –29 с.

ТЕХНОЛОГИЯ БЕЗРЕАГЕНТНОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД И БРИКЕТИРОВАНИЯ ИЛА И ШЛАМА

В.В. Сенкус, Б.М. Стефанюк, В.В. Сенкус, Н.И. Конакова

Новокузнецкий филиал-институт ГОУ ВПО «Кемеровский государственный университет», г. Новокузнецк, Россия

В настоящее время для очистки сточных и технологических вод различные способы и устройства для их реализации: гравитационный, механический, химический, биологический, электрофизический, аэрации, озонирования и др., что объясняется широким спектром загрязняющих веществ и характерно для металлургического производства.

Анализ современных способов технических и технологических средств очистки сточных и технологических вод [1–15] показывает, что предлагаемые способы, технологии и устройств очистки имеют ряд недостатков: малая пропускная способность, большие капитальные и эксплуатационные затраты при низкой степени очистки стоков и сбросов, а существующий уровень развития техники и технологии не обеспечивает их очистку до уровня ПДК в больших объемах.

В настоящей работе объединяются современные достижения науки и проверенные практикой способы очистки сточных и технологических вод в единый технологический комплекс производительностью 800 м³/ч, при этом сохраняется возможность использования химических средств очистки.

Технологическая схема реализации комплексного способа безреагентной глубокой очистки сточных вод и брикетирования ила представлена на рисунке 1 и заключается в следующем.

Технология безреагентной очистки сточных вод и брикетирования ила разделена в пространстве и во времени на две стадии: грубой и тонкой очистки воды.

Грубую стадию очистки реализуют последовательными процессами: распределением сброса воды в поверхностный слой воды механизированного отстойника; разделением взвешенных частиц и несмешиваемых жидкостей по плотности выше и ниже плотности воды; аккумуляцией и удержанием взвешенных частиц и несмешиваемых жидкостей с плотностью ниже воды в верхнем слое потока; перепуском взвешенных частиц и несмешиваемых жидкостей с плотностью выше воды на дно отстойника; интенсивным осаждением взвешенных частиц и несмешиваемых жидкостей с плотностью выше воды на дно отстойника; физико-электрической обработкой, изменяющей надмолекулярную структуру воды; осаждением тонкодисперсных взвешенных частиц и поддержанием ламинарного движения потока воды и ее уровня путем последовательной установки кассетных технических средств по длине отстойника с механизированной выгрузкой осевшего ила скребковым обезвоживающим конвейером в смеситель, куда добавляют связующее, наполнитель и нейтрализатор, перемешивают и подвергают прессованию, а полученные брикеты обеззараживают в печах СВЧ.

Тонкую стадию очистки воды реализуют каскадом автономных технических устройств, обеспечивающих дополнительную физико-электрическую обработку, изменяющую надмолекулярную структуру и закрепляющую «память» воды, механическую очистку ее от взвешенных частиц, аэрацию и озонирование воды, сбора осевшего ила в автономных устройствах, который возвращают в отстойник с механизированной выгрузкой ила грубой стадии очистки воды.

Распределенный сброс в отстойник с механизированной выгрузкой производят плоской струей с трамплина в верхний слой воды для погашения энергии потока в направлении движения воды в отстойнике, где на расстоянии не более 3–5 м установлена водонепроницаемая поперечная перемычка, обеспечивающая одновременное ведение процессов: разделения взвешенных частиц и несмешиваемых жидкостей по плотности выше и ниже плотности воды; аккумуляцию и удержание взвешенных частиц и несмешиваемых жидкостей в верхнем слое потока воды с плотностью ниже воды; перепуска

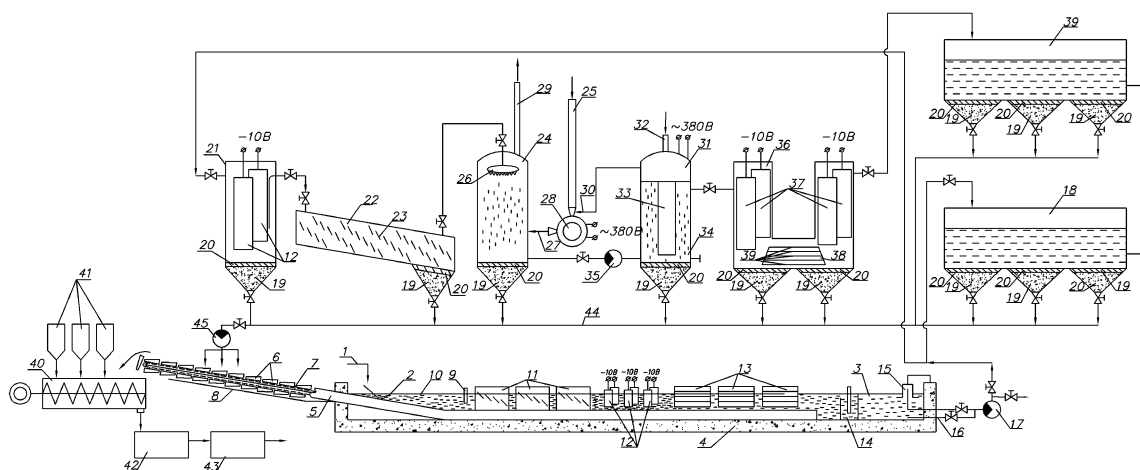


Рис. 1. Технологическая схема безреагентной очистки сточных вод и брикетирования ила

взвешенных частиц и несмешиваемых жидкостей с плотностью выше воды под нижней своей кромкой на дно отстойника.

За водонепроницаемой перемычкой на расстоянии не более 0,5 м устанавливают последовательно и касетно каскад наклонных устройств очистки воды типа «жалюзи», обеспечивающих интенсивное осаждение взвешенных частиц и несмешиваемой жидкости с плотностью выше воды на дно отстойника с механизированной выгрузкой ила.

За каскадом наклонных устройств для очистки воды типа «жалюзи» на расстоянии не более 0,5 м друг от друга устанавливают электроды устройств физико-электрической обработки воды постоянным пульсирующим током, изменяющим надмолекулярную структуру воды и ионов загрязняющих химических веществ, насыщая их орбиты недостающими электронами, при этом устройства физико-электрической обработки через каждые 60 минут меняют полярность электродов.

За каскадом устройств физико-электрической обработки воды постоянным пульсирующим током устанавливают каскад тонкослойных осветлителей на расстоянии не более 0,2 м между собой до затопленного конца скребкового обезвоживающего конвейера.

За скребковым обезвоживающим конвейером устанавливают на расстоянии большим высоты контейнеров на скребках конвейера каскадное устройство для перепуска воды, работающее по принципу сообщающихся сосудов, разделяющее в отстойнике с механизированной очисткой рабочую и аккумулирующие секции, имеющее на центральной перегородке продольное отверстие выше уровня воды отстойника для перепуска воды верхом, свидетельствующее о накоплении ила и необходимости очистки устройства.

Для поддержания ламинарного движения потока воды и ее уровня на выходе отстойника с механизированной выгрузкой ила, в зоне, где аккумулируют очищенную воду, устанавливают устройство для сброса и регулирования глубины забора воды и аварийного водосброса, через которые воду самотеком или насосами подают в промежуточный отстойник, служащий для согласования производительности очистки воды стадий грубой и тонкой очистки, имеющий по длине конусные днища, отделенные от отстойника решетками.

Стадию тонкой очистки воды реализуют каскадом автономных устройств, собранных в систему с помощью трубопроводов и воздухопроводов с запорной арматурой, обеспечивающих физико-электрическую обработку воды, механическую ее очистку, аэрацию и озонирование и закрепления молекулярной структуры воды, удаления растворенных газов, органических веществ и насыщения очищенной воды кислородом.

В автономное устройство физико-электрической обработки воды, представляющее емкость, внутри которой располагают электроды, с конусным днищем, отделенным от емкости решеткой, а воду в устройство подают насосами из промежуточного отстойника первой стадии под давлением 0,5–1,0 МПа для увеличения производительности второй ступени.

В автономное устройство механической очистки воды, представляющее закрытый желоб, имеющий наклон 15–25°, внутри которого располагают устройство для очистки воды типа «жалюзи», пластины которого закреплены шарнирно и могут колебаться с амплитудой на концах пластин 3–5 мм, с конусным днищем, отделенным от емкости решеткой,

а вода поступает из автономного устройств физико-электрической обработки воды под давлением 0,5–1,0 МПа.

В автономное устройство аэрации вода поступает под давлением 0,5–1,0 МПа, представляющее емкость, внутри которой располагают форсунки для диспергации воды, с конусным днищем и отделенным от емкости решеткой, при этом над решеткой днища располагают воздуховод, соединенный с вентилятором, имеющим эжектор для подачи избытка озона от реактора, а на верху устройства устанавливают трубу для отвода газов, а воду из емкости откачивают по трубопроводу насосом и подают в автономное устройство озонирования под давлением 0,5–1,0 МПа.

В автономном устройстве озонирования, представляющее емкость с конусным днищем и отделенным от емкости решеткой, над которой располагают генератор озона, при этом камеру озонирования располагают внутри емкости, а его избыток подают через дроссель из камеры озонирования на эжектор входа вентилятора аэрации.

В автономное устройство физико-электрической обработки воды, представляющее V-образную емкость, внутри которой располагают электроды и тонкослойный осветлитель, с конусными днищами, отделенным от емкости решеткой, при этом пластины тонкослойного осветлителя закреплены шарнирно и подвижно с амплитудой колебания на концах 2–3 мм и имеют нейтральное покрытие для предотвращения налипания взвешенных частиц и ионов химических веществ, подают воду из устройства озонирования.

Промежуточный отстойник и автономные устройства очистки воды второй ступени имеют конусные днища с углом наклона стенок 55° к горизонтальной плоскости, соединенные трубопроводами с запорной арматурой со шламовым насосом для откачки осевшего ила, и отделенные от емкости решетками, выполненными в виде жалюзи с углом наклона пластин 45–55° навстречу потоку воды.

Воду из промежуточного отстойника используют для технических нужд, а воду второй стадии используют в хозяйственно-бытовых целях и/или сбрасывают во внешние водоемы.

Обезвоженный на скребковом обезвоживающем конвейере ил в контейнерах с влажностью 20–30% подают в смеситель, куда добавляют, масс. %: связующее 5–10, наполнитель 20–30 и нейтрализатор 5–10, остальное ил, массу перемешивают и подвергают прессованию, а полученные брикеты обеззараживают в печах СВЧ 3–4 мин путем нагрева их до температуры 100–200 °С.

ЛИТЕРАТУРА

1. Патент РФ № 2295501. Водоочистной комплекс. МПК C02 F 9/14 C02 F1/32. Патентообл. Бутусов В. А., Лялин Е. А., Дьяченко Э. В. изобр. Бутусов В. А., Лялин Е. А., Дьяченко Э. В. Заявл. 18.03.2005. Оpubл. 20.03.2007 Бюл. № 8
2. Заявка РФ 2007108876. Комплектно-блочная модульная очистная станция. МПК C02 F 1/00. Заявит. Куликов Н. И. Авторы: Куликов Н. И., Куликова Е. Н., Куликов Д. Н., Ивкин П. А., Любопытов Д. М. Заявл. 09.03.2007. Оpubл. 20.09.2008. Бюл. № 26.
3. Заявка РФ 2003116699. Система для очистки сточных вод. МПК C02 F 9/00. Заявит. Ишмаков Р. М. Автор: Ишмаков Р. М. Заявл., 04.06.2003. Оpubл. 10.03.2005. Бюл. №.
4. Патент РФ № 2318737 Способ комплексной очистки промышленный сточных и устройство для его реализации. МПК C02 F 9/06. Патен. Малышев В. В., Изобр. Малышев В. В. Заявл. 31.05.2006. Оpubл.: 10.03.2008. Бюл. № 7
5. Патент РФ № 2251 533. Способ очистки воды и устройство для его реализации. МПК C 02 F 1/467. Патен. Аристова Н. А., Беркутов Н. А., Корчаков С. А., Пискарев И. М. Изобр. Аристова Н. А., Беркутов Н. А., Корчаков С. А., Пискарев И. М. Заявл. 27.06.2003 Оpubл.: 10.05.2005 Бюл. № 13.
6. Заявка РФ № 2006142608. Способ очистки природных и сточных вод Заявит. Тихоокеанский государственный университет, Заявл., 21.02.2007. Изобр. Логунцов ВФ., Логунцов С. В. Оpubл. 27.08.2008 Бюл. № 24
7. Заявка РФ 2007706165. Способ очистки сточных вод с интенсификацией насыщения их кислородом и устройство для его реализации МПКF 3/02, Заявит. Бобылев Ю. О., Автор (ы) Бобылев Ю. О. Заявл. 20.02.2007. Оpubл. 27.08.2008 Бюл. № 24.
8. Патент РФ № 2277514. МПК C02 F 9/14 Патентообл. Бобылев А. О. Автор (ы): Бобылев А. О., Кузнецов М. А. Заявл. 05.07.2004. Опубликовано: 10.06.2006 Бюл. № 16.
9. Заявка РФ № 2004114510. Способ очистки сточных и ливневых вод от механических примесей и устройство для его осуществления. МПК C 02 F 1/52, 3/14, B 01 D 21/02.

Заявит. Московское государственное унитарное предприятие «Мосводоканал». Автор (ы): Дайнеко Ф. А. Заявл. 14.05.2004. Оpubл. 27.10.2005 Бюл. № 30.

10. Патент РФ № 2305663. станция очистки сточных вод. МПК C02 F. Патентообл.: Вологодский государственный технический университет. Автор (ы): Лукьянов В. в., Тюкин В. Н., Лукьянов Е. В., Куркова А. В. Заявл. 10.01.2006. Оpubл. 10.09.2007 Бюл. № 25.

11. Патент РФ № 2323891. Установка биологической очистки бытовых сточных вод. МПК C02F. Патентообл.: Снычков А. Д., Снычков С. А., Снычкова Н. В. Автор (ы): Снычков А. Д., Снычков С. А., Снычкова Н. В. Заявл. 09.01.2007. Оpubл. 10.05.2008 Бюл. № 13.

12. Патент РФ № 2297393. Установка для очистки сточных вод. МПК C02F 3/12. Патентообл. Михайленко А. И. Автор (ы): Михайленко А. И., Михайленко Т. М., Михайленко Д. А., Чесноков А. К., Сергеев Е. В., Платонов А. В. и др. Заявл. 10.2005. Оpubл. 20.04.2007 Бюл. № 11

13. Заявка РФ № 2006 125 906. Устройство для очистки воды и сточных вод. МПК ВОЮ 21/08 Заявит. Государственное унитарное предприятие «Водоканал Санкт-Петербурга» Автор (ы): Кармазинов Ф. В., Смирнов Ю. И., Новиков М. Г. и др. Заявл. 17.07.2006. Оpubл. 27.01.2008 Бюл. № 3

14. Патент РФ № 2031857. Способ осветления воды. МПК C02F 1/46. Патентообл. ВНИИгидроуголь. Автор Стефанюк Б. М. Заявл. 12.04.1993. Оpubл 27.03.1995. Бюл. № 9.

15. Патент РФ № 2162004. Способ осветления технологической воды в подземных водосборниках с механизированной очисткой. МПК В 01D 21/00. Патентообл. Сенкус В. В. Фомичев С. Г. Сенкус Вас. В., Фомичев К. С. Автор(ы): Сенкус В. В. Фомичев С. Г. Сенкус Вас. В., Фомичев К. С. Заявл. 06.11.1998. 2005. Оpubл. 020.01.2001. Бюл. № 2.

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ЗАЩИТЫ ВОЗДУШНОГО БАСЕЙНА НА ПРОИЗВОДСТВАХ СВИНЦА И ЦИНКА

М.Ф. Богатырев, А.М. Богатырев

ДГП «Восточный научно-исследовательский горно-металлургический
институт цветных металлов»

РГП «Национальный центр по комплексной переработке минерального сырья
Республики Казахстан», г. Усть-Каменогорск, Республика Казахстан

Переделы металлургического производства свинца и цинка сопровождаются образованием значительных объемов технологических и вентиляционных газов, требующих эффективной очистки для защиты воздушного бассейна от загрязнения вредными веществами и извлечения ценных составляющих компонентов.

Воздушный бассейн территорий, прилегающих к свинцовым и цинковым заводам, загрязняется в основном соединениями свинца и серы. По действующим санитарно-гигиеническим нормам содержание свинца и его неорганических соединений в приземной зоне населенных мест не должно превышать $0,0003 \text{ мг/м}^3$, диоксида серы – $0,05 \text{ мг/м}^3$, а пыли полиметаллической свинцово-цинкового производства с содержанием свинца до 1 % – $0,0001 \text{ мг/м}^3$.

При очистке газов до санитарных норм по свинцу и диоксиду серы одновременно решается вопрос обезвреживания их от других вредных веществ – соединений цинка, кадмия, мышьяка, хлора, фтора и др.

Главным способом защиты атмосферного воздуха от загрязнения пылегазовыми выбросами свинцовых и цинковых заводов остается очистка пылегазовыделений перед их поступлением в воздушный бассейн в пылегазоулавливающих установках и последующее рассеивание в атмосфере с помощью высоких дымовых труб.

Особенность пылеулавливания на свинцовых и цинковых заводах заключается в широком применении аппаратов сухой очистки газов, а именно:

для грубого пылеулавливания – циклоны;

для тонкой очистки от пыли – рукавные фильтры и электрофильтры.

Наиболее широкое распространение для тонкой очистки газов от пыли получили рукавные фильтры – в них очищается около 80 % технологических и вентиляционных газов.

Применение аппаратов мокрой очистки ограничено агрессивностью очищаемых газов, что требует применения коррозионностойких материалов, решения проблемы обработки и очистки получаемых растворов, а также дополнительных затрат на подготовку и переработку шламов с целью извлечения из них ценных компонентов. Поэтому мокрое пылеулавливание целесообразно только на мелких локальных установках для очистки высоковлажных или взрывоопасных газов, где затруднено применение аппаратов сухой пылеулавливания.

На свинцовых заводах Казахстана бедные по содержанию диоксида серы газы подвергают тонкой очистке от пыли в рукавных фильтрах после грубой очистки в циклонах с предварительным охлаждением либо смешиванием с вентиляционным воздухом, либо в поверхностных холодильниках, либо в котлах-утилизаторах. Используют рукавные фильтры типов РФГ, УРФМ, ФРКИ, РФСП и ФРИ. Рукавные фильтры с кручением рукавов не оправдали своего назначения и заменены рукавными фильтрами РФГ, которые модернизированы путем замены механизма встряхивания рукавов на пневмовстряхивание.

В настоящее время осуществляется постепенная замена рукавных фильтров РФГ, УРФМ и РФСП на рукавные фильтры ФРИ и ФРКИ, как более производительные и обеспечивающие на практике наиболее высокие эксплуатационные показатели.

Богатые по диоксиду серы газы на свинцовых заводах подвергают очистке в системе из циклонов, увлажнительных башен и электрофильтров до остаточной запыленности $20\text{--}100 \text{ мг/нм}^3$ и затем направляют на утилизацию диоксида серы в стандартном производстве серной кислоты.

В связи с отличительными особенностями характеристики и свойств образующихся пылегазовых потоков на разных переделах цинковых заводов газы подвергают очистке в системах из разных аппаратов.

На цинковых заводах Казахстана газы сушки концентратов и кеков подвергают очистке в системе из сухих и мокрых циклонов или скрубберов ударного действия. При этом остаточная запыленность газов находится в пределах $0,2\text{--}0,5\text{ г/м}^3$.

Газы обжига цинкового концентрата в печах КС очищают от пыли по схеме «воздухо-охлаждаемый стояк или котел-утилизатор – циклон – сухой горизонтальный многопольный электрофильтр». Далее газы с запыленностью $0,1\text{--}0,2\text{ мг/м}^3$ и содержанием диоксида серы 6–9% подвергают доочистке от пыли, мышьяка, фтора, селена и тумана серной кислоты в промывном отделении сернокислотного цеха и используют для получения серной кислоты.

Технологические газы вельц-печей после охлаждения в поверхностных холодильниках или в котлах-утилизаторах направляют на очистку от пыли в рукавные фильтры типов РФГ, УРФМ и ФРИ.

На свинцовых и цинковых заводах помимо технологических пылегазовых выбросов значительное загрязнение воздушного бассейна происходит за счет пылегазовых выбросов многочисленных аспирационных систем из-за недостаточной герметичности технологических агрегатов, транспортных систем и мест перегрузок сыпучих материалов. Очистку вентиляционных газов осуществляют в рукавных фильтрах в большей части в смеси с технологическими газами, а также в системах мокрого пылеулавливания.

В качестве фильтровального материала в рукавных фильтрах в последние годы применяют: лавсановую ткань с односторонним ворсом, лавсановое холстопршивное полотно, арселоновую ткань с односторонним ворсом, лавсановый иглопробивной войлок «ОЗОН» и «ОЗОН-К», иглопробивной войлок на каркасе из политетрафторэтиленовых волокон (тефлон) или из полифенилсульфидных волокон.

Регенерацию ткани в рукавных фильтрах типа РФГ и УРФМ осуществляют механическим встряхиванием или пневмовстряхиванием с одновременной продувкой воздухом посекционно за счет разрежения в фильтре или с помощью продувочных вентиляторов. В рукавных фильтрах ФРИ и ФРКИ регенерацию ткани осуществляют периодически по заданному циклу без отключения секций односторонней импульсной продувкой сжатым воздухом, поступающим внутрь рукавов сверху через отверстия в продувочных коллекторах в фильтрах ФРКИ, и с двух сторон (снизу и сверху) в фильтрах ФРИ. Длительность импульсов – $0,1\text{--}0,2\text{ с}$ при давлении сжатого воздуха $0,6\text{ МПа}$ (6 кгс/см^2). Сжатый воздух очищают и осушивают не ниже 10 класса по ГОСТ 17433–80.

При удельной газовой нагрузке на фильтровальный материал от $0,5$ до $2,0\text{ м}^3/\text{м}^2$ на разных переделах в зависимости от свойств пылегазового потока и характеристики фильтровального материала срок его службы составляет от 3 до 12 месяцев при входной запыленности газов от 3 до 40 г/м^3 и остаточной от 3 до 30 мг/м^3 .

После тонкой очистки газов их, как правило, в смеси с вентиляционными газами направляют на доочистку в рукавных фильтрах РФСП-1580 со струйной продувкой рукавов сжатым воздухом с помощью передвижной каретки вдоль рукавов, которые в настоящее время переделывают на рукавные фильтры по типу ФРКИ с импульсной продувкой. При удельной газовой нагрузке на фильтровальный материал от $3,0$ до $4,5\text{ м}^3/\text{м}^2$ срок службы лавсанового иглопробивного войлока на каркасе «ОЗОН-К» составляет 24 месяца при входной запыленности газов от $0,5$ до $1,0\text{ г/м}^3$ и остаточной от $0,1$ до $0,3\text{ мг/м}^3$.

Выполненные в последние 20 лет исследования и испытания по совершенствованию конструкции и режима эксплуатации пылегазоочистных аппаратов позволили достигать высоких показателей эффективности их работы.

Однако несмотря на широкое применение высокоэффективных пылеулавливающих аппаратов и систем из них во многих случаях не достигаются нормы по содержанию свинца и диоксида серы в атмосферном воздухе прилегающих к производствам свинца и цинка территорий.

Это обусловлено тем, что не все образующиеся пылегазовыделения подвергают очистке в эффективных пылеуловителях и отсутствуют высокоэффективные и экономичные способы обезвреживания или утилизации диоксида серы низкой концентрации. Порядка 50% от поступающей в воздушный бассейн пыли приходится на долю вентиляционных газов и около 35% – на газы вспомогательных металлургических переделов, подвергаемых очистке в основном в аппаратах грубого пылеулавливания, а иногда выбрасываемых в воздушный бассейн без очистки.

Кроме этого, существующая система нормирования выброса загрязняющих веществ в атмосферу и контроля соблюдения установленного допустимого выброса имеет существенные недостатки [1].

Анализ современного состояния охраны воздушного бассейна от загрязнения в зоне влияния производств свинца и цинка, системы нормирования выброса загрязняющих веществ в атмосферу и контроля соблюдения установленных нормативов допустимого выброса позволяет определить основные направления работ для коренного улучшения защиты атмосферы от загрязнения вредными веществами, а именно:

1) Переход на прогрессивные технологические процессы, позволяющие резко сократить объем образующихся газов и осуществить полную утилизацию диоксида серы.

В производстве первичного свинца к числу таких процессов и аппаратов относится КИВЦЭТная технология переработки полиметаллического сульфидного сырья [2] в комплексе с примыкающим непосредственно к газоохладителю агрегата электрофильтром для высокозапыленных сернистых газов без аппаратов предварительного грубого пылеулавливания с последующей утилизацией диоксида серы [3], которая позволяет обеспечить минимальный выброс – свинца в пыли 0,06 кг/т свинца, диоксида серы 4,7 кг/т свинца.

В производстве вторичного свинца прогрессивным является способ КЭПАЛ комплексной переработки аккумуляторного лома [4].

В производстве цинка к числу прогрессивных технологий относится гидрометаллургическая переработка цинковых кеков [5], а для очистки газов при обжиге цинковых концентратов в печи КС наиболее рациональной по технико-экономическим показателям является технология очистки газов в системе «котел-утилизатор с примыкающим непосредственно к нему электрофильтром для высокозапыленных сернистых газов без аппаратов предварительного грубого пылеулавливания». Применение такой системы пылеулавливания позволит уменьшить гидравлическое сопротивление пылегазового тракта на 80 %, сократить объем газов на входе в промывное отделение сернокислотного цеха на 30 % и за счет этого увеличить концентрацию диоксида серы и уменьшить на 20–30 % затраты на доочистку газов и утилизацию серы.

2) Разработка высокоэффективных, малогабаритных и экономичных аппаратов тонкой очистки больших объемов газов, совершенствование и модернизация применяемых пылегазоуловителей.

В области совершенствования тканевой очистки газов весьма актуальным остается вопрос разработки и организации выпуска фильтровальных материалов с большим сроком службы в газовой среде с сернистыми, фтористыми, хлористыми и другими агрессивными компонентами при температуре газов до 200–300 °С.

В области совершенствования электрофильтров актуальными остаются вопросы снижения вторичного уноса пыли, повышения механической прочности электродов, изыскание высокоэффективных способов удаления пыли с электродов и разработка конструкции высокоскоростного и высокотемпературного электрофильтров.

3) Исключение пылегазовыбросов без их предварительной высокоэффективной очистки.

4) Переход к нормированию выброса загрязняющих веществ в атмосферу на основании результатов расчета их рассеивания в воздушном бассейне не для источников загрязнения атмосферы отдельного предприятия, а совместно для источников всех предприятий и транспорта населенного пункта. В этом случае при расчетах загрязнения атмосферы рекомендуется автомагистраль города моделировать как неорганизованные источники с высотой выброса 2 м и реальной шириной [6]. При таком подходе автомагистрали выступают как источники нестационарных по времени выбросов, а автомобили являются источниками выделения загрязняющих веществ в атмосферу.

При сводных расчетах загрязнения воздушного бассейна от всей совокупности источников загрязнения атмосферы промышленных предприятий и транспорта будет получена наиболее достоверная информация об общегородском загрязнении атмосферного воздуха и определены источники, дающие наибольший вклад в загрязнение воздушной среды прилегающего к предприятиям населенного пункта, что позволит установить долю выброса каждого загрязняющего вещества из каждого источника загрязнения, при которой достигается предельно допустимая концентрация загрязняющих веществ в воздухе.

5) Замена эпизодического контроля выброса загрязняющих веществ в атмосферу непрерывным автоматическим с передачей на центральный пульт управления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Богатырев, М. Ф. К новой системе нормирования выброса загрязняющих веществ в атмосферу. /М. Ф. Богатырев, А. М. Богатырев//Материалы V международной конференции в 2-х томах «Инновационные разработки и совершенствование технологий в горно-металлургическом производстве». Том II. Metallургия и экология / ВНИИцветмет. – Усть-Каменогорск, 2009. – с. 333–340.
2. Сычев, А. П. Кивцэтный способ переработки полиметаллических сульфидных концентратов. /А. П. Сычев, И. М. Чередник, И. П. Поляков. – М.: ЦНИИЭЦветмет, 1978. – 48 с.
3. Богатырев, М. Ф. Очистка газов кивцэтного процесса от пыли. / М. Ф. Богатырев, А. П. Сычев. – М.: ЦНИИЭЦветмет, 1977. – 60 с.
4. Сычев, А. П. Новый способ комплексной переработки аккумуляторного лома (КЭПАЛ)./А. П. Сычев, Ю. А. Гущин, Г. В. Ким//Бюллетень НТС по охране природы в районе действия предприятий цветной металлургии, пылеулавлианию, газоочистке и очистке сточных вод. – Фрайберг (ГДР), 1979, № 6. – с. 23–33.
5. Исследование и промышленное освоение гидрометаллургического способа переработки цинковых кеков./Л. С. Гецкин [и др.]/Цветные металлы. – 1976. – № 2. – с. 17–19.
6. Нормирование выбросов автотранспорта./В. Б. Миляев [и др.]/Экология производства. — 2005. — № 9. — с. 41–43.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ОЦЕНКИ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПРИБОРТОВЫХ МАССИВОВ НА КАРЬЕРАХ В СРЕДЕ AUTOCAD. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ПРЕДЕЛЬНОГО РАВНОВЕСИЯ В ПЛОСКОЙ ПОСТАНОВКЕ

Н.И. Сартаков¹, В.К. Бушков¹, А.Н. Гурин², В.В. Назима², И.Л. Хархордин³

¹ ЗАО «Полюс», г. Красноярск, Россия

² ОАО «ВНИМИ», г. Санкт-Петербург, Россия

³ ООО «Геостройпроект», г. Санкт-Петербург, Россия

Современный уровень решения проблемы управления долговременной устойчивостью откосных сооружений карьеров лежит в области сочетания её прогноза и разработки комплекса профилактических мероприятий, снижающих риск её потери.

Для прогнозирования устойчивости горнотехнических конструкций применяются различные методы: натурные наблюдения, аналитические расчеты, численное моделирование напряженно-деформированного состояния горного массива, геофизические методы.

В рамках аналитических методов расчета устойчивости успешно применяется модельный подход, который предполагает поэтапное формирование инженерно-геологических моделей массива горных пород, геомеханических моделей его напряженно-деформированного состояния в бортах открытых выработок и расчетных моделей, учитывающих их вероятный механизм деформирования, зависящий в том числе и от конфигурации карьерных выемок.

Особенно актуальными задачи прогноза геомеханического состояния массива, включающего карьерную выемку, и устойчивости его конструктивных элементов становятся при проектировании глубоких и сверхглубоких карьеров (при эксплуатации которых имеет место сложный характер деформирования прибортовых массивов) с крутыми откосами уступов [1]. Известно, что профиль борта карьера в предельном положении оказывает существенное влияние на объем выработанного пространства, причина последнего является отправной точкой в придании направлений изысканиям, одна часть из которых сосредоточена на пути увеличения генерального угла его наклона, а другая на пути совершенствования его профиля.

Развитие как первого, так и второго направлений во многом не может осуществляться в случае отсутствия полноценной, многофакторной методики расчета устойчивости бортов карьера.

Ввиду того, что в статье речь пойдет о методиках расчета устойчивости бортов карьеров, базирующихся на теории предельного равновесия связной среды с трением [2], следует отметить, что в отечественной практике существующие методы за последние 30 лет практически не обновлялись [3]. Подобного рода заключение вполне правомерно может быть отнесено и к зарубежным разработкам, реализованным в достаточно известных расчетных программных комплексах: Geomechanics Software&Research, SLIDE; GALENA (Австралия), ROXIM (Великобритания).

В рамках существующих методов вместо трех составляющих напряжений учитывается только одна вертикальная (гравитационная) составляющая, соответствующая весу столба вышележащих пород, что, как показывает опыт, ведет к занижению углов наклона бортов. Такое упрощенное решение приемлемо в частных случаях [4] (для неглубоких карьеров, в которых указанное занижение угла наклона откоса борта не имеет существенного значения).

В случае оценки геомеханического состояния массива в бортах глубоких и сверхглубоких карьеров совместно с влиянием гравитационной компоненты поля напряжений на устойчивость оцениваемого участка прибортового массива, несомненно, оказывает влияние действие сил бокового отпора. В свою очередь, становится очевидным, что соотношение составляющих бокового давления, обуславливаемое величиной значений упругих свойств пород, формирует предельные контуры деформации откоса.

Таким образом, дополнительное сопротивление смещению призмы обрушения, создаваемое силами бокового распора ($\sigma_{\text{гор}} = \lambda \cdot \gamma \cdot H$, где λ – коэффициент бокового распора), в конечном счете, приводит к увеличению устойчивости бортов.

В данном случае было бы не совсем корректно утверждать об отсутствии методик, позволяющих учитывать влияние величины бокового распора в раскладе удерживающих и сдвигающих сил. Необходимо отметить, что объемное напряженно-деформационное состояние откосов карьеров изучалось в работах ряда авторов, в их числе В.К. Цветков, Д.М. Ахпателов, Г.Е. Гулевич, Э.Л. Галустьян, В.Т. Сапожников, В.И. Пушкарев, В.Н. Попов, Б.В. Несмеянов, С.Т. Ашихмин, Т.С. Кузнецова. Исходя из чего на сегодняшний момент времени методики решения задач предельного равновесия в объемной постановке действительно имеются, однако в большинстве случаев они в силу объективных причин существуют либо в максимально упрощенном виде, либо базируются на эмпирических данных (узкие места которых всем достаточно понятны).

Переходя к рассмотрению результатов коллективной работы по созданию многофакторной модели расчета устойчивости откосов карьера, учитывающей влияние сил бокового распора при решении задачи предельного равновесия в объемной постановке, следует отметить, что в основе точного решения поставленной задачи лежат наработки в данной области принадлежащие коллективу лаборатории устойчивости бортов карьеров ОАО «ВНИМИ».

Краткая суть подхода в решении задачи по определению устойчивости бортов карьера в объемной постановке состоит в решении двух подзадач. В рамках первой подзадачи определяется устойчивость актуального участка борта в плоской постановке (учет гравитационной составляющей). Далее, в рамках решения второй подзадачи значение, характеризующее устойчивость прибортового массива, которое получено при решении задачи первого уровня, трансформируется в его результирующую величину посредством введения в расчетную рабочую область объемной компоненты (учет сил действующих по боковым граням расчетного блока).

К настоящему моменту времени в первом приближении реализована первая подзадача, в связи с чем дальнейшее рассмотрение результатов работы продолжим в рамках уже существующего решения.

Расчетный модуль реализован в приложении Visual Basic® for Applications AutoCAD. Процедура оценки напряженного состояния прибортовых массивов на карьерах, включает: во-первых, наличие профиля борта фактической конфигурации отстроенного по результатам маркшейдерских замеров, либо в его проектных параметрах с вынесенной в оцениваемую область инженерно-геологической и гидрогеологической информации (рис. 1, а). Профиль борта и сопутствующая расчету информация может быть самостоятельно отрисована непосредственно в области графических построений AutoCAD, либо быть импортирована из других графических приложений поддерживающих векторную графику с доработкой ее при необходимости в AutoCAD; во-вторых, активацию пользовательской формы (рис. 1, б), запускающей на выполнение расчетный модуль.

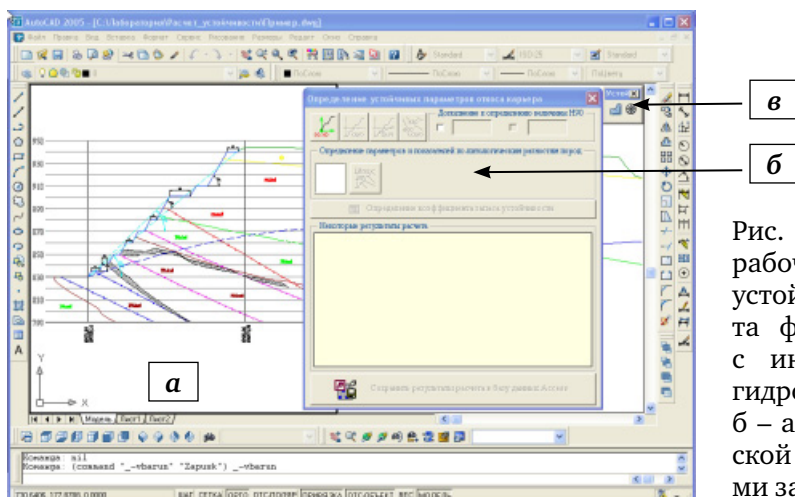


Рис. 1. Отображение области рабочих построений и расчетов устойчивости: а – профиль борта фактической конфигурации с инженерно-геологической и гидрогеологической нагрузкой; б – активный вид пользовательской формы; в – панель с кнопками запуска формы

В продолжение сказанного следует отметить, что пользовательская форма (рис. 2) – это модальное окно, в область которого вынесены основные процедурные компоненты.

Строго регламентированная – пошаговая последовательность нажатия управляющих кнопок позволяет осуществлять адресный сбор информации от совокупности объектов разной структурной принадлежности находящейся в области графических построений.

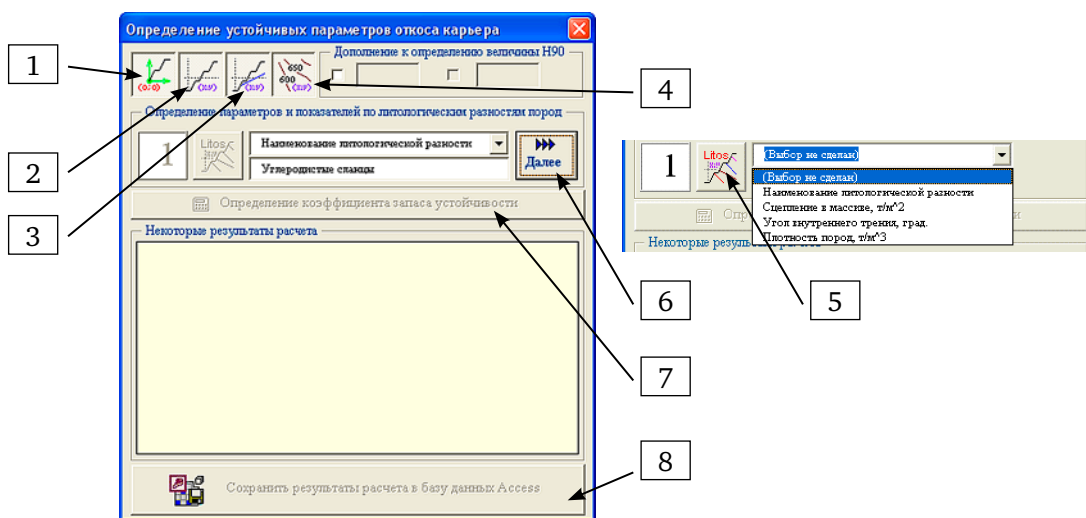


Рис. 2. Пользовательская форма с активным видом основных процедурных компонентов

Нажатие кнопок: 1 (задание начала координат в плоской системе X; Y), 2 (координаты структурных элементов профиля борта), 3 (координаты депрессионной воронки), 4 (координаты топоповерхности) – приводит к кратковременному скрытию модальной формы и последующему сбору всей совокупности координат от одноименных элементов, расположенных в графической области. Нажатие кнопки 5 (литология массива), как и в случае с четырьмя ранее описанными кнопками, приводит к получению координат границ залегания литологических разностей в прибортовом массиве, а также к заданию атрибутивной информации касающейся характеристик выделенного инженерно-геологического комплекса. Как можно видеть из рисунка 2, в качестве атрибутивной информации помещаемой в интервал конкретного инженерно-геологического комплекса (ИГК) входят данные касающиеся: наименования ИГК; величины сцепления в массиве (C_m , т/м²); угла внутреннего трения (φ , град.); плотности пород (γ , т/м³). В процессе насыщения инженерно-геологической базы данных атрибутивной информацией, посредством нажатия кнопки 6 осуществляется опрос пользователя относительно продолжения или завершения начатого процесса.

Итогом завершения формирования совокупной базы данных инженерно-геологических материалов является запуск расчетного модуля на выполнение (кнопка 7). В процессе работы расчетного модуля в области графических построений в скрытой форме происходит отрисовка серии потенциальных поверхностей скольжения (рис. 3) ограничивающих собой и профилем борта призму возможного обрушения, последняя также графически разбивается на шесть расчетных блоков.

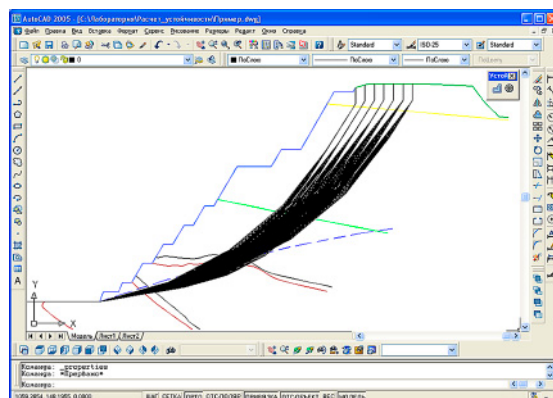


Рис. 3. Визуализация скрытых результатов поиска самой напряженной поверхности скольжения

Процедура построения поверхности скольжения выполняется в классическом виде, в ее основе лежит комбинированная форма поверхности, состоящая из двух прямолинейных участков, отстроенных под углами $(45^\circ \pm \varphi/2)$, и центральным участком, выполненным круглоцилиндрической поверхностью. Наличие двух прямолинейных участков поверхности

$(45^\circ \pm \varphi/2)$, один из которых берет свое начало из нижней границы вертикальной трещины отрыва (H_{90}), а другой из нижней бровки откоса, позволит в последующем адаптировать поверхность скольжения под имеющиеся в прибортовых массивах поверхности ослабления, падающие поверхностью сместителя в сторону выработанного пространства.

На рисунке 4 приведена схема алгоритма построения поверхности скольжения, аналитическое сопровождение данной схемы совместно с логикой механизма приращения координат в цикле поиска самой напряженной поверхности скольжения, и разбиением единичной поверхности скольжения на граничные отрезки расчетных блоков описаны ниже.

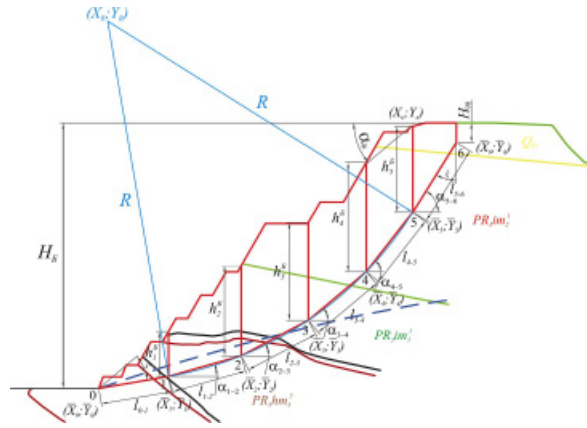


Рис. 4. Схема алгоритма построения поверхности скольжения и последующего расчета удерживающих и сдвигающих сил

Определение значений связующих звеньев 3-х участков в процессе построения поверхности скольжения с разбиением последней на расчетные блоки:

$$\xi = 45^\circ - \frac{\varphi}{2}; \alpha_{0-1} = \alpha_B - \xi; \alpha_{5-6} = 45^\circ + \frac{\varphi}{2}; \alpha_{1-5} = \frac{\alpha_{0-1} + \alpha_{5-6}}{2}; \delta = \frac{\alpha_{5-6} - \alpha_{0-1}}{2}.$$

Вычисляем координаты 6-й точки:

$$\bar{x}_6 = x_k + \Delta x_{j,i}; \operatorname{tg} \gamma_{k,k+1} = \frac{y_{k+1} - y_k}{x_{k+1} - x_k}; \bar{y}_6 = y_k + \Delta x_{j,i} \cdot \operatorname{tg} \gamma_{k,k+1}.$$

Вычисляем координаты 1-й точки:

$$\bar{x}_1 = x_0 + \Delta x_{i,j}; \bar{y}_1 = \bar{y}_0 + \Delta x_{i,j} \cdot \operatorname{tg} \alpha_{0-1},$$

где $\Delta x_{j,i}$ – величина смещения по верхней площадке откоса при поиске наиболее напряженной поверхности скольжения, м; $\gamma_{k,k+1}$ – угол наклона верхней площадки откоса, град.

Вычисляем линию пересечения точек 5 и 1:

$$\bar{x}_5 = \frac{(\bar{y}_6 - \bar{x}_6 \cdot \operatorname{tg} \alpha_{5-6}) - (\bar{y}_1 - \bar{x}_1 \cdot \operatorname{tg} \alpha_{1-5})}{\operatorname{tg} \alpha_{1-5} - \operatorname{tg} \alpha_{5-6}}; \bar{y}_5 = \bar{y}_1 + (\bar{x}_5 - \bar{x}_1) \cdot \operatorname{tg} \alpha_{1-5},$$

где $\Delta x_{i,j}$ – величина приращения по основанию откоса при итерационном поиске момента попадания точек 5 и 1 на круглоцилиндрическую поверхность при ее вписании в данном диапазоне координат, м.

Вычисляем линию, соединяющую точки 1 и 5 и радиус вписанной окружности R:

$$l_{1-5} = \frac{\bar{x}_5 - \bar{x}_1}{\operatorname{tg} \alpha_{1-5}}; R = \frac{l_{1-5}}{2 \cdot \sin \delta}.$$

Определяем длины оснований (l_i) и координаты расчетных блоков:

$$l_{(1)i} = 2 \cdot R \cdot \sin \frac{\delta}{(2)4}; l_{0-1} = \sqrt{(\bar{x}_1 - \bar{x}_0)^2 + (\bar{y}_1 - \bar{y}_0)^2}; l_{5-6} = \sqrt{(\bar{x}_6 - \bar{x}_5)^2 + (\bar{y}_6 - \bar{y}_5)^2};$$

$$\bar{x}_{i+1} = \bar{x}_i + l_{i-(i+1)} \cdot \cos \alpha_{i-(i+1)}; \bar{y}_{i+1} = \bar{y}_i + l_{i-(i+1)} \cdot \sin \alpha_{i-(i+1)}.$$

В границах каждого расчетного блока (1–6), в рамках обособленного границами блока фрагмента призмы обрушения отыскиваются средневзвешенные величины сцепления в массиве ($C_{m\ i=1...6}$), угла внутреннего трения ($\varphi_{i=1...6}$) и плотности пород ($\gamma_{i=1...6}$), а также величина гидростатического давления ($D_{i=1...6}$). Итогом поблочных расчетов является определение предельного равновесия в откосе удовлетворяемого во всех точках расчетной

области, которые включают в себя учет всех внутренних и внешних сил действующих по границам выделенных блоков (1-го, центрального (2–5), 6-го).

Критерием останковки повариантных расчетов является минимальная величина коэффициента запаса устойчивости (n), последний является атрибутом конкретной поверхности скольжения, которая в дальнейшем идентифицируется как самая напряженная. В настоящей работе в качестве аналогичной n интегральной характеристики напряженного состояния по рассматриваемым потенциальным поверхностям скольжения используется коэффициент напряженности k . Коэффициент напряженности k является отношением некоторой величины сцепления (C) при которой по рассматриваемой потенциальной поверхности скольжения реализуется условие предельного равновесия ($n=1$) к фактическому сцеплению в массиве горных пород, а именно: $k = C/C_m$.

Применение для оценки напряженного состояния прибортового массива карьера коэффициента напряженности k объясняется следующими причинами [5]:

- согласно теории предельного напряженного состояния известно, что, площадки скольжения в среде, подчиняющейся закону Кулона-Мора: $\tau = \sigma_n \cdot \operatorname{tg} \varphi + C$, формируются под углом $(45^\circ - \varphi/2)$ к оси главного нормального напряжения. Ввиду того, что данные углы не зависят от величины сцепления в среде, поэтому они, в допредельном состоянии массива характеризуют ориентировку потенциальных площадок скольжения. При этом минимуму разности удерживающих и сдвигающих напряжений, определяющих ориентировку потенциальных площадок скольжения, соответствует минимум коэффициента напряженности;
- по значениям коэффициента напряженности, рассчитанным для ряда потенциальных поверхностей скольжения, можно оценить положение границы зоны сдвиговых деформаций. Данное заключение вытекает из результатов моделирования на эквивалентных материалах, которые фиксируют, что деформирование земной поверхности в изотропной среде происходит до некоторой границы, так линия, проведенная от этой границы до нижней бровки карьера, наклонена к горизонту приблизительно под углом φ (угол внутреннего трения материала модели). Данный феномен объясняется тем, что при любых значениях сцепления и объемного веса пород, в откосе, отстроенном под углом φ к горизонту, деформации сдвига развиваться не будут.

Оценка напряженного состояния прибортового массива карьера с помощью коэффициента напряженности определяется из следующего выражения:

$$k = \frac{P + D}{C}, \text{ где}$$

$$P = \left(\sum_{i=2}^5 P_i + \Delta P_1 \right) \cdot \frac{\sin(\alpha_{cp} - \varphi_{cp})}{\cos \varphi_{cp}} + P_6 \cdot \frac{\operatorname{tg}(\alpha_{5-6} - \varphi_6) \cdot \cos(\alpha_{cp} - \varphi_{cp})}{\cos \varphi_{cp}} +$$

$$+ (P_1 - \Delta P_1) \cdot \frac{\sin(\alpha_{0-1} - \varphi_1) \cdot \cos(\beta_{E_{1-2}} - \alpha_{cp} + \varphi_{cp})}{\cos \varphi_{cp} \cdot \cos(45^\circ + \varphi_1/2)},$$

где $\alpha_{cp} = \left[\alpha_B + \frac{\varphi_1 + \varphi_6}{2} \right] / 2$; $\arctg \varphi_{cp} = \sum_{i=2}^5 \operatorname{tg} \varphi_i / 4$;

$$D = D_1 \cdot \frac{\sin \varphi_1 \cdot \cos(\beta_{E_{1-2}} - \alpha_{cp} + \varphi_{cp})}{\cos(45^\circ + \varphi_1/2) \cdot \cos \varphi_{cp}} + D_{1-2} \cdot \left[\frac{\cos(\alpha_{0-1} - \varphi_1) \cdot \cos(\beta_{E_{1-2}} - \alpha_{cp} + \varphi_{cp})}{\cos(45^\circ + \varphi_1/2) \cdot \cos \varphi_{cp}} - \right.$$

$$\left. - \frac{\cos(\alpha_{cp} - \varphi_{cp})}{\cos \varphi_{cp}} \right] + D_6 \cdot \frac{\sin \varphi_6 \cdot \cos(\alpha_{cp} - \varphi_{cp})}{\cos(\alpha_{5-6} - \varphi_6) \cdot \cos \varphi_{cp}} + \operatorname{tg} \varphi_{cp} \cdot \sum_{i=2}^5 D_i \cdot \cos(\alpha_i - \alpha_{cp});$$

$$C = C_{m1} \cdot l_{0-1} \cdot \frac{\cos \varphi_1 \cdot \cos(\beta_{E_{1-2}} - \alpha_{cp} + \varphi_{cp})}{\cos(45^\circ + \varphi_1/2) \cdot \cos \varphi_{cp}} + \sum_{i=2}^5 C_{mi} \cdot l_i \cdot \cos(\alpha_i - \alpha_{cp}) +$$

$$+ C_{m6} \cdot l_{5-6} \cdot \frac{\cos \varphi_6 \cdot \cos(\alpha_{cp} - \varphi_{cp})}{\cos(\alpha_{5-6} - \varphi_6) \cdot \cos \varphi_{cp}}.$$

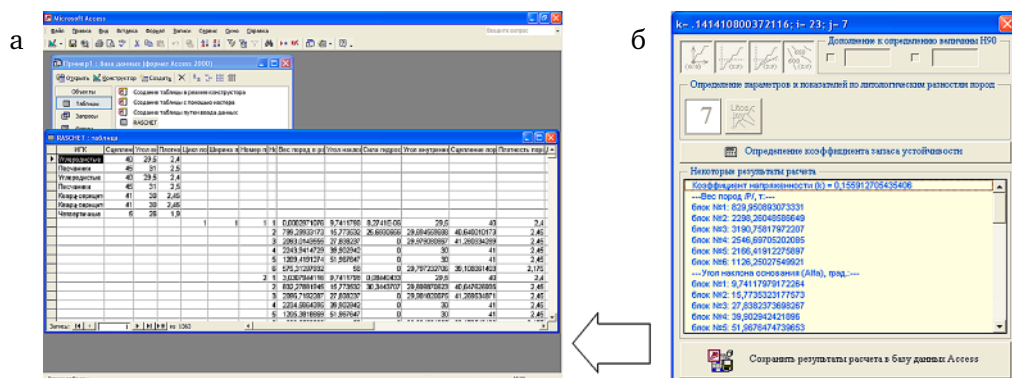


Рис. 5. Итоговое отображение результатов расчета устойчивости:
а – развернутая информация; б – информация по самой напряженной поверхности скольжения

Ввиду того, что общеупотребимым интегральным критерием, характеризующим устойчивость прибортового массива карьера, является коэффициент запаса устойчивости (n) определенный по самой напряженной поверхности скольжения, переход к нему осуществляется методом итераций из условия равенства нулю суммы моментов всех действующих сил при коэффициенте напряженности $k=1$.

Сохранение «Исходных данных» и развернутых данных расчета устойчивости осуществляется в таблицу базы данных Microsoft Access (нажатием кнопки 8, рис. 2), что в последующем позволяет их весьма удобно документировать в виде отчета (рис. 5, а). Текущий просмотр свернутой информации по самой напряженной поверхности скольжения выведен на модальном окне в область «Некоторые результаты расчета» (рис. 5, б).

Тестирование разработанной программы для плоского случая осуществлялось путём сравнения с численным решением, полученным с использованием метода предельного напряженного состояния сыпучей среды (грунтовых масс). Данный метод применяется к решению группы задач, в которых условие предельного равновесия удовлетворяется в каждой точке некоторой области. Теоретическое обоснование рассматриваемого метода дано в работах В.В. Соколовского [6].

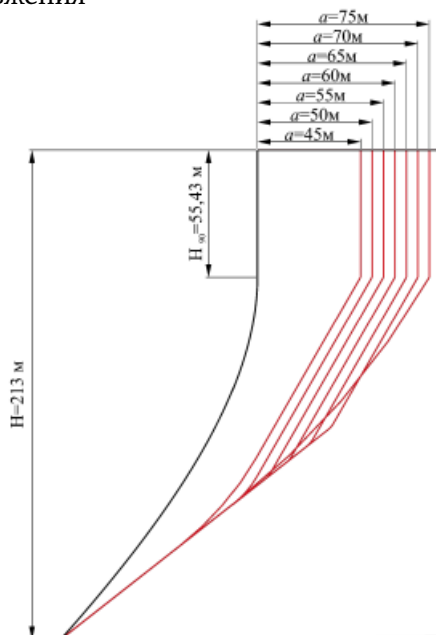


Рис. 6. Схема к расчету устойчивости вогнутого откоса ($H=213$ м)

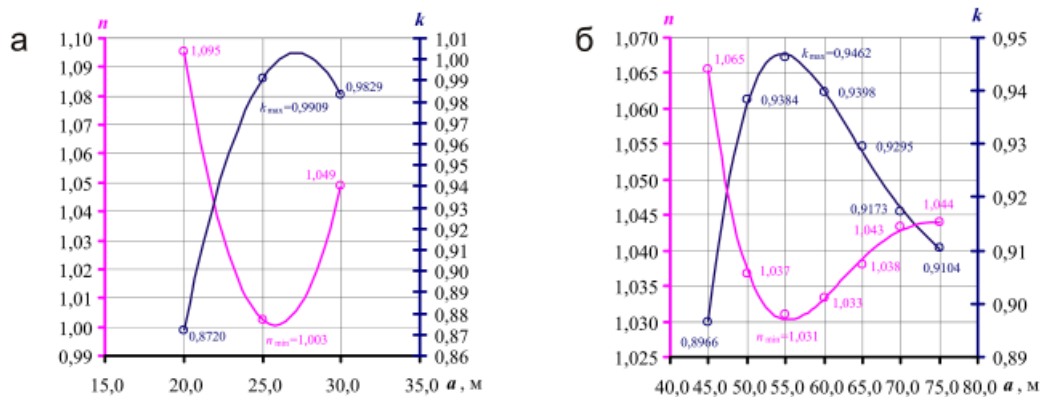


Рис. 7. Графики зависимости коэффициента запаса (n) и коэффициента напряженности (k) от ширины призмы возможного обрушения и при высоте вогнутого откоса (H): а) $H=113$ м; б) $H=213$ м

Схема к расчету устойчивости вогнутого откоса по Соколовскому и рассматриваемые потенциальные поверхности скольжения приведены на рисунке 6.

В результате расчетов для каждой из рассматриваемых потенциальных поверхностей скольжения и определялись коэффициент запаса устойчивости (n) и коэффициент напряженности (k). Результаты выполненных расчетов в виде соответствующих графиков приведены на рисунках 7 а, 7 б.

По результатам выполненного тестирования можно сделать следующие выводы:

- наиболее напряженная потенциальная поверхность скольжения, характеризующаяся минимумом коэффициента запаса, практически совпадает с поверхностью скольжения характеризующейся максимумом коэффициента напряженности;
- в рассматриваемом диапазоне высот вогнутого откоса ($2H_{90} < H < 4H_{90}$) коэффициент запаса устойчивости (n) определяемый по предлагаемому расчетному модулю отличается от точного решения Соколовского не более чем на 3 %.

Дальнейшими направлениями выполнения работы являются:

- учет всех внутренних сил действующих по границам выделенных блоков (образованных поверхностями скольжения второго семейства, под углом $(90^\circ - \varphi)$ к первому) для центрального фрагмента потенциальной призмы обрушения. Это позволит, посредством наложения поверхностей скольжения второго семейства максимально точно вписать параметры расчетных блоков в структурную неоднородность (активные породные блоки) прибортового массива в границах призмы обрушения, что в итоге приведет к повышению надежности в определении коэффициента запаса устойчивости;
- формирование и расчет вариантов трансформации поверхности скольжения (двух прямолинейных участков) под условия наличия в оцениваемом прибортовом массиве карьера поверхностей ослабления ориентированных плоскостью сместителя в выработанное пространство;
- разработка алгоритма включения результатов численного моделирования геофильтрации в задачу расчета устойчивости бортов карьера;
- завершить реализацию итоговой компоненты по определению результирующей величины запаса устойчивости в объемной постановке.

ЛИТЕРАТУРА

1. Елифанова М.В., Федоров С.А., Козырев А.А., Рыбин В.В., Волков Ю.И. Инженерно-геологические аспекты проектирования глубокого карьера Ковдорского ГОКа // Горный журнал. – 2007. – № 9. – С. 30–33.
2. Гордеев В.А. Оценка устойчивости карьерных откосов по методу предельного равновесия. Криволинейные поверхности скольжения // Изв. вузов. Горный журнал. – 2008. – № 2. – С. 54–64.
3. Цветков В.К., Демин А.М. Расчет рациональной формы контура борта карьера // Проблемы открытой разработки глубоких карьеров. – Тр. Междунар. симпоз. «Мирный-91» – г. Удачный, 1991. – С. 215–218.
4. Цветков В.К. Разработка теоретических основ расчета и напряженного состояния откосов и склонов. – Автореф. дис. на соиск. уч. степени докт. техн. наук – Новосибирск, 1983. – 39 с.
5. Отчет о НИР «Научное сопровождение оценки состояния прибортового массива и прогноза длительной устойчивости бортов на предельном контуре карьера «Восточный» / Отв. исполнитель Гурин А.Н. – ООО НИЭЦ «ТЕХНОГЕМ», Санкт-Петербург, 2007. – 36 с.
6. Соколовский В.В. Статика сыпучей среды. М.: Физматгиз, 1960. – 242 с.

ВЛИЯНИЕ ПАРОВ ВОДЫ НА ВЫБРОСЫ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ И ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

В.В. Мечев, О.А. Власов, П.В. Мечев

ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск, Россия

Аннотация

В статье рассмотрено влияние паров воды на выбросы на примере некоторых металлов и неорганических веществ. Дополнена формула Галлея-Лапласа параметрами колебаний атмосферы и выбросов. Установлена большая роль паров воды на распространение выбросов и образование смога.

В работе [1] мы показали, что выбрасываемые вещества в атомно-молекулярном виде взаимодействуют с атмосферой на основе резонанса колебаний фонового спектра атмосферы и вещества. Вещества в атомно-молекулярной форме – наночастицы – мало зависят от гравитационных сил, и их поведение в атмосфере зависит от свойств вещества и атмосферы и воздействия внешних сил давления, температуры, электрических и магнитных полей. В данной работе рассмотрено поведение газов (Cl_2 , CO , CO_2 , SO_2), некоторых металлов и неорганических веществ, пара и частиц воды. Такой выбор веществ связан с их токсичностью, характерен для некоторых предприятий и, на наш взгляд, достаточен для демонстрации нашего подхода к проблеме.

Физико-химические свойства веществ [2] и расчетные данные частот приведены в таблице 1.

Таблица 1

Вещества	$\alpha \cdot 10^{-6}, \text{K}^{-1}$	$C_p, \text{Дж/моль.гр}$	$V_0, \text{см}^3$	$P, \text{г/см}^3$	$M, \text{а.е.м.}$	$\omega \cdot 10^6$
Пар (H_2O)	250–300	75,3	18	1(H_2O)	18	0,014
Пар (373 K)	800	33,6	18			0,0023
Воздух	940–1223	29,3	22	1,3	14,4	0,0011(2*)
Ni	13	26,07	6,9	8,9	58,69	0,29
Cr	5	23,55	7,2	7,2	52	0,654
Pb	28,5	26,65	18,3	11,34	207	0,051
SiO_2	4,5	44	25,8	2,65	60	0,378
NaF	22–23	46,8	15	2,79	42	0,135–0,09
CO	1223	29	22,4	1,25	28	0,00105
CO_2	1241	37,1	22	1,99	44	0,00136
SO_2	567	39,8	22,9	2,93	64	0,0031
Cl_2	470	33,94	22,1	3,2	70,9	0,0033

*воздух ионизированный имеет место в при электродном пространстве электропечей, при грозе, над вулканами и т.д. В последнее время ведутся обширные исследования по воздействию ионизированного воздуха на атмосферу с целью изменения погодных условий.

Энергия, удерживающая частицы вещества любого агрегатного состояния на определенной высоте в атмосфере, зависит от потенциальной энергии, равной произведению Mgh , где $M = mN$ число молекул в моле вещества (m – масса отдельной молекулы-частицы, N – число Авогадро), g – ускорение силы тяжести. Эта энергия равна работе сжатия воздуха $RT \ln P_0/P_1$, где P_0 – давление на поверхности земли, P_1 – давление на высоте h . Но поскольку $P_0/P_1 = n_0/n_1$, где n_0 и n_1 – количество частиц соответственно на земле и на

высоте h , формула Галлея-Лапласа примет вид $-\ln n_0/n_1 = Mgh/RT$, а учетом сил Архимеда для шарообразной частицы (молекулы) примет вид:

$$RT/N \cdot \ln n_0/n_1 = 4/3 \pi r^3 (\rho_1 - \rho_2) \cdot gh,$$

где ρ_1 и ρ_2 соответственно – плотности частицы и среды.

Опыты Перрена [3] показали, что частички распределяются по высоте по закону геометрической прогрессии и нет принципиальной разницы между поведением молекул и частиц, величина грамммолекулы которых «достигает порядка 100000 тонн». Многочисленные работы ученых (Галилей, Ньютон, Эйлер, Бернулли, Менделеев, Фруд, Рейнольдс, Эйнштейн, Стокс, Жуковский, Чаплыгин, Крылов, фон Карман, Лаврентьев, Келдыш и др.) позволили установить различные закономерности движения тел в различных средах и ввести поправки в формулы движения. Наши работы показали [1, 6], что между телом и средой существует фонон-фононное взаимодействие, зависящее от физико-химических свойств тел и среды. А поскольку ангармонические колебания имеют акустическую и оптическую ветви спектра, эти взаимодействия являются дальнodelствующими по сравнению с силами вязкости, адсорбции и силами Ван-дер-Ваальса. При равенстве частот колебаний частицы и среды система находится в равновесии и совершает вместе со средой нормальные колебания ($\omega_{\text{ч}} = \omega_{\text{атм.}}$). Если имеется ангармонизм колебаний, частица совершает перемещения, стремясь достичь положения с минимумом энергии. Встреча в потоке частиц с другими характеристиками приводит к химическому или физико-химическому взаимодействию между частицами на основе резонанса колебаний с образованием систем, могущих гармонично сосуществовать с окружающей средой или выделяться (вытесняться) из нее. Эти явления мы можем наблюдать при образовании смога или долго сохраняющегося шлейфа газопылевых выбросов из дымовых труб. При изменении свойств среды (от изменения давления или температуры) частота колебаний как среды, так и частицы (или образований) изменяются, создаются условия, когда частица и атмосфера при изменении положения, например, высоты, меняют свои характеристики и происходит нарушение равновесия сил. Частица может выделиться из потока и далее совершать миграцию с учетом изменившихся условий. Введем соответствующие изменения в формулу Галлея-Лапласа.

В соответствии с формулой Эйнштейна, $D = kT \cdot \omega_{\text{подв.}}$, где перемещение частицы за счет диффузии (D) зависит от ее подвижности ($\omega_{\text{подв.}}$). Мы можем предположить, что D пропорционален α -коэффициенту линейного теплового расширения, так как этот коэффициент характеризует колебания частицы при воздействии температуры и давления.

Как показал Линдеман [4], при возрастании амплитуды колебаний решетки при определенных условиях может происходить увеличение подвижностей атомов и ее разрушение (например, плавление).

В таблице № 2 приведены данные по корреляции $\omega_{\text{подв.}}$ и α для металлов щелочной группы.

Таблица 2

Металлы	$\alpha \cdot 10^{-6}, K^{-1}$	$\omega_{\text{подв.}}$
Li	46	35
Na	71,5	43,3
K	79,6	64,5
Cs	97	77

Для веществ частота колебаний фононного спектра обратно пропорциональна величине α , что вытекает из формулы Ландау-Лифшица для фононного спектра [5].

Равновесие частицы в атмосфере будет иметь место при

$$(Mgh)/(RT \ln n_0/n_1) = \omega_{\text{атм.}}/\omega_{\text{част.}} \text{ или } [(Mgh)/(RT \ln n_0/n_1)] \cdot (\omega_{\text{част.}}/\omega_{\text{атм.}}) = 1.$$

$$\text{Отсюда, } h = [(RT \ln n_0/n_1) \cdot \omega_{\text{част.}}]/[Mg\omega_{\text{атм.}}].$$

Подставим значения частот фононного спектра частиц и получим:

$$h = [(RT \ln n_0/n_1) \cdot (C_{\text{р, част.}}/\alpha_{\text{част.}} \cdot V_{0, \text{част.}})]/[Mg(C_{\text{р, атм.}}/\alpha_{\text{атм.}} \cdot V_{0, \text{атм.}})].$$

С учетом сил Архимеда окончательно получим:

$$h = [(RT \ln n_0/n_1) \cdot (C_{\text{р, част.}}/\alpha_{\text{част.}} \cdot V_{0, \text{част.}})]/[Mg(\rho_1 - \rho_2) \cdot (C_{\text{р, атм.}}/\alpha_{\text{атм.}} \cdot V_{0, \text{атм.}})].$$

Мерой уменьшения количества частиц с высотой принято считать ту высоту, при которой число частиц уменьшается наполовину ($\ln 2 = 0,69$).

Рассчитаем высоту подъема атомов (молекул) веществ.

$$T = 353 \text{ К. } h_{\text{пара}} = (RT \ln 2) / (Mg \cdot \omega_{\text{возд.}} / \omega_{\text{пар}}) = \\ = (8,31 \cdot 10^7 \cdot 353 \cdot 0,69 / 18,981) \cdot 0,001 / 0,0014 = 8,2 \cdot 10^5 \text{ см.}$$

$$T = 373 \text{ К. } h_{\text{пара}} = (8,31 \cdot 10^7 \cdot 373 \cdot 0,69 / 18,981) \cdot 0,001 / 0,0023 = 5,3 \cdot 10^5 \text{ см.}$$

Интересно отметить, пар более горячий поднимается на меньшую высоту, что связано с его почти в два раза меньшей теплоемкостью. Пар поднимается до высоты, где он охлаждается до увеличения теплоемкости с меньшей скоростью (он сильно расширяется и охлаждается, отчасти конденсируется).

Рассчитаем по данным таблицы 1 высоту подъема паров металлов и газов.

Данные расчета приведены в таблице 3.

Таблица 3

Вещество	$\omega_{\text{возд.}} / \omega_{\text{вещ.}}$	$h \cdot 10^5 \text{ см}$
Ni	0,004–0,007	0,021
Cr	0,0017	0,006
Pb	0,022	0,019
SiO ₂	0,003	0,009
NaF	0,008	0,003
CO	1–2	6,3–12,5
CO ₂	0,77–1,5	0,6–0,3
SO ₂	0,35–0,65	0,1–0,2
Cl ₂	0,3–0,6	0,7–1,4

Однако в промышленных условиях пары и частички металлов, газы всегда выделяются из агрегатов вместе с парами воды. Все процессы горения углеводородов связаны с большим выходом паров воды. Рассчитаем взаимодействие веществ с водой и паром при 373 К ($\omega = 73,6/18 \cdot (250–300) \cdot 10^{-6} = (0,0135–0,0165) \cdot 10^6$). Как мы показали выше, пар на выходе из агрегата, расширяясь, охлаждается и фактически с веществами в атмосфере взаимодействуют микроскопические капельки воды. Это можно наблюдать и на бытовом уровне, если поднести какой-либо предмет с комнатной температурой к струе пара. При выделении пара совместно с частичками пыли и парами металлов, они становятся центрами конденсации воды и транспорт их и атмосфере идет совместно. Соотношение вещество–пар составляет $\omega_{\text{вещ.}} / \omega_{\text{пар}}$: для Ni – $0,29/0,0165 = 17,6$, для Cr – $0,654/0,0165 = 39,6$, для Pb – $0,051/0,0165 = 3,1$, для SiO₂ – $0,378/0,0165 = 23$, для NaF – $0,135(0,09)/0,0165 = 8,2(5,45)$, для SO₂ – $0,0031/0,0165 = 0,2$, для Cl₂ – $0,0033/0,0165 = 0,2$, для CO₂ – $0,00136/0,0165 = 0,0824$, для CO – $0,00105/0,0165 = 0,064$. Сернистый газ и хлор взаимодействуют с водой, и фактически они «притягивают» воду. Так, одна молекула SO₂ будет в равновесии с 5,32 молекулами воды, а хлора – с 5. Масса частицы пара с веществом составит: для никеля – $58,7 + 17,6 = 76,3$; для хрома – $51,9 + 39,6 = 91,5$; для свинца – $207,2 + 3,1 = 210,4$; для кремнезема – $60 + 23 = 83$; для фтористого натрия – $42 + 8,2 = 50,2$. Тогда получим:

$$h_{\text{Ni}} = [(8,31 \cdot 10^7 \cdot 353 \cdot 0,69) / (76,3 \cdot 981)] \cdot 0,007 = 0,019 \cdot 10^5 \text{ см;}$$

$$h_{\text{Cr}} = [(8,31 \cdot 10^7 \cdot 353 \cdot 0,69) / (91,5 \cdot 981)] \cdot 0,0017 = 0,004 \cdot 10^5 \text{ см;}$$

$$h_{\text{Pb}} = [(8,31 \cdot 10^7 \cdot 353 \cdot 0,69) / (210,4 \cdot 981)] \cdot 0,022 = 0,021 \cdot 10^5 \text{ см;}$$

$$h_{\text{SiO}_2} = [(8,31 \cdot 10^7 \cdot 353 \cdot 0,69) / (83 \cdot 981)] \cdot 0,003 = 0,0075 \cdot 10^5 \text{ см;}$$

$$h_{\text{NaF}} = [(8,31 \cdot 10^7 \cdot 353 \cdot 0,69) / (50,2 \cdot 981)] \cdot 0,008 = 0,033 \cdot 10^5 \text{ см;}$$

Масса частицы SO₂ с водой (паром) составит $64 + 5,32 = 69,32$, хлора с водой (паром) составит $35,45 + 5 = 40,45$. Тогда получим:

$$h_{\text{SO}_2} = [(8,31 \cdot 10^7 \cdot 353 \cdot 0,69) / (69,32 \cdot 981)] \cdot 0,35(0,65) = 1,042(1,9) \cdot 10^5 \text{ см}$$

$$h_{\text{Cl}_2} = [(8,31 \cdot 10^7 \cdot 353 \cdot 0,69) / (40,45 \cdot 981)] \cdot 0,3(0,6) = 1,5(3) \cdot 10^5 \text{ см.}$$

Одна частица СО находится в равновесии с $0,0165/0,00105 = 15,7$, CO_2 с $0,0165/0,00136 = 12,13$ частицами воды (пара). Тогда получим:

$$h_{\text{CO}} = [(8,31 \cdot 10^7 \cdot 353 \cdot 0,69)/(43,7 \cdot 981)] \cdot (1-2) = 4,72(9,44) \cdot 10^5 \text{ см};$$

$$h_{\text{CO}_2} = [(8,31 \cdot 10^7 \cdot 353 \cdot 0,69)/(56,13 \cdot 981)] \cdot 1,5(0,77) = 2,8(5,5) \cdot 10^5 \text{ см}.$$

Присутствие влаги в газах существенно влияет на поведение примесей. Выбросы пара для многих веществ способствуют их сосредоточению недалеко от объекта выбросов. Влагу надо оставлять на земле. Пар в смеси с газами способствует образованию смога и способствует распространению их на большие высоты и расстояния. Смог из смеси пара, газов и пыли – весьма устойчивая система, так как в определенных концентрациях его составляющие могут находиться в равновесии друг с другом и с атмосферой.

Обращает внимание то, что водяные пары способствуют подъему оксидов углерода в атмосферу на большие высоты, не способствуя их контактам с зеленым поясом земли.

ЛИТЕРАТУРА

1. В.В. Мечев, О.А. Власов, П.В. Мечев. Нормальные колебания и физико-химические свойства тел. М. «ИПЦ Маска». издание 2-е 2008. 227 с.
2. Физические величины. Справочник. М., Энергоатомиздат. 1991. 1225 с.
3. Х.С. Тейлор. Физическая химия. т. 1. Л.. Онти-химтеорет. 1935. 832 с.
4. С.И. Новикова. Тепловое расширение твердых тел. М. Наука. 1974. 292 с.
5. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Статистическая физика. М. Наука. 1964. 567 с.
6. V.V. Mechev. Thermal Expension and Vapor Pressure of Metals. Russian Metallurgy. 2002. No. 6. pp. 545-547.