

НАУЧНЫЙ ЦЕНТР «АЭТЕРНА»



**АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ
ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК:
ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ И ПРАКТИЧЕСКИЙ
АСПЕКТЫ**

КОЛЛЕКТИВНАЯ МОНОГРАФИЯ

Уфа
АЭТЕРНА
2015

УДК 00(082)
ББК 65.26
А 38

Рецензенты:

- 1. Прошин И.А., д.т.н., проф.***
- 2. Шлахов С.М., д.ф-м.н., проф.***

А 38 Актуальные вопросы технических наук: теоретический и практический аспекты: коллективная монография [под ред. И.А. Григорьева] . - Уфа: Аэтерна, 2015. – 126 с.

ISBN 978-5-906808-82-0

Коллективная монография «Актуальные вопросы технических наук: теоретический и практический аспекты» посвящена широкому кругу проблем, которые находятся в центре внимания. Монография призвана дать представление о актуальных теоретических и практических вопросах технических наук.

Ответственность за аутентичность и точность цитат, имен, названий и иных сведений, а так же за соблюдение законов об интеллектуальной собственности несут авторы публикуемых материалов. Материалы публикуются в авторской редакции.

УДК 00(082)
ББК 65.26

ISBN 978-5-906808-82-0

© ООО «Аэтерна», 2015
©Коллектив авторов, 2015

доцент, кафедры Проектирование зданий городское строительство и хозяйство
Северо-Кавказский филиал федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего профессионального образования
«Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова» (г. Минеральные Воды) Российская федерация

МЕЛКОЗЕРНИСТЫЕ БЕТОНЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СТЕНОВЫХ КАМНЕЙ ЦЕМЕНТНЫХ

1. К проблеме использования техногенных песков для производства мелкозернистых бетонов и изделий на их основе

Проблема использования техногенных месторождений характерна для всех промышленно развитых регионов России. Широкомасштабное применение в строительной индустрии одних из наиболее распространенных и крупнотоннажных техногенных материалов – искусственных песков – тормозится отсутствием (рис. 1):

- общей концепции их использования;
- методологии оценки степени их трансформации при техногенезе;
- классификации техногенных песков с позиций энергоемкости их применения;
- методологии проектирования технологий с учетом специфики приобретаемых типоморфных признаков;
- принципов обогащения с позиций сохранения и накопления энергии обусловленной техногенезом; и ряда других принципиальных позиций.

В связи с этим целью работы являлась оценка потенциала техногенных песков России и разработка концепции их использования при производстве эффективных мелкозернистых бетонов.

Проблему рационального использования техногенного сырья необходимо рассматривать с точки зрения трех уровней: проектируемые к освоению месторождения; текущие отходы; техногенные месторождения [7]. Каждый уровень имеет свой методологический подход и инструментарий, как с теоретической, так и с прикладной стороны. На нынешнем этапе наиболее актуальны два последних уровня.

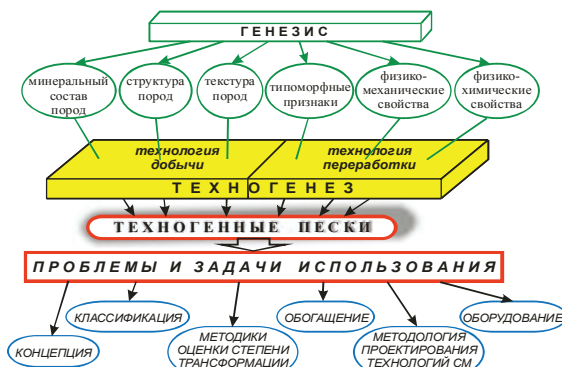


Рис. 1. Трансформация вещества при техногенезе и проблемы использования техногенных песков

Существенное отличие техногенных песков от природных, обусловленное технологическими операциями, влечет за собой ряд коренных изменений не только в текстуре и структуре, но и в параметрах (рис. 2), обуславливающих формирование техногенных песков как высокоактивных и энергонасыщенных компонентов твердеющих систем. Использование такого сырья в строительном материаловедении имеет свою специфику, как в процессе приготовления сырьевой смеси, так и при синтезе композитов.

Как известно, свойства мелкозернистого бетона есть функция f_1 от свойств вяжущего, водоцементного отношения, методов уплотнения бетонной смеси и качества заполнителя (рис. 3, f_1). Свойства заполнителя определяются структурно-текстурными характеристиками исходной породы, минералогическим составом, типоморфными особенностями и, как следствие, шероховатостью поверхности (рис. 3, f_2).



Рис.2. Факторы, обуславливающие специфику техногенных песков [7]

Следует отметить, что доминирующий до сих пор химический состав при определении качества заполнителя, не столь информативен, т.к. при одинаковом химическом составе вещества его минералогический состав может быть различен, с одной стороны, а, с другой – химический состав отражен в минералогическом, но, заметим, химический состав не дает информацию о минералогическом составе.

Частица мелкого заполнителя может состоять как из зерна одного минерала, т.е. мономинеральна, так и являться минеральным агрегатом – полиминеральна. И в том и в другом случае на степень развитости поверхности – ее шероховатости – оказывают влияние генетические особенности сырья и методы дезинтеграции заполнителя (рис. 3, f_3 , f_4). Но если в случае мономинерального состава заполнителя адгезия по всей поверхности зерна будет практически одинаковой, то у полиминеральной частицы в зависимости от минерального состава могут присутствовать участки с практически нулевой способностью к сцеплению.

Одним из важных факторов, влияющих на процессы структуро-образования искусственного композита, является как морфология зерен мелкого заполнителя (кубовидная, лещадная, пластинчатая, игловидная и т.д.), что достаточно хорошо изучено

[24], так и морфология поверхности заполнителя (степень шероховатости), чему по ряду причин до настоящего времени не уделяется должного внимания. В тоже время, проведенными нами исследованиями, доказана существенная роль характера поверхности частиц, подготовленной в различной степени геологическими (природный песок) и техногенными (отходы промышленности) процессами. Говоря о морфологии поверхности частицы, мы описываем форму ее поверхности, ее рельеф. Так при одинаковой морфологии частиц, например шарообразной, морфология поверхности может быть как гладкой, так и развитой, т.е. с положительными и отрицательными формами рельефа.

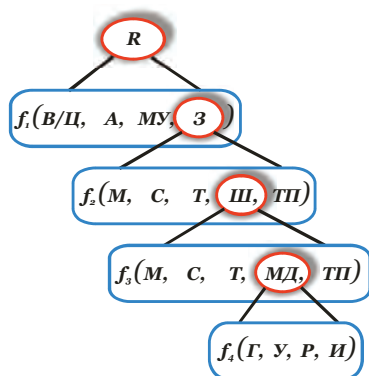


Рис. 3. Модель функциональной зависимости прочности бетона от свойств сырья и технологии:

R – оптимальные свойства бетона; B/C – водоцементное отношение;

A – совокупность свойств вяжущего; MU – метод уплотнения;

Z – свойства заполнителя; M – минералогический состав, C – структура, T – текстура,

$Ш$ – шероховатость, $ТП$ – типоморфные особенности заполнителя;

$МД$ – методы дезинтеграции заполнителя;

$Г$ – специфика генезиса природного заполнителя; $У$ – ударное воздействие,

$Р$ – раздавливание, $И$ – истирание в процессе техногенеза

Одним из направлений широкомасштабного использования техногенных песков являются мелкозернистые бетоны, значение которых в настоящее время возрастает, что объясняется большей стоимостью щебня и невозможностью получения однородной макроструктуры. В связи с этим предложенная концепция комплексного использования техногенных песков с учетом особенностей морфологии их поверхности была апробирована на примере использования мелких заполнителей бетонов, полученных при дроблении гравийной смеси Солдато-Александровского месторождения.

Создание оптимальных структур синтезированных мелкозернистых бетонов (МЗБ) на основе техногенных песков предопределило: снижение водопоглощения, рост морозо- и коррозионной стойкости, повышение прочностных показателей. Перерасход клинкерной составляющей вяжущего и повышенную водопотребность МЗБ позволяет ликвидировать

использование вяжущих низкой водопотребности (ВНВ), тонкомолотых цементов (ТМЦ) и добавок [1].

Таким образом, до настоящего времени, т.е. при использовании природных песков, существовали технологии производства строительных материалов, под которые осуществлялся поиск сырья. Нами, в виду истощения запасов традиционного сырья, определены принципы использования техногенных песков в зависимости от типоморфизма породообразующих минералов техногенного сырья и степени шероховатости поверхности заполнителя. Это позволило на основе нетрадиционного для стройиндустрии сырья разработать ряд технологий по производству высокоэффективных дорожно-строительных материалов.

2. Характеристика заполнителей мелкозернистого бетона

Техногенные пески весьма разнообразны по своему происхождению, условиям формирования и дальнейшего преобразования, химико-минеральному составу, строению, состоянию и свойствам. Они накапливаются с возрастающими темпами, имеют преимущественно поверхностное распространение и поэтому все чаще становятся сырьем для производства широкого спектра строительных материалов и изделий. Техногенные пески, являясь результатом деятельности человека, отличаются от природных песков характером распространения – локальным и спорадическим, мало или вообще не зависящим от геологических факторов.

По характеру образования техногенные пески разделяются на механогенные, пирогенные, хемогенные и биогенные (рис. 4). Хемогенные и биогенные пески не нашли широкого применения в стройиндустрии и поэтому на сегодняшний день не используются. Анализ существующих данных показал, что наиболее крупнотоннажными являются механогенные и пирогенные пески. В свою очередь механогеннообразованные подразделяются на отсеивы дробления и отходы обогащения.

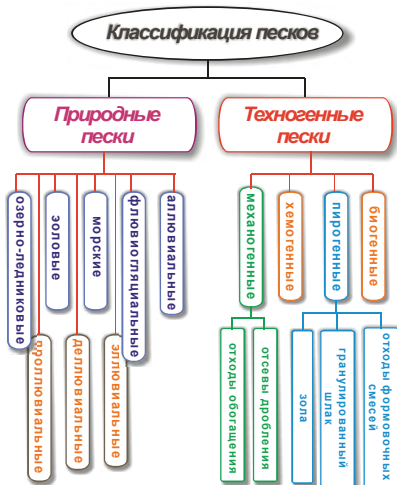


Рис. 4. Классификация песков

При производстве щебня образуются мелкодисперсные отходы – отсев дробления, который и является одним из видов техногенного сырья, распространенного на территории всех горнодобывающих предприятий.

Источником формирования отсева дробления служат различные горные породы осадочного (известняки, аргиллиты, песчаники, алевролиты и др.), магматического (граниты, базальты, порфиры, перлиты и др.) и метаморфического (сланцы, гнейсы, кварцитопесчаники, амфиболиты и др.) происхождения (рис. 5). Широкое распространение отсевов дробления (объем выпуска отсевов дробления составляет свыше 60-90 млн. м³ год) определило проведение значительного объема работ по применению этого материала в бетоне. Особенностью отсевов дробления является угловатая форма зерен и шероховатая форма зерен. В зерновом составе отсевов дробления преобладают фракции 2,5-1,25 мм и зерна менее 0,16 мм.

Удельная поверхность отсевов дробления больше удельной поверхности природных песков такого же зернового состава, а пустотность их выше. Поэтому применение отсевов дробления в бетонных смесях требует увеличения водосодержания, что может приводить к повышению расхода цемента в равнопрочных бетонах и ухудшению ряда строительно-технических свойств, снижению долговечности, повышению усадки и др.

Минеральный состав хвостов обогащения определяется составом исходного природного сырья. Минеральные ассоциации хвостов обогащения обусловлены видом извлекаемых полезных компонентов. Характерной особенностью хвостов обогащения рудных ископаемых является абсолютное преобладание неглинистых минералов (кварца, полевых шпатов, пироксенов, карбонатов и др.); присутствие некоторого количества глинистых минералов (хлорита в основном) мало сказывается на свойствах хвостов.

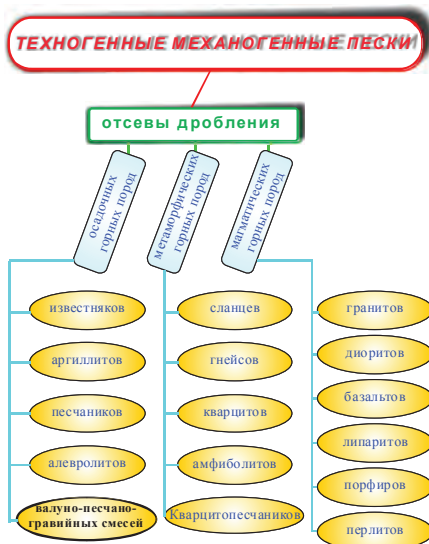


Рис. 5. Классификация техногенных механогенных песков

Структурные особенности хвостов обусловлены технологическими процессами дробления и измельчения кускового нерудного материала. Поэтому характерной является неправильная угловатая форма частиц. Дисперсность хвостов зависит от методов извлечения и обогащения, твердости и истираемости минералов.

Большая часть хвостов является пылеватыми, супесчаными и суглинистыми, реже встречаются мелкие и глинистые разновидности. Характерная для природных песков тесная взаимосвязь минерального состава и дисперсности в хвостах обогащения нарушена. Присутствие минералов в различных гранулометрических фракциях хвостов во многом обусловлено твердостью и истираемостью минеральных частиц.

При намыве пульпы в хвостохранилище происходит фракционирование хвостов. В месте выпуска пульпы, где скорость потока наибольшая, откладываются более тяжелые и крупные частицы, а более легкие и мелкие увлекаются потоком. По мере продвижения потока и уменьшения его скорости откладываются все более легкие частицы вплоть до уреза воды пруда-отстойника, куда стекают в основном глинистые и коллоидные фракции хвостов обогащения. В результате этого процесса в зонах выпуска (сброса) хвостовой пульпы на хвостохранилищах образуются откосы намыва, которые выступают над водной поверхностью. После смещения зоны намыва отложения хвостов на откосах быстро отдают воду, высыхают и при соответствующих скоростях ветра, подвергаясь ветровой эрозии, становятся источниками пылевого загрязнения. При этом пылящие площади тем больше, чем длиннее и шире обезвоженные откосы намыва.

Пирогенные пески подразделяются на золы; гранулированные шлаки; отходы формовочных смесей.

В результате сжигания при различных тепловых и фазовых превращениях твердого топлива образуется три вида отходов: зола-унос, зола топлива и шлак.

Минеральный состав зол и шлаков разнообразен и отличен от природных образований. Гранулометрический состав зол и шлаков определяется системой дробления. К золам относят частицы, размер которых не превышает 0,25 мм, в соответствии с действующими классификациями грунтов они отвечают пылеватым пескам. Шлаки содержат преимущественно частицы размером 0,25-0,40 мм и представляют гравелистые разности.

На гидроотвалах можно выделить четыре зоны фракционирования: шлаковую (шлаковую с преобладанием до 80-90% шлаковых фракций размером от 0,5 до 5 мм), золошлаковую (в пределах которой шлаковых фракций содержится не более 40-60%), зольную надводного намыва и зольную подводного намыва. Наряду с изменением дисперсности грунтов по площади на некоторых золоотвалах наблюдается изменение дисперсности по глубине, что часто обусловлено наращиванием дамб обвалования, увеличением его высоты и перемещением зон выпуска пульпы.

Перспективными и реальными областями применения техногенных песков являются производство мелкозернистых бетонов, как для гражданского, так и для дорожного строительства. Применение техногенных песков снижает себестоимость строительных материалов и ведет к удешевлению строительства.

Более детально исследованы техногенные пески Северного Кавказа, полученные при дроблении гравийно-галечных смесей. Основные характеристики отсева дробления

Солдато-Александровского месторождения, исследованного в данной работе, приведены в табл. 1. Характеристики песка Стодеревского месторождения приведены в табл. 2.

Таблица.1

Физико-механические свойства отсеков дробления

Песок из отсеков дробления	Модуль крупности	Мк = 3,0-3,6
	Содержание пылевидных и глинистых частиц	0,7% масс.
	Содержание глины в комках	нет
	Удельная эффективная активность естественных радионуклидов исходного материала	72,0 Бк/кг
	Марка по дробимости исходного материала	1000
	Насыпная плотность	1420 кг/м ³

Таблица 2

Характеристики песка Стодеревского месторождения

Полный остаток на сите № 063, в % по весу	Менее 0,14	Мк	Средняя плотность, кг/м ³	Насыпная плотность, кг/м ³	Пустотность, %
8,2	7,2	1,65	2620	1410	46,4

Для детальной диагностики фазового состава техногенного песка, методом шлихового опробования были отобраны зерна шести преобладающих агрегатов, отличающихся по цвету, морфологии зерен и их поверхности, для которых был выполнен рентгенофазовый анализ.

Анализ полученных данных показал, что в техногенном песке присутствуют агрегаты не только различного состава, но и зерна одного состава, но различного генезиса (табл. 3), о чем свидетельствует различие физических свойств частиц при идентичном минералогическом составе. Характерной особенностью исходных природных отложений, подвергнутых дроблению, является наличие в них рентгеноаморфного вещества, что обуславливает повышенную химическую активность данных образований.

Таблица 3

Фазовый состав проб

№ п/п (№ пробы по прил. 1)	Описание зерна	Формула	Название фазы	Основные отражения	Кол-во
1. (8536)	Серое шероховатое зерно, без характерного раковистого излома, излом землистый	SiO ₂	Кварц	3.34-4.26-1.82	****

2. (8541)	Прозрачные кристаллики, с характерным раковистым изломом, жирным блеском	SiO ₂ х-fase	Кварц Аморфная фаза	3.34-4.26-1.82	****
3. (8537)	Цвет молочно-белый, блеск стеклянный, реагирует с 0,1 % HCl	CaCO ₃ х-fase	Кальцит Аморфная фаза	3.04-2.99-2.10	****
4. (8538)	Цвет серый, текстура землистая, реагирует с 0,1 % HCl	CaCO ₃ х-fase	Кальцит Аморфная фаза	3.04-2.99-2.10	****
5. (8539)	Агрегат розового цвета, блеск стеклянный, имеются следы спайности	KAlSi ₃ O ₈ NaAlSi ₃ O ₈ SiO ₂ х-fase	Микроклин Альбит Кварц Аморфная фаза	4.22-3.25-3.26 3.20-3.78-3.68 3.34-4.26-1.82	** ** * *
6. (8540)	Агрегат черного цвета, с характерной лещадной формой зерен	SiO ₂ NaAlSi ₃ O ₈ х-fase	Кварц Альбит Аморфная фаза	3.34-4.26-1.82 3.20-3.78-3.68	** ** *

Следует отметить, что песок Стодереvского месторождения является мелким, поэтому с целью улучшения его гранулометрии и тем самым снижения расхода вяжущего применялся крупный техногенный песок – отсев дробления Солдато-Александровского месторождения.

3. Свойства стеновых камней цементных

В настоящее время актуальным является вопрос индивидуального жилищного строительства. В связи с этим требуются качественные и недорогие стеновые строительные материалы.

Наибольшее распространение получили стеновые камни, которые могут применяться для возведения стен, перегородок, цокольных этажей зданий, парапетов, опорных стен, декоративных заборов и т.п. Камни стеновые – самый распространенный строительный материал, производимый методом полусухого вибропрессования. Пустотелые камни имеют повышенные теплоизоляционные свойства за счет 30% пустотности и предназначены для возведения наружных и внутренних стен жилых и производственных зданий. Перегородочные камни имеют 25% пустотности и используются при возведении внутренних перегородок в зданиях, но могут использоваться и для наружных малонагруженных стен. Марка прочности бетона на сжатие выбирается исходя из назначения камней и может колебаться от 5 до 25 МПа.

В зависимости от необходимой прочности, морозостойкости и теплопроводности выбирается и состав бетона от легкого до тяжелого, на цементном и гипсовом вяжущем. В качестве мелкого заполнителя преимущественно применяется обычный кварцевый песок с модулем крупности 1,5 [10].

На базе исследований, проведенных в данной работе, выпускаются стеновые камни, свойства которых представлены ниже.

Типы, основные параметры и размеры камней.

Камни изготавливаются в виде пустотных прямоугольных параллелепипедов и выпускаются следующего типа:

СКЦ – на цементном вяжущем:

Камни подразделяются на целые; рядовые половинки; перегородочные; облицовочные рядовые; облицовочные угловые целые и др.

Основные типы, размеры и справочная масса бетонных стеновых камней должна соответствовать, приведенным в табл. 4 и на рис. 6. По согласованию с потребителем и базовой организацией по стандартизации допускается изготовление бетонных стеновых камней с другим числом, расположением и формой пустот при условии обеспечения средней плотности камней не более указанных ниже.

По прочности на сжатие камни подразделяются по маркам: 150, 125, 100, 75, 50, 35, 25.

По морозостойкости камни подразделяются на марки: F50, F35, F25, F15.

Камни подразделяются на рядовые (Р) и лицевые (Л). Лицевые камни изготавливаются с неокрашенными или окрашенными лицевыми поверхностями с маркой по прочности на сжатие не менее 75 кгс/см², по морозостойкости – не менее 25 циклов.

Средняя плотность пустотных камней не должна быть более 1650 кг/м³.

Таблица 4

Основные характеристики стеновых камней

Типо размер камне й	Характеристик а типа	Марка камней по прогноста на сжатие	Размеры, мм			Справоч ная масса камня, кг	Объе м бетон а в м ³
			длина	ширина	высота		
СКЦ-1	Камень рядовой целый	25,35,50,75	395	200	188	От 10 до 17	6,7
СКЦ-1п	Рядовой, рядовая и угловая половинка	25,35,50,75	195	200	188	От 5 до 8,5	3,9
СКЦ-2	Перегородочн ый рядовой, целый	25,35,50,75, 100	390	90	188	От 7 до 12	5,2
СКЦ-2п	Перегородочн ый, рядовая и угловая половинка	25,35,50,75, 100	195	90	188	От 3,5 до 6	2,7
СКЦ-3	Облицовочны й рядовой целый	75,100,125	390	120	188	От 9 до 14	6,0
СКЦ-3п	Облицовочны й, две рядовые половинки	75,100,125	195	120	188	От 4,5 до 7	3,2
СКЦ-3у	Облицовочны й угловой целый	75,100,125	390	120+70	188	От 10 до 17	7,0
СКЦ-4	Облицовочны й рядовой	75,100,125	395	120	188	От 11 до 18	7,8

	КОЛОТЫЙ						
СКЦ-4у	Облицовочный угловой колотый	50,75,100,125,150	395	120	188	От 11 до 18,5	7,9
СКЦ-5	Камень стеновой лоточный		400	195	188	От 12 до 19,5	8,4
СКЦ-6	Камень рядовой целый	50,75,100,125,150	390	190	188	От 12 до 19	8,3
СКЦ-6п	Камень стеновой, рядовой и угловая половинка	50,75,100,125,150	195	190	188	От 6 до 10	4,4
СКЦ-7	Камень рядовой целый	50,75,100,125,150	390	190	188	От 12 до 20	8,5

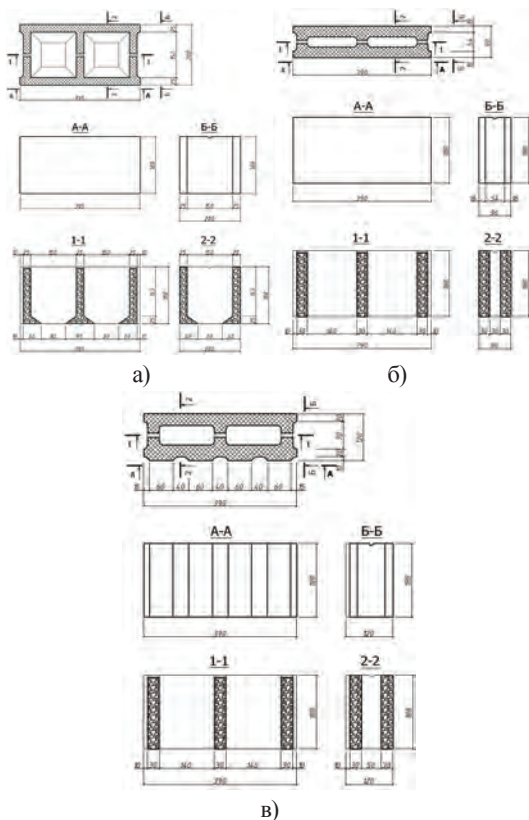


Рис. 6. Стеновые камни цементные

а) рядовой целый; б) перегородочный рядовой целый; в) облицовочный рядовой целый

По средней плотности и теплопроводности камни подразделяются на эффективные – плотность до 1400 кг/м^3 и условно-эффективные – плотностью от 1401 до 1650 кг/м^3 .

В зависимости от типов, марок, плотности и морозостойкости бетонным камням присваиваются условные обозначения. Пример условного обозначения стенового бетонного лицевого камня на цементном вяжущем размером $390 \times 190 \times 188 \text{ мм}$, марка 75, плотностью 1600 кг/м^3 , морозостойкостью 35.

СКЦ-6Л 75/1600/35 ТУ

То же рядового размером $390 \times 190 \times 188 \text{ мм}$ марки 100, плотностью 1600 кг/м^3 , морозостойкостью 25.

СКЦ-7Р 100/1600/25 ТУ

То же перегородочного, размером $390 \times 90 \times 188 \text{ мм}$, марки 50, плотностью 1500 кг/м^3 , морозостойкостью 15.

СКЦ-2-50/1500/15 ТУ

Технические требования. Стеновые бетонные камни изготавливаются в соответствии с требованиями ТУ 5741-001-10251714-98.

Отклонения номинальных размеров камней и показателей их внешнего вида не должны превышать указанных в табл. 5.

Размеры раковин, местных наплывов и впадин на бетонных поверхностях лицевых камней должны соответствовать требованиям ГОСТ 13015.0–83 для категории поверхности А6, диаметр раковины – не более 6 мм, глубина раковин, впадин и высота наплывов – не более 3 мм.

Цвет лицевых поверхностей лицевых камней должен соответствовать образам – эталонам, утвержденным в установленном порядке. Жировые или другие пятна размером более 10 мм на лицевых поверхностях камней не допускаются.

Предел прочности камней при сжатии в зависимости от марки прочности не должен быть меньше значений, указанных в табл. 6.

Таблица 5

Отклонения номинальных размеров камней и
показателей их внешнего вида

Наименование показателей	Значение отклонений	
	Рядовые камни	Лицевые камни
Отклонение от размеров, мм		
по длине	± 4	± 4
по ширине	± 3	± 3
по высоте	± 4	± 4
Отклонения от прямолинейности ребер и плоскостности граней, мм	6	4
Число отбитых и притуплённых ребер и углов на одном изделии, глубиной до 20 мм и протяженностью по ребру до 100 мм	3	2

Число камней с трещинами, пересекающими одно или два смежных ребра, а также половняка, % от партии, не более	10	5
--	----	---

Таблица 6

Прочностные характеристики стеновых камней

Марка камней	Предел прочности при сжатии по сечению (без вычета площади пустот) МПа (кгс/см ²) не менее		Марка камней	Предел прочности при сжатии по сечению (без вычета площади пустот) МПа (кгс/см ²) не менее	
	средний для трех образцов	наименьший для отдельных образцов		средний для трех образцов	наименьший для отдельных образцов
200	20,0 (200)	15,0 (150)	75	7,5 (75)	5,0 (50)
150	15,0 (150)	12,5 (125)	50	5,0 (50)	3,5 (35)
125	12,5 (125)	10,0 (100)	35	3,5 (35)	2,8 (28)
100	10,0 (100)	7,5 (75)	25	2,5 (25)	2,0 (20)

Отпуск камней потребителю производят только по достижении ими отпускной прочности при сжатии, определяемой при испытании целых камней или контрольных образцов – кубов. Определение переходных коэффициентов от прочности образцов-кубов к прочности камней проводят согласно обязательного приложения 3 ГОСТ 6133–84.

Отпускная прочность в процентах от проектной марки по прочности на сжатие не должна быть менее:

- 50 – для камней марок 100 и выше;
- 75 – "-" - "-" - 75 и ниже;
- 100 – "-" - "-" - 25.

Предприятие-изготовитель при отпуске камней с прочностью ниже их проектной марки обязано гарантировать достижение ими проектной марки в возрасте 28 суток со дня изготовления.

В камни или образцы – кубы в насыщенном водой состоянии должны выдерживать без каких-либо признаков видимых повреждений (шелушения, расслоения, выкрашивания) не менее 50, 35, 25, 15 циклов замораживания и оттаивания соответственно. Потеря прочности при сжатии образцов, испытанных на морозостойкость, не должна превышать 25% марочной прочности контрольных образцов, а потеря массы не должна превышать 5%.

Материалы, применяемые для изготовления камней, должны соответствовать требованиям стандартов и технических условий, перечень которых приведен в справочном приложении 2, ГОСТ 6133–84.

4. Состав и свойства бетонных смесей в зависимости от модификации стеновых камней цементных

Мелкозернистые бетоны третьего тысячелетия – это модифицированные бетоны с использованием комплексных добавок. Основными модификаторами мелкозернистых бетонов служат добавки различной природы. Использование добавок определенного качества и в оптимальном количестве позволяет сознательно управлять процессами структурообразования и создавать высокофункциональные бетоны. Особенно актуально применение добавок при использовании техногенного сырья, которое зачастую является тонкодисперсным и полиминеральным.

Как показывает строительная практика, использование добавок позволяет получать ощутимый технико-экономический эффект и повышать долговечность.

Вводимые в небольших количествах – десятых и сотых долях процента от массы цемента – они существенно влияют на химические процессы твердения цемента и бетона, обеспечивая повышение его технологических и улучшения комплекса физико-механических свойств [11].

Все добавки (природные или искусственные химические продукты) классифицируются по механизму их воздействия и разделяют на четыре класса (рис. 7).

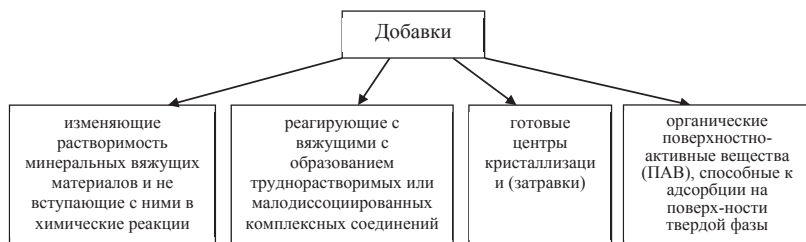


Рис. 7. Классификация добавок по механизму их воздействия

Для регулирования свойств бетона, бетонной смеси и экономии цемента при производстве стеновых камней цементных применяют в основном: химические добавки, вводимые в бетон в небольшом количестве (0,1...2% от массы цемента) и изменяющие в нужном направлении свойства бетонной смеси и бетона. Применение химических добавок является одним из наиболее универсальных, доступных и гибких способов управления технологией бетона и регулирования его свойств. Если ранее наиболее широко в строительстве использовались, в виде добавок, отдельные химические продукты и модифицированные отходы промышленности, то в настоящее время преобладают добавки, специально приготовленные для бетона, в том числе для производства стеновых камней цементных, (суперпластификаторы, органно-минеральные и другие). Планы развития строительной индустрии и производства стеновых камней цементных предусматривают значительное расширение производства бетонных смесей с использованием эффективных добавок [3, 4, 95, 12–17].

На строительном рынке в настоящее время представлены следующие виды пластифицирующих добавок, выпускаемые как отечественными так и зарубежными

производителями. Это такие как: С-3, дофен, агипласт, кормикс, ломар Д, мелмент, перамин, реобилд 2000, а также зика и аддимент различных модификаций и др.

Для снижения расхода цемента и улучшения подвижности, при производстве стеновых камней цементных из мелкозернистого бетона применяют химические добавки, эффективное уплотнение песчаных бетонных смесей и крупные пески с оптимальным зерновым составом. В цементно-песчаных смесях с высоким содержанием цемента накоплен опыт применения суперпластификаторов. Суперпластификаторы, в основном, являются синтетическими полимерными веществами, поэтому очень дороги. Но несмотря на повышенную стоимость, бетоны, модифицированные такими ПАВ, эффективны, так как экономия цемента в них может достигать 50 кг/м^3 и более.

Наиболее широко применяется в приготовлении бетонной смеси для производства стеновых камней цементных такая добавка как суперпластификатор С-3, являющаяся разработкой специалистов НИИЖБ. Суперпластификатор С-3 является аналогом зарубежных суперпластификаторов типа «Майти 100» (Япония), сикамент, мельмент (Германия). Добавка С-3 в количестве 0,2-0,7% от массы цемента позволяет получить литые самоуплотняющиеся, практически не требующие вибрации бетонные смеси, а при снижении расхода воды затворения – бетоны повышенной прочности при неизменной подвижности смеси.

Суперпластификатор С-3, по своему химическому составу, наряду с основным действующим компонентом - продуктом конденсации нафталинсульфокислоты и формальдегида содержит небольшие добавки лингосульфонов и сульфата натрия [2, 18, 19].

Так же в настоящее время широко применяются суперпластификаторы на основе модифицированных поликарбоксилатов, расход которых колеблется от 0,2% до 1,3%. Суперпластификатор аддимент на основе поликарбоксилатов универсален своим длительным временем действия (до 90 минут) и вводится 0,2–0,6%.

К суперпластификаторам добавляют хлорид, нитрат и глюконат кальция, тиосульфат и бикарбонат натрия, лингосульфونات, полиоксипропилен, синтетические микропенообразователи, соли винной кислоты, производные сахаров и другие вещества. Введение в суперпластификаторы дополнительных компонентов позволяет регулировать сроки схватывания и темп твердения бетона; увеличить сроки подвижности бетонной смеси; уменьшить водоотведение и расслоение бетонной смеси; регулировать воздухоудерживающую способность бетонной смеси, пористую структуру бетона и ее проницаемость и тем самым обеспечить заданную морозостойкость; повысить плотность, водонепроницаемость и прочность бетона; улучшить качество поверхности бетона; уменьшить расход синтетического продукта и снизить стоимость добавки без ухудшения ее свойств. В зависимости от назначения комплексной добавки подбираются дополнительные компоненты к суперпластификатору [20, 21].

В качестве ускорителей твердения, при производстве стеновых камней цементных применяют хлорид кальция, сульфат натрия, нитрит-нитрат-хлорид кальция и др.

В качестве противоморозных добавок, при производстве стеновых камней цементных имеется опыт применения поташа, хлорида натрия, хлорида кальция и др. Эти добавки

понижают точку замерзания воды и способствуют твердению бетона при отрицательных температурах.

При производстве высококачественных стеновых камней цементных, с повышенными требованиями к визуально-эстетическим свойствам изделия и долговечности накоплен опыт использования композиционных мелкозернистых бетонов. Композиционные мелкозернистые бетоны – это высокоэффективные многокомпонентные бетоны, в которых используются композиционные вяжущие вещества, комплексы химических модификаторов структуры, свойств и технологии материала, активные минеральные компоненты, в том числе супертонкие, расширяющие и другие специальные добавки. Многокомпонентность состава позволяет эффективно управлять структурообразованием материала на всех этапах технологии, обеспечивая высокое качество получаемых изделий и конструкций [22, 24].

В качестве модификаторов и активных компонентов, влияющих на реологию цементно-песчаной смеси, кинетику физико-химических процессов, структуру и свойства мелкозернистого бетона и его эксплуатационную надежность, используют:

- комплексы химических модификаторов различного назначения;
- дисперсионные наполнители-разбавители;
- ультрадисперсные наполнители-уплотнители и активизаторы;
- компоненты, позволяющие совместно с химическими модификаторами управлять реологией бетонной смеси и процессами затвердения;
- компоненты позволяющие управлять физико-химическими процессами твердения;
- компоненты, придающие бетону специальные свойства;
- дисперсионные волокнистые компоненты;
- компоненты регулирующие внутреннее тепловыделение материала.

Необходимо отметить опыт компании ООО НПЦ «Технопласт» в производстве добавок в бетон, в том числе для стеновых камней цементных. НПЦ «Технопласт» запатентовал, производит и реализует пластификаторы «Алпласт» и «Семпласт».

Добавка «Алпласт» позиционируется как пластификатор преимущественно для товарного бетона. Добавка создана на основе надлежащим образом модифицированных линогосульфонов. «Алпласту» удалось преодолеть 2 основных недостатка известных линогосульфоновых добавок: замедление твердения и воздухововлечение. В результате создана добавка, позволяющая получать бетонные смеси с маркой по подвижности ПЗ-П5 при дозировке 0,25-0,3% при неизменных (по сравнению с С-3) B/C отношении и расходе цемента.

К настоящему времени НПЦ «Технопласт» накоплен опыт практического применения «Алпласта» вместо С-3 в производстве товарного бетона классов В22,5 – В25, в том числе для стеновых камней цементных.

Имеется также заключение НИИЖБ об отсутствии отрицательного влияния добавки «Алпласт» на деформативные характеристики бетонов. Таким образом, «Алпласт» позволяет получить те же эффекты, что и известные суперпластификаторы [4, 5, 23].

В настоящее время большое распространение получили минеральные добавки, получаемые из природного или техногенного сырья, представляют собой порошки и

отличаются от химических модификаторов тем, что они не растворяются в воде, являясь тонкодисперсной составляющей твердой фазы бетона или раствора.

Тонкомолотые минеральные добавки, в зависимости от их состава, химической активности и преобладающего механизма действия, подразделяют на следующие группы:

I – добавки-наполнители, играющие только микронаполняющую роль. К ним относятся пески, известняки-ракушечники, маршалит, глинистые грунты. Они должны удовлетворять следующим требованиям: удельная поверхность не менее $350 \text{ м}^2/\text{кг}$, однородность и постоянство состава. Вводится в цемент для его «разбавления» до уровня, обеспечивающего получение оптимального соотношения между активностью цемента и прочностью бетона и, как следствие, экономии цемента.

II – активные, обладающие самостоятельной или скрытой гидравлической активностью или пуццоланическим действием. В качестве сырья используют вещества природного или техногенного происхождения с высокой удельной поверхностью и состоящие в основном из аморфного кремнезема (более 50%). К ним относятся: диатомит, трепел, опока, вулканические туфы, пемзы и пепел, а так же золы, шлаки, микрокремнеземы (ультродисперсные отходы ферросплавного производства). Они должны удовлетворять следующим требованиям: удельная поверхность не менее $200\text{--}500 \text{ м}^2/\text{кг}$, аморфная и частично кристаллизованная структура. Вводится для уменьшения клинкерной составляющей в бетонах.

Таким образом, для производства стеновых камней цементных применяют различные суперпластификаторы и минеральные добавки. Позволяющие улучшать подвижность бетонной смеси и способствовать экономии цемента, что особенно актуально при использовании в качестве мелкого заполнителя техногенного сырья.

В данной работе были разработаны составы бетонных смесей марок М25, М50, М75 и М100. В качестве вяжущего применяли Черкесский портландцемент ЦЕМ II/A-III 32,5Н, заполнителем являлся фракционированный отсев дробления Солдато-Александровского карьера. Полученные результаты, представлены в табл. 7.

Составы, приведенные в таблице, соответствуют требованиям, предъявляемым к стеновым камням. Это в свою очередь позволяет сделать вывод о том, что использование отсева дробления Солдато-Александровского месторождения и песка Стодеревского карьера позволяет получать продукцию надлежащего качества и тем самым решать проблему заполнителей в регионе.

Таблица 7

Подбор состава бетона для камней стеновых цементных

Изделие, № состава	Расход материалов, $\text{кг}/\text{м}^3$					Предел прочности при сжатии в 28 сут., МПа
	Цемент	Песок	Отсев	Вода	ВЦ	
1 состав СКЦ-2 М-25	330	724	960	86	0,26	2,51
2 состав СКЦ-4 М-50	430	674	910	93	0,21	5,11
3 состав СКЦ-6 М-75	530	554	920	106	0,2	7,51
4 состав СКЦ-6 М-100	600	510	870	120	0,2	10,0

Применение суперпластификаторов в технологии производства СКЦ позволило сократить расход цемента на 15-20% в зависимости от предела прочности изделий.

Список использованной литературы:

1. Лесовик Р.В. Мелкозернистые бетоны для дорожного строительства с использованием отходов мокрой магнитной сепарации железистых кварцитов. Дисс. к.т.н., – Белгород, 2002.- 207 с.
2. Иващенко С.И., Комар А.Г. и др. Исследование влияния минеральных и органических добавок на свойства цементов и бетонов//Изв. вузов. Строительство. – 1993. – № 9. – С. 16– 19.
3. Ратинов В.Б., Розенберг Т.И., Кучерова Г.Д. Комплексные добавки для бетонов / Бетон и железобетон. – 1981. – № 9. - С. 9–10.
4. Гаврилов А.Н., Попов М.А., Попов А.Я. Специальные добавки в бетон и строительные растворы. – София: Техника 1980. – 247 с.
5. Коровкин М.О., Власов И. Б. Новый пластификатор из отходов производства антибиотика // Теория и практика применения суперпластификаторов в бетоне: Тез. докл. к зон. конф. – Пенза, 1990. – С. 67– 68.
6. Neuerungen bei Fahrbahndecken aus Beton. – Teil I. Grundlagen und Fortschritten / Fleischer W., Grossmfin D., Moschwitzter H.// Beton. – 2000. – № 7. – S. 376-380.
7. Les matériaux autocompactants essorables de structure (MACES). Etude de faisabilité d'une nouvelle gamme de matériaux hydrauliques pour les assises de chaussées / Herr O., Vachon M., Serdan Th., Lerrand F., Balay J.-M.// Bulletin des laboratoires des Ponts et Chaussées. – 2001. – № 232, mai-juin. – P. 99-103.
8. Баженов Ю.М., Алимов Л.А., Воронин В.В. Прогнозирование свойств бетонных смесей и бетонов с техногенными отходами // Изв. ВУЗов. Строительство. – 1997. – № 4. – С. 68–72.3.
9. Хархардин А.Н., Лесовик Р.В. Вестник отделения строительных наук [Текст]: период. науч. изд. / Рос. акад. архитектуры и строит. наук, БГТУ им. В.Г. Шухова. – Вып. 9. – Белгород: ГП «Белгородская областная типография», 2005 – с. 421-429 см.– 300 экз. – ISBN 5-88817-038-0
10. Лесовик Р.В., Ковтун М.Н., Алфимова Н.И., Соловьева Л.Н. Использование отходов алмазобогащения при производстве стеновых камней //Наука и технология строительных материалов: состояние и перспективы развития: Материалы докладов Международной научн.-практ. конф. – Минск: БГТУ, 2005. – 195–198.
11. Добавки в бетоны и строительные растворы. Учебно-справочное пособие / Л.И. Касторных. – Ростов н/Д.: Феникс, 2005. – 221 с. – (Строительство).
12. Bodenstabilisierung // Tiefbau [Tiefbau-Berufsgenoss]. – 1997. – 109. – № 12. – С. 793–794.
13. Verfahren und Bindemittel zur Verbesserung und / oder Verfestigung von Boden / Заявка 19706498 Германия, МПК⁶ Е 01 С 21 / 00 Rohbach G. – № 1970698 / Заявл. 19.2.97; Опубл. 1.12.97.

14. Renhe Yang, Christopher D Lawrence, Cyril J. Lynsdale, John H. Sharp, Cement and Concrete Research Vol.29, pp 17–25, 1999.

15. Liant hydraulique pour le traitement des sols ou materiaux arqileux: Заявка 2736047 Франция, МПК 6 С 04 В 28 / 02 / Vecoven Jacque H., Musikas Nicolas, Haad Emmanuel R.; Group Origny S.A. – № 9507824; Заявл. 29.6.95.; Опубл. 3. 1.97

16. Beton de ciment et beton de ciment mince colle. L'experience americaine/ Col L. W.// Revue Generale des Routes. – 1999. – № 769. – P. 28-32.

17. Herzog A., Mitchell J.K. Reaktions Accompaning Stabilization of Clay With Cement. "Cement-Tread Soil Mixtures 10 Reports". Highway Research Record. P 36, Wacyington, 1962.

18. Младова М.В., Бибик М.С. Экономия цемента при использовании суперпластификатора С-3 // Бетон и железобетон. – 1989. – № 4. – С. 11-12.

19. Bodenstabilisierung mit hydraulischen Bindemittelh im Erd – und Strabenbau /Neumann A. // Tiefbau [Tiefbau-Berufsgenoss]. – 1997. – 109, № 12. – С. 759– 767.

20. Шлакощелочные вяжущие и мелкозернистые бетоны на их основе/Под ред. проф. Глуховского В.Д. □ Ташкент: Узбекистан, 1980. □ 484 с.

21. V.S.Ramachandran Concrete admixtures handbook. – Park Ridge, N.J., 1988.- 570 с. (Добавки в бетон. Справочное пособие)

22. Афанасьев Н.В., Целуйко М.К. Добавки в бетоны и растворы. – Киев: Будивэльнык, 1989.- 127 с.

23. Иванов Ф.М. Основы эффективного использования суперпластификаторов В кн. Исследование и применение бетонов с суперпластификаторами. – М.: НИИЖБ, 1982. – С.3-6

24. Комарова Н.Д. Стеновые камни цементные на основе техногенных песков Северного Кавказа. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Белгород 2006.- 227с.

© Н.Д. Комарова, 2015

УДК 62

Ю.В. Литвинова, Н.Д. Комарова

доцент, кафедры Проектирование зданий городское строительство и хозяйство
Северо-Кавказский филиал федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего профессионального образования
«Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова» (г. Минеральные Воды) Российская федерация

ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССОВ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ ПРИ ТВЕРДЕНИИ МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ БЕТОНОВ НА МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ВЯЖУЩИХ

1. Возможности повышения качества бетонов для производства тротуарной плитки

Появление новых высококачественных бетонов открыло новую эру в строительной сфере. Их уникальные свойства позволили реализовать такие проекты, о которых недавно

трудно было и мечтать. Достаточно упомянуть тоннель под Ла-Маншем, 125-этажный небоскреб в Чикаго высотой 610 метров, мост через пролив Акаси в Японии с центральным пролетом 1990 метров (мировой рекорд 1990 года). Мост через пролив Нордамберленд в Восточной Канаде длиной 12,9 километра сооружен на опорах, которые на глубину более 35 метров погружены в воду. При крайне суровых условиях эксплуатации (ежегодно бетон подвержен 100 циклам замораживания и оттаивания) конструкции этого моста рассчитаны на срок службы 100 лет.

Оптимизация гранулометрического состава вяжущих в начале 70-х годов выявила значительные резервы снижения водоцементного отношения и интенсификации реакций гидратации. Вслед за получением цементных камней с прочностью на сжатие свыше 250 МПа были получены так называемые DSP-композиты (уплотненные системы, содержащие гомогенно распределенные ультрамалые частицы). Эти материалы включают в себя специально подготовленные цементы, микрокремнезем, заполнители и микроволокна. А за счет особых технологических приемов при В/Ц=0,12-0,22 удалось достичь прочности 270 МПа при высокой стойкости к коррозионным воздействиям и истиранию.

Еще одним примером развития новых технологий являются бетоны на цементях (вяжущих) низкой водопотребности (ЦНВ, ВНВ). ЦНВ получают по специальной технологии совместным помолом ингредиентов: клинкера или готового портландцемента и сухого модификатора, а также при необходимости активной минеральной добавки (золы-уноса, пуццолана, шлака и т. п.) и/или наполнителя, а также гипсового камня (гипса). Механохимическая обработка позволяет синергетически усилить полезные свойства компонентов комплексного вяжущего: прочность цемента возрастает на 2-3 марки, а пластифицирующий эффект органического компонента модификатора увеличивается примерно в два раза. На практике это приводит к снижению водосодержания изопластичных бетонных смесей до 120-135 л/м³ и В/Ц До 0,25-0,30 для подвижных смесей и до 0,20-0,25 - для жестких (под Ц здесь понимается расход вяжущего).

Заметным преимуществом применения бетонов на ЦНВ является снижение температуры изотермического прогрева или полный отказ от тепловой обработки. Так, при изготовлении объемных блоков из мелкозернистого бетона при температуре прогрева 35-50°C выявлена возможность сокращения ТВО в два раза, причем проектная прочность достигалась уже в возрасте 1 суток, а в возрасте 28 суток фактическая прочность превышала проектную на 50-70% и более.

Наряду с этим эффективность использования ЦНВ обусловлена снижением расхода вяжущего при изготовлении 1 м³ равнопрочных бетонов: коэффициент использования вяжущего по данным промышленной апробации составляет 1,7-2,4 для тяжелого бетона и 1,3-1,4 - для мелкозернистого (коэффициент использования портландцемента - 0,6-0,9, т. е. каждому килограмму расхода портландцемента соответствует 0,06-0,09 МПа прочности бетона).

Особенностью ЦНВ является многовариантность составов и соответственно свойств вяжущих, дающая возможность наиболее полно реализовать потенциал портландцементного клинкера в зависимости от конкретных требований, предъявляемых технологией производства и условиями эксплуатации бетонных и железобетонных изделий

и конструкций. Известно, например, что использование на практике принципов механохимической активации позволило получить вяжущие, качество которых при содержании в них 50-70% минеральных добавок не уступает качеству цементов марок 500-600 (класса 45 по EN). При замене гипса в ЦНВ на химические регуляторы схватывания и твердения, а также с применением специальных добавок, понижающих точку замерзания воды в бетоне, получена широкая гамма вяжущих для ведения бетонных работ при отрицательных температурах. Важно при этом подчеркнуть, что все бетоны на ЦНВ отличаются значительно меньшей энергоемкостью, а с экологической точки зрения новая технология позволяет почти вдвое сократить выбросы промышленных газов в цементной промышленности и вовлечь в производство огромное количество разнообразных техногенных отходов.

Наметились неплохие перспективы замены обычных традиционных бетонов многокомпонентными. В них используются химические модификаторы структуры, свойств и технологических характеристик, в том числе комплексные модификаторы, включающие порой несколько десятков индивидуальных химических добавок, активные минеральные компоненты различной дисперсности (от 2000 до 25000 см²/г) и в ряде случаев композиционные вяжущие вещества, в том числе вяжущие низкой водопотребности, расширяющие добавки (неорганические и органические), дисперсные волокнистые наполнители (углеволокно, стекловолокно, полипропиленовая и кевларовая фибра, асбест, растительные волокна и т. д.), а также другие специальные компоненты. Многокомпонентность бетонной смеси позволяет эффективно управлять структурообразованием на всех этапах технологии и получать материалы с самым различным комплексом свойств.

Вместе с тем многокомпонентность системы повышает одновременно требования к дозированию материалов и перемешиванию бетонной смеси, так как часто требуется вводить модификатор (часто не один, а несколько) в очень небольших количествах и перемешивать высокодисперсные порошки (цемент + наполнитель) до получения однородной массы, что может быть обеспечено только за счет применения соответствующего оборудования.

Таким образом, применение мелкозернистого бетона, при правильно подобранном составе характеризуется высококачественной структурой и отличается высокой технологичностью, позволяет сравнительно просто изготавливать изделия как методом прессования с немедленной распалубкой, так и методом литья, он легко и эффективно модифицируется с помощью органоминеральных добавок, обеспечивая получение материалов с различным комплексом свойств. Его несомненное достоинство - использование дешевых местных песков. Это позволяет снизить стоимость бетона на 15-25% по сравнению с крупнозернистыми бетонами на щебне.

2. Свойства ВНВ в зависимости от состава.

Бетоны конца XX века отличаются от классических бетонов своей многокомпонентностью [1], что серьезно усложняет исследование влияния каждого из компонентов на условия синтеза новообразований формирования структуры и текстуры

материала в целом. А без этих знаний невозможно эффективно управлять проектированием и технологией производства бетона и железобетона.

В настоящее время внимание исследователей привлечено к разработке эффективных способов активации веществ и процессов. Важнейшими факторами, влияющими на прочность вяжущего, являются дисперсность и содержание наполнителя в вяжущем. Введение наполнителей требуемой дисперсности и активности позволяет экономить до 60 % и более цемента без ущерба для механических свойств изделий с одновременным повышением стойкости и других эксплуатационных свойств.

Простым и дешевым путем для снижения расхода цемента без ухудшения качества выпускаемой продукции является использование в качестве наполнителей отходов промышленности, попутных и вторичных продуктов, в которые уже вложены затраты труда, топлива, электроэнергии и других ресурсов с целью их утилизации и рационального применения.

Наиболее эффективно в качестве наполнителей использовать отходы промышленности в пылевидном состоянии.

Решением вопросов использования наполнителей занимались и занимаются многие исследователи: В.А. Кинд, В.Ф. Журавлев, О.В. Кунцевич и Е.Е. Россинский (ЛИИЖТ); А.В. Волженский и Л.Н. Попов (МИСИ); И.П. Александрин, И.Н. Ахвердов, Б.Г. Скрамтаев, Ф.М. Ли, А.Е. Комар, В.И. Соломатов, В.Н. Выровой и др.

Природа и свойства наполнителя оказывают существенное влияние на качество смешанного вяжущего. И.П. Александрин установил, что при простом смешении портландцемента с молотым песком даже при малых дозах (5-10%) наблюдается уменьшение прочности бетонов и растворов. Эти данные согласуются с результатами опытов И.Н. Ахвердова, Н.С. Годзиева, Б.Г. Скрамтаева, Ф.М. Ли [3]. А.В. Волженский и Л.Н. Попов рекомендуют помол цемента с песком до удельной поверхности 4700-4500 $\text{см}^2/\text{г}$. В этом случае смешанное вяжущее по активности при испытании в жестких растворах превосходит исходный цемент [7].

Теоретические предпосылки наполнения цементного теста базируются на представлениях о неполной гидратации клинкерных минералов и длительной сохранности в цементном камне оставшихся ядер цементных зерен, играющих в результате роль наполнителей. Поэтому является возможным заменить клинкерные наполнители другими минеральными включениями, обеспечив при этом условия более глубокой гидратации цемента (например, увеличением дисперсности). В качестве наполнителей портландцементов применяют тонкомолотые кварцевые пески в количестве 20–50 % по массе, тонкомолотые добавки магнезита, хромита, талька (до 10%), шамота, соединений бария для производства жаропрочных цементов, доменные шлаки (60%), известняки (до 50%), глиежи, вулканические шлаки (до 60 %) и другие минералы и горные породы [3].

Выбор и назначение наполнителей в основном зависит от их химической активности. Активность наполнителей связывается в основном с их физико-химическим участием в тех или иных процессах. В то же время введение наполнителей, которые можно представить как частицы дисперсной фазы с другими показателями поверхностного натяжения, чем

элементарные структурные элементы вяжущего, изменяют энергетическое состояние дисперсной системы [8].

Основной задачей при получении мелкозернистых бетонов, является снижение расхода клинкерной составляющей, т.к. из-за отсутствия крупного заполнителя идет перерасход цемента. Наиболее существенными факторами снижения содержания цемента в мелкозернистых бетонах на техногенных песках являются уменьшение водопотребности бетонной смеси и повышение активности вяжущего. В настоящее время найдены новые возможности усовершенствования вяжущих материалов и технологии бетонных работ. Эти возможности связаны с принципиально новыми методами использования суперпластификаторов, созданием на их основе нового класса вяжущих веществ – вяжущих низкой водопотребности [2,]. И поэтому с этой точки зрения перспективным направлением повышения эффективности МЗБ является применение вяжущего с минимальным расходом клинкерной составляющей – ВНВ.

В данной работе вяжущие получали путем домола в лабораторной шаровой мельнице до удельной поверхности $S_{уд}=500 \text{ м}^2/\text{кг}$ портландцемента ЦЕМ II/A-III 32,5Н (г. Черкеск), отсева дробления Солдато-Александровского карьера и пластифицирующей добавки Мельмент. Лабораторная мельница имеет уролитовую футеровку, мелющие тела – уролитовый цилпебс (табл. 1).

Таблица 1 - Свойства многокомпонентных вяжущих на основе отсева Солдато-Александровского карьера

Наименование вяжущего	Компонент вяжущего	НГ, %	Начало схватывания, мин	Конец схватывания, мин	Активность при твердении в течении, МПа	
					28 сут.	
					R _{чег}	R _{ск}
ВНВ-70	Отсев Солдато-Александровского карьера	23,87	120	310	5,9	51,3
ВНВ-50		20,87	130	320	3,7	34,7
ВНВ-30		18,75	150	350	2,6	15,3

Анализ результатов показал, что значения прочности ВНВ на основе отсева Солдато-Александровского карьера более низкие, чем на основе традиционно применяемого кварцосодержащего наполнителя. Это объясняется тем, что отсев содержит небольшое количество кремнезема: 15-20% (табл. 2), так как повышенная активность кремнеземистого наполнителя ускоряет гидролиз клинкерных минералов путем связывания гидроксида кальция и образования дополнительных порций гидросиликатов кальция.

Таблица 2-Минералогический состав отсева Солдато-Александровского карьера, масс. %

Кварц	Полевой шпат	Кремневые гальки	Карбонатные породы	Муско - вит	Опал	Рудные материалы
15-20	5-10	30-40	До 30	<2	отсутствуют	

Таким образом, использование отсева Солдато-Александровского карьера в качестве наполнителя при получении ВНВ является нецелесообразным, за счет низкой активности полученного вяжущего.

Исходя из выше приведенного, было изготовлено вяжущее на кварцевом песке Стодеревского месторождения, модифицированное базальтовым волокном и добавкой мельмент. (табл. 3)

Таблица 3 - Свойства многокомпонентных вяжущих на основе песка Стодеревского месторождения, базальтового волокна и добавки

Наименование вяжущего	Компонент вяжущего	НГ, %	Начало схватывания, мин	Конец схватывания, мин	Активность при твердении в течении, МПа	
					28 сут.	
					R _{изг}	R _{сж}
ВНВ-70	Песок	24,6	130	300	6,1	62,3
ВНВ-50	Содеревского карьера, *Базальтовое волокно, *мельмент	22,2	130	310	5,2	46,5

*базальтовое волокно – 30% от массы цемента;

*Мельмент – 1% от массы вяжущего

Использование ВНВ с тонкодисперсным наполнителем и базальтовым волокном дает возможность обеспечить более оптимальный гранулометрический состав вяжущего путем увеличения доли частиц с размерами от 0,01 до 4-5 мкм, которая в обычном портландцементе составляет не более 30-35% с преобладающим количеством частиц размером от 1-5 мкм. (рис.1.)

Присутствие таких тонких частиц обеспечивает более плотную упаковку, повышает связанность цементного теста и стойкость к расслаиванию, а в сочетании с суперпластификатором увеличивает текучесть смеси. Вводимые минеральные добавки ускоряют твердение и повышают прочность цементного камня и бетона. Из полученных результатов видно, что ВНВ-50 на основе местного песка подходит по значению активности для изготовления бетона для тротуарной плитки, что позволит снизить в 2 раза расход клинкерной составляющей без снижения прочности конечного изделия.

Базальт - это уникальный строительный материал, обладающий высокими прочностными, тепло- и звукоизоляционными свойствами. Он практически не реагирует на перепады температур, устойчив во всех агрессивных средах, является прекрасным облицовочным материалом.

Базальты представляют собой мелкозернистые эффузивные породы вулканического происхождения, весьма распространены, запасы их в земной коре практически неисчерпаемы. Составлены они в основном плагиоклазом, пироксеном, оливином. По

химическому составу базальты относятся к группе основных пород, доля которых характерно невысокое содержание кремнезема.

Средний химический состав базальтов следующий:

SiO_2 - 48,7%, Al_2O_3 - 13,81%, $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$ - 13,7%, TiO_2 - 1,59%, MnO - 0,26%, CaO - 8,12%, MgO - 6,72%. $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ - 3,81%, SO_3 - 0,04%, ппп - 3,81%.

Базальтовые волокна получают путем плавления базальтовой мелочи (продукт дробления базальтовой породы) и вытягивания волокон из полученного расплава. В зависимости от диаметра волокна различают следующие его виды, мкм: микроволокно – 0,5, ультратонкое – 0,05-1, супертонкое - 1-3, тонкое - 3-11, утолщенное - 11-20, грубое - 20.

Исследованиями [7] установлено, что все минеральные волокна не зависимо от химического состава вступают в химическое взаимодействие с растворами, имитирующими среду твердеющего бетона на портландцементе. По химической стойкости, определяемой по количеству поглощенного CaO , растворившегося SiO_2 , связанных щелочей и изменению прочности, минеральные волокна можно выстроить в ряд: бесщелочное > щелочное > кварцевое > базальтовое > циркониевое.

Базальтовые волокна в качестве наполнителя позволяют улучшить свойства вяжущего, предотвращают образование трещин в затвердевшем цементном камне, уменьшают водоотделение. Волокна практически не растягиваются, поры на поверхности волокон заполняются, тем самым создается арматура.

Базальтовое волокно отличается не только своими высокими физико-механическими свойствами (табл.4), но и повышенной химической стойкостью, температуро-, свето- и атмосферостойкостью и, что немаловажно, простотой технологии производства, невысокой стоимостью и экологической безопасностью.

Таблица 4- Физико-механические свойства минерального волокна

Вид волокна	Прочность при растяжении, МПа	Модуль упругости при растяжении, МПа	Плотность, г/см ³
Стеклоанное	2200-2400	70000-80000	2,7
Базальтовое	2000-2200	80000	2,2-2,6

Возможности равномерного распределения волокон в растворе (бетоне) в значительной мере зависят от отношения длины и диаметра волокон, от их объемного содержания размера частиц и количества заполнителя, а также от способов перемешивания.

Важным фактором является отношение длины дискретных волокон к их диаметру, поскольку при недостаточной длине разрушение материала происходит не вследствие разрыва волокна, а из-за его выдергивания из матрицы. Экспериментально установлено, что оптимальным является отношение $L/D=100-150$. [7]

Для улучшения смачиваемости раствором вяжущего и равномерного распределения между зернами крупного наполнителя минеральное волокно предлагается вводить в смесь в увлажненном состоянии при непрерывном перемешивании либо подвергать волокна действию ультразвука.

Большое влияние на технологический процесс получения армированного стекловолокном бетона оказывает содержание крупнозернистого наполнителя, который в ряде случаев заметно повышает трещинообразование армированных материалов и, соответственно, снижает прочность при изгибе. Поэтому содержание крупнозернистого наполнителя в бетонной смеси следует ограничивать 25-30 %, а максимальный размер его зерен должен составлять не более 10 мм [8]

Армированный волокнами бетон должен отличаться от обычного более высоким содержанием цемента. При этом рекомендуемый расход цемента составляет 445-515 кг/м³ бетона

3. Анализ гранулометрического состава полученных смешанных вяжущих

Структура оказывает решающее влияние на прочностные и деформативные характеристики бетона. Она грубо неоднородна и формируется в виде пространственной решетки из цементного камня, который заполнен зернами крупных и мелких заполнителей и пронизан многочисленными дефектами в виде микротрещин, микропорами и капиллярами, содержащими химически несвязанную воду, водяные пары и воздух. [8]

В отличие от подвижных смесей в жестких бетонных смесях наблюдается дефицит жидкой фазы, где почти вся вода затворения уходит на смачивание поверхности компонентов жесткой бетонной смеси. Минимальное содержание цемента и воды создает условия для образования структур с малыми количеством и прочностью контактов цементного теста между собой и с заполнителем. Поэтому для повышения эффективности таких бетонов необходима разработка комплекса мероприятий по обеспечению высокой плотности и прочности композитов на их основе.

Структура цементного камня в бетоне сложна и неоднородна. Взаимодействие твердой кристаллической части цементного камня с его пластичной гелевой частью оказывает определяющее влияние на прочность бетона. Во времени гелевая составляющая уменьшается, а кристаллическая - увеличивается. Характер зародышеобразования и кристаллизации новой фазы при твердении вяжущих определяется величиной площади поверхности раздела фаз, удельной поверхностью материала. Соотношение во времени между двумя составляющими цементного камня в основном зависит от марки цемента и тонкости помола. Чем тоньше помол цемента, тем быстрее рост твердой кристаллической части.

Последнее объясняется также и тем, что концентрация дефектов на поверхности частичек цемента экспоненциально растет с уменьшением размера кристалла, поэтому высокие скорости гидратации тонких фракций цемента связаны не только с их высокой удельной поверхностью, но и с более высокой концентрацией дефектов на поверхности.

Отсюда очевидно, что важнейшей характеристикой вяжущего является величина площади удельной поверхности, связанная с гранулометрическим составом. Изучение гранулометрического состава, который оказывает определённое влияние на водопотребность, темпы набора прочности, активность вяжущих, позволяет нам расширить представления о материалах, заглянув «внутрь» мелкодисперсных систем.

Снижение водопотребности бетонной смеси и повышение активности вяжущего является предпосылкой получения высококачественных бетонов. С этой точки зрения

актуальным направлением в технологии бетона является применение многокомпонентных вяжущих веществ с удельной поверхностью 400-550 м²/кг. Это позволит обеспечить высокую плотность и качество цементного камня или твердой фазы, получаемой за счет гидратации цемента совместно с наполнителями структуры, и сохранить резерв негидратированного цемента для заживления случайных дефектов, которые возникают при воздействии внешних факторов.

Природа и свойства наполнителя оказывают существенное влияние на качество смешанного вяжущего.

Гранулометрический (зерновой) состав вяжущего оказывает определённое влияние на его водопотребность, темпы набора прочности, активность.

В данной работе для анализа распределения по размерам частиц вяжущего применялся метод лазерной гранулометрии, позволяющий непосредственно определять размеры частиц и процент их содержания в анализируемом материале.

Установка MicroSizer 201 позволяет исследовать частицы размерами от 0,2 до 600 мкм, разбивая указанный диапазон на 40 фракций, размеры частиц в которых показаны таблице 4.

Таблица 5 – Размеры частиц относящихся к фракциям

№ фр.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D, мкм	0,20- 0,24	0,24- 0,30	0,3- 0,36	0,36- 0,45	0,45- 0,54	0,54- 0,66	0,66- 0,81	0,81- 0,99	0,99- 1,21	1,21- 1,48
№ фр.	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
D, мкм	1,48- 1,81	1,81- 2,21	2,21- 2,70	2,70- 3,30	3,30- 4,03	4,03- 4,92	4,92- 6,01	6,01- 7,34	7,34- 8,97	8,97- 11,0
№ фр.	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
D, мкм	11,0- 13,4	13,4- 16,3	16,3- 20,0	20,0- 24,4	24,4- 29,8	29,8- 36,4	36,4- 44,5	44,5- 54,3	54,3- 66,4	66,4- 81,1
№ фр.	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
D, мкм	81,1- 99,0	99,0- 121	121- 148	148- 181	181- 221	221- 269	269- 329	329- 402	402- 491	491- 600

При сравнении гранулометрического состава ВНВ на Стодереvском песке (СП) и отсевах дробления Солдато-Александровского карьера мы получили следующие результаты ($S_{уд}=450-500 \text{ м}^2/\text{кг}$) (рис.1).

Как видно из рисунка, кривые зернового состава портландцемента, кварцевого песка и отсеvов дробления имеют сходный характер с ярко выраженным пиком в области крупных частиц и достаточно плавно понижаются с обеих сторон от него. Во всех случаях после помола характер кривой гранулометрического состава материалов остаётся неизменным,

наблюдается лишь сужение диапазона размеров частиц, за счёт исчезновения наиболее крупных фракций, а так же происходит перераспределение частиц по размерам с изменением высоты отдельных участков. При анализе кривых грансостава смешанных вяжущих, данное явление позволяет с определённой долей вероятности выделять участки

кривой, относящиеся к тому или иному компоненту, и оценивать его состояние после совместного помолла.

4. Особенности структурообразования мелкозернистого бетона на основе полиминеральных техногенных песков

Изучение структуры мелкозернистого бетона различных марок, полученных на основе полиминеральных техногенных песков Солдато-Александровского карьера, позволило объяснить изменение ряда технологических характеристик данного вида сырья по сравнению с традиционно применяемыми природными песками.

Анализ спилов тротуарной плитки с прочностью 30 МПа (используемой для мощения тротуаров) и 40 МПа показал, что в среде заполнителя присутствуют зерна как изометричной, так и ярко выраженной анизометричной (лещадной) формы (рис. 4.8). Хорошо диагностируется полиминеральность заполнителя, проявляющаяся в различной окраске и структуре зерен. Прослеживаются участки рыхлой структуры, что свидетельствует о недоуплотнении.



Рис. 1 . Общий вид плитки с прочностью 30 МПа (а) и 40 МПа (б)

Отдельные зерна заполнителя окружены ореолом с ярко выраженной зональностью. Данные специфические участки в структуре бетона, вероятно, связаны с повышенной растворимостью данных частиц за счет рыхлой, выветрелой поверхности. (рис 1) Поэтому и формируется разуплотненный участок по всей контактной зоне. Анализ характера структуры заполнителя выявил присутствие как зерен кварцита так и частичек кварца, затронутых процессами выветривания, о чем свидетельствует сахароподобная структура. (рис.2)

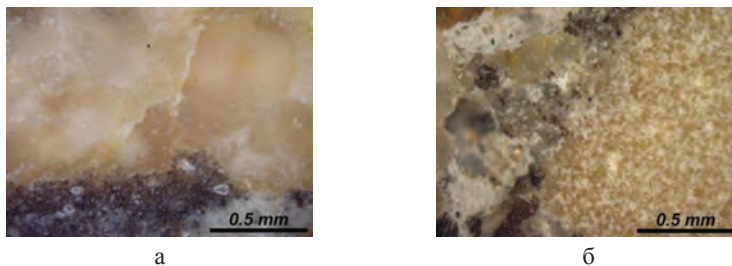


Рис. 2. Кварц различных генетических типов:
а – не затронутый процессами выветривания;
б – затронутый процессами выветривания

Частица мелкого заполнителя может состоять как из зерна одного минерала, т.е. мономинеральна, так и являться минеральным агрегатом – полиминеральна. И в том и в другом случае на степень развитости поверхности оказывают влияние генетические особенности сырья и методы дезинтеграции заполнителя. Но если в случае мономинерального состава заполнителя адгезия по всей поверхности зерна будет практически одинаковой, то у полиминеральной частицы в зависимости от минерального состава могут присутствовать участки с практически нулевой способностью к сцеплению.

В минеральных агрегатах, преобладающих в крупных фракциях заполнителя, наблюдаются сетки микротрещин, которые проходят как по мономинеральным (рис. 3. а, б), так и по полиминеральным (рис. 3. в, г) зернам. Это обусловлено созданием разрушающих нагрузок при дроблении ВПГС на щебень.

Зональность отдельных зерен (рис. 4), обусловленная условиями роста минералов в процессе формирования материнской горной породы, также является ослабленными участками, по которым проходит разрушение при дроблении. Однако именно на этих участках наблюдается хорошая адгезия к цементному камню.

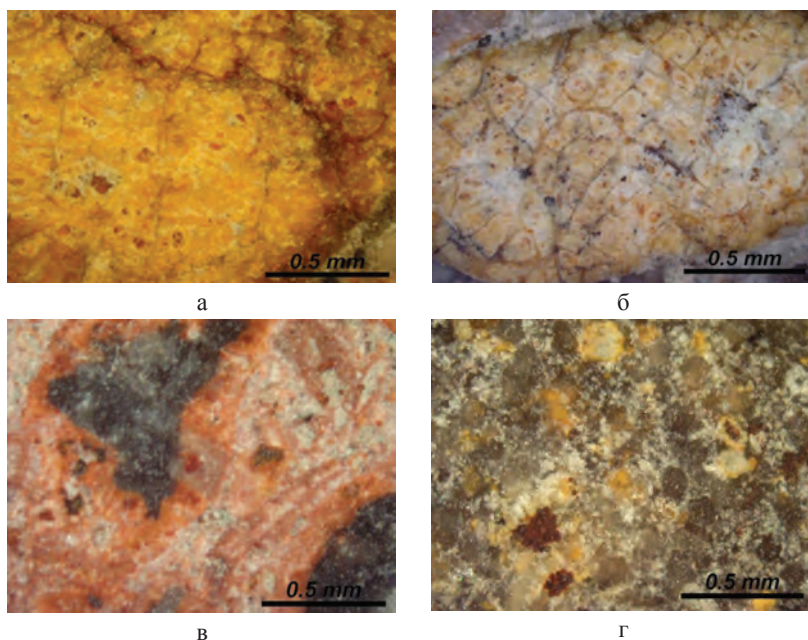


Рис. 3. Структуры моно- (а, б) и полиминеральных (в, г) агрегатов заполнителя из отсева дробления ВПГС

На контакте заполнителя и цементного камня формируется каемка, отличающаяся по структуре, продемонстрированная на рисунке 3.6 в виде светлоокрашенного обрамления участка цементного камня. Это связано как с наличием дефектов на поверхности кварца,

обусловленных механическим разрушением, так и с формированием кристаллизационных связей на контакте «вязущее – заполнитель». Обломки свежих кварцевых зерен обладают менее развитой морфологией поверхности, чем маршалитизированные (прошедшие стадию выветривания), однако хорошо фиксируемой даже на фоне разуплотненных контактных зон (рис. 5 в, г).

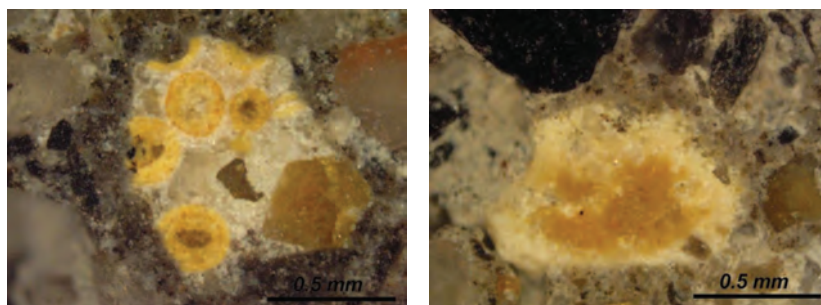


Рис. 4. Зональное строение в агрегате заполнителя, характер разрушений и контактной зоны

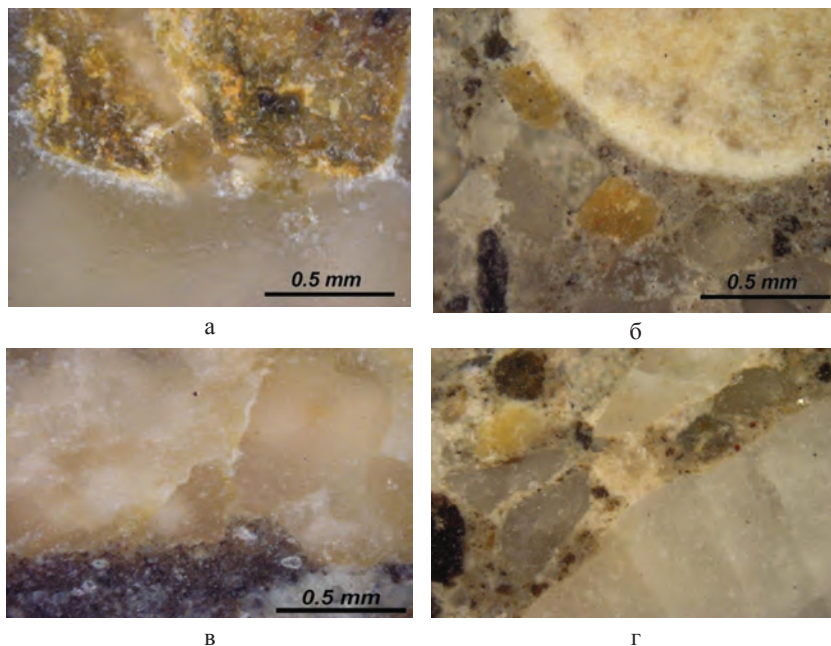


Рис. 5. Морфология поверхности и контактная зона кварцевого зерна (а, г) и выветрелого кварца (сахаровидного – б, слабыветрелого – в) с цементным камнем

Контактная зона цементного камня с кварцем и полиминеральными зернами гранита узкая и плотная (рис. 6 а). С минеральным заполнителем из выветрелых обломков пород более расплывчатая, рыхлая (рис. 6 б). Это обуславливает менее прочные связи в последнем случае и, как следствие, разрушение бетона по контактам с заполнителем, прошедшим стадии выветривания.

Частицы карбонатных пород (рис. 7 а), присутствующих в отсеве дробления, как в виде сохранившихся окатанных зерен, так и в виде обломков, имеют ярко выраженную развитую морфологию поверхности и размытые контуры, что также свидетельствует о химическом взаимодействии с основной массой композита.

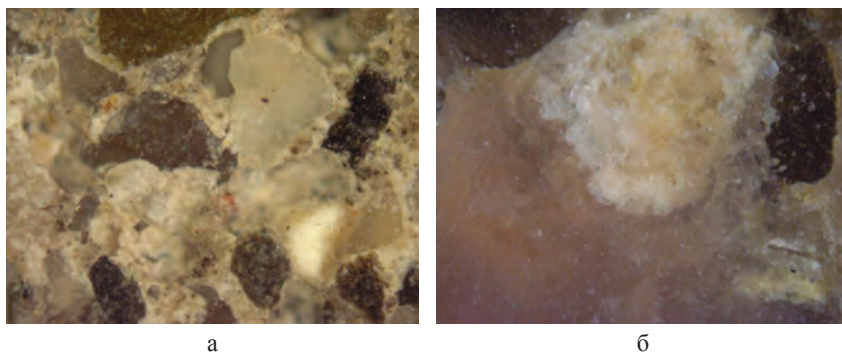


Рис. 6 . Характер контактных зон заполнителя различного состава с цементным камнем

Тонкодисперсная масса отсева дробления (рис. 7 б) создает не только каркас бетона, но и участвует в качестве цементирующей составляющей в структурообразовании искусственного композита. Подобный механизм характерен для брекчий и конгломератов, формирующихся в природных условиях.

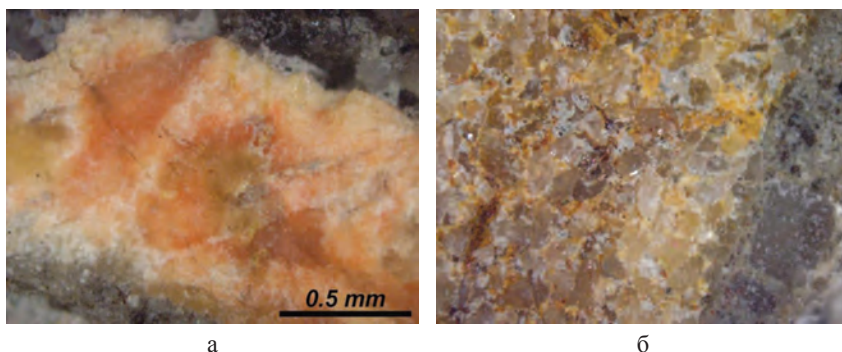


Рис. 7. Вид структур, создаваемых крупными и тонкодисперсными частицами отсева дробления, в мелкозернистом бетоне

В результате проведенного анализа минералогического состава техногенного песка по фракциям, морфологии зерен и их поверхности в зависимости от состава, характера контактных зон и общей структуры искусственного конгломерат, для мелкозернистых бетонов на основе отсевов дробления ВПГС Солдатско-Александровского месторождения выявлено распределение в характере прочности структурообразующих контактов в матрице мелкозернистого бетона. Данное распределение заключается в уменьшении прочности в следующей последовательности: мономинеральное зерно заполнителя – цементный камень – контакты кристаллов в минеральном агрегате – контактная зона заполнителя с цементным камнем. Осуществлено ранжирование основных порообразующих фаз полиминеральных техногенных песков по снижению их адгезии к цементному камню: кварц – кальцит – плагиоклазы – пироксены – роговая обманка – слоистые силикаты.

Установлен характер микроструктуры цементного камня в зависимости от его контакта и порообразующего минерала техногенного песка, заключающийся в том, что контактная зона цементного камня с кварцем и гранитом узкая плотная, а с минеральным заполнителем из выветрелых обломков пород более расплывчатая, рыхлая. Граница разрушения мелкозернистых бетонов проходит по частицам затронутых выветриванием. В зоне разрушения редко встречаются агрегаты кварца и гранита.

Таким образом, выявленные особенности формирующихся структур в мелкозернистом бетоне, обусловленные наличием полиминерального полигенетического техногенного песка, позволяют прогнозировать свойства искусственного композита на стадии проектирования сырьевых смесей, что, несомненно, позволит снизить затраты и оптимизировать производство строительных материалов на нетрадиционном сырье.

Из выше представленного можно сделать следующие выводы:

1. Анализ сырьевой базы песков для мелкозернистых бетонов показал, что при всем многообразии генетических типов данных пород месторождения высококачественных песков носят локальный характер распространения и их запасы не удовлетворяют потребностей отрасли. Слабофракционированные, полиминеральные пески требуют индивидуального подхода при разработке составов строительных материалов на их основе, что затрудняет масштабность их использования. Характерная морфология зерен (окатанность) их поверхности, включая низкую активность за счет длительности воздействия экзогенных факторов, обуславливает низкую степень адгезии к цементному камню, по сравнению с песками механогенного происхождения. В этой связи целесообразным является изучение возможности широкомасштабного использования техногенных песков при производстве мелкозернистых бетонов.

2. Природные пески Северного Кавказа относятся к мелкозернистым, а отсевы дробления гравийно-галечных смесей имеют высокую водо- и цементопотребность, что не позволяет рассматривать их в качестве компонента высокопрочных бетонов.

4. Техногенные пески имеют высокую размолоспособность, что определяется их генезисом, полиминеральностью, наличием минералов, имеющих совершенную и весьма совершенную спайность.

Список литературы

1. Баженов, Ю.М. Технология бетона. М., 2003, С. 500.
2. Зошук Н. И., Бабин А.Е. Кристаллические сланцы Курской магнитной аномалии как заполнители для бетонов// Комплексное использование нерудны материалов пород КМА в строительстве. – М.: МИСИ,БТИСМ,1975.- Вып.13. – Т.1. – С. 100-119.
3. Иванищенко, С.И. Исследование влияния минеральных и органических добавок на свойства цемента и бетонов/ С.И. Иванищенко, А.Г.Комар// Изв. Вузов. Строительство,1993. - №9.-С.16-19.
4. Краснов, А.М.. Усадочные деформации высоконаполненного высокопрочного мелкозернистого песчаного бетона// Бетон и железобетон ,2003.- №3. – с.8-10.
5. Батраков В.Г. Бетоны на вяжущих низкой водопотребности // Бетон и железобетон. – 1988. - №11. – С.4-6.
6. Дворкин Л. П. Бетон с композиционным наполнителем // современные проблемы строительного материаловедения. Академические чтения РААСН. – Самара, 1995. – Ч.2. – С.8-13.
7. Литвинова Ю.В.Элементы мощения с использованием отсевов дробления флювиогляциальных горных пород. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Белгород 2007.- 213с.
8. Комарова Н.Д. Стеновые камни цементные на основе техногенных песков Северного Кавказа. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Белгород 2006.- 227с.

© Ю.В. Литвинова, Н.Д. Комарова, 2015

УДК 628.8

Л.Г.Нигматов, к.т.н., преподаватель кафедры «Энергообеспечение с/х»
Оренбургский государственный аграрный университет
В.Ю. Бибарсов, к.с.-х.н, доцент кафедры «Энергообеспечение с/х»
Оренбургский государственный аграрный университет
В.Е. Медведев, к.т.н., доцент кафедры «Энергообеспечение с/х»
Оренбургский государственный аграрный университет
Г. Оренбург, Российская Федерация

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ И ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ И ОТОПЛЕНИЯ В ПОДНАДЗОРНОМ КОРОВНИКЕ ФИРМЫ ООО «ЭНЕРГОАУДИТЭКСПЕРТ - ОГАУ»

В современном промышленном животноводстве одной из нерешенных проблем остается создание оптимальных условий содержания животных. При высокой концентрации поголовья на единицу площади состояние и состав воздуха ухудшаются. В результате увеличивается падёж, снижается прирост массы и сохранность животных, возрастает риск

распространения аэрогенных инфекций. В процессе жизнедеятельности животных в замкнутом помещении воздух загрязняется аммиаком, сероводородом, углекислым газом, органическими соединениями и пылью.

Также необходимо учитывать, что животноводство является довольно энергоёмкой отраслью: в структуре себестоимости свинины и продукции птицеводства затраты на энергоресурсы составляют 10 – 15% и 7 – 9% при производстве молока. В свою очередь основная часть энергии, около 50 %, расходуется на поддержание нормируемого микроклимата. Вентиляционный воздух, подаваемый в животноводческие помещения в холодные периоды года необходимо подогревать. В то же время из помещений помимо вредных веществ с вентиляционным воздухом в атмосферу выбрасывается значительное количество теплоты. Основные теплопотери в животноводческих помещениях - это теплопотери на воздухообмен. В животноводстве они составляют около 90 % от общих теплопотерь зданий. Таким образом в условиях интенсивного развития промышленного животноводства важной инженерной задачей является создание таких вентиляционно - отопительных систем (ВОС), которые бы обеспечивали необходимые зоогигиенические условия содержания животных в сочетании с комплексом научных и практических мероприятий, снижающих энергозатраты на создание микроклимата. Перспективным способом повышения экономичности ВОС является утилизация теплоты, удаляемой из помещения с вентиляционным воздухом. Одним из методов утилизации теплоты животноводческого помещения является рециркуляция воздуха. Однако при этом происходит накопление пыли, микроорганизмов и вредных газов в воздушной среде помещения, а также влаги и углекислого газа. Таким образом, необходимо проводить высокоэффективную очистку и обеззараживание рециркуляционного воздуха от вышеперечисленных загрязнителей.

1 Влияние параметров микроклимата на продуктивность сельскохозяйственных животных.

Микроклимат животноводческих помещений складывается из совокупности факторов, основными из которых являются: воздушная среда, освещённость, ультрафиолетовое облучение, уровень шума, физические и механические показатели конструкции здания и пола. Степень влияния каждого из факторов микроклимата на животных различна и по-разному проявляется влияния факторов в их сочетаниях.

Один из наиболее важных факторов микроклимата - воздушная среда. Она характеризуется физическими, химическими и электрическими параметрами. Совокупность воздействия этих параметров оказывает значительное влияние на физиологические процессы, продуктивность и устойчивость животных к заболеваниям.

1.1 ТЕМПЕРАТУРА Основным физическим параметром воздушной среды помещения является температура. Она в наибольшей степени влияет на состояние здоровья и продуктивность животных. От выбора её расчётной величины зависит мощность системы отопления, степень теплоизоляции здания и их стоимость.

В организме сельскохозяйственных животных постоянно совершаются процессы теплообразования и теплоотдачи, обуславливающие терморегуляцию. Организм животного отдает тепло во внешнюю среду через кожу, органы выделения и органы дыхания. Через

кожу тепло выделяется за счет теплопроводности, теплоизлучения и испарения влаги. При низкой температуре теплоотдача тела увеличивается, вследствие чего животные усиленно потребляют корм, а при температуре ниже критической организм не успевает вырабатывать тепло за счет энергии корма, наступает переохлаждение. Возможны простудные заболевания животных, и даже смерть.

Температура окружающей среды, при которой обмен и теплопродукция минимальны, называется зоной теплового безразличия. Или температурой комфорта. При обильном кормлении животных она ниже. При скудном – выше.

Нижняя и верхняя зоны теплового безразличия называется критической температурой. При температуре воздуха ниже критической повышается обмен веществ и производство теплопродукции в организме животных. Однако уровень критической температуры внешней среды зависит от кормления, качества шерстного покрова, наличия подкожного жира, влажности и скорости движения воздуха. Так, успех выращивания животных при низких температурах объясняется обильным кормлением.

На основании работ, опубликованных в литературе. Можно считать, что чем больше животные приспособлены к колебаниям окружающей среды. Тем шире зона теплового безразличия [Таблица 1].

Таблица 1

Влияние температуры окружающей среды на продуктивность животных

Вид животных, возрастная группа	Масса тела, кг	Толщина шерстяного покрова, см	Нижняя критическая температура, С, при скорости движения воздуха. м/с	
			0,2	2,0
Новорожденные телята	35	1,2	9	17
Месячные телята	50	1,4	0	9
Нетели	100	1,2	-14	-1
Бычки на откорме (при поддерживающем уровне кормления)	250	2,0	-32	-20
Бычки на откорме (при поддерживающем уровне кормления)	450	2,9	-17	-9
Молочные коровы (суточный надой 22 л)	500	1,2	-26	-13

Обработав и обобщив данные, были построены зависимости температуры внутреннего воздуха фермы и продуктивности сельскохозяйственных животных, а также расход кормов, которые представлены на рисунках 1.1, 1.2 [2]

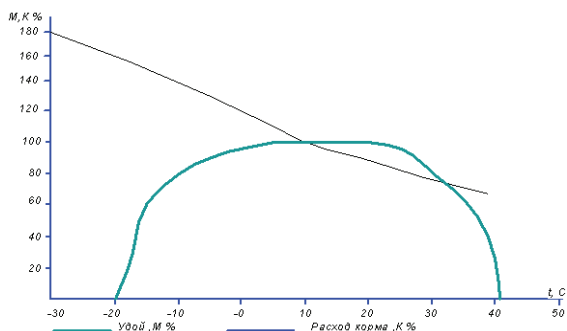


Рисунок 1.1 влияние температуры внутреннего воздуха на удои коровы и расход корма.

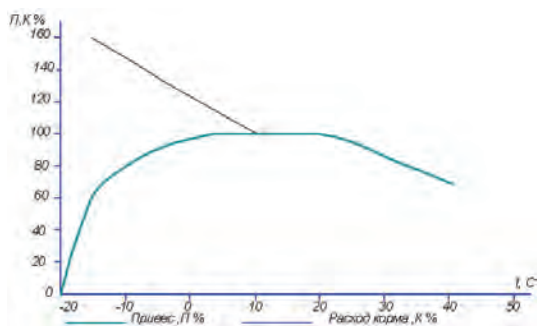


Рисунок 1.2 влияние температуры внутреннего воздуха на привесы КРС и расход корма

По данным рисунка 1.1 видно что максимальные удои коровы наблюдаются в зоне комфортного климата $t=+5...+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ а за пределами этой зоны удои снижаются. При температуре ниже $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ и выше $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$ корова молока не дает. В тоже время наблюдается тенденция, чем ниже температура воздуха, тем выше потребление корма для всех видов сельскохозяйственных животных. Из Рисунка 1.2 видно, что максимальные привесы КРС наблюдаются в зоне комфортного микроклимата $t=0...+25\text{ }^{\circ}\text{C}$, а за пределами этой зоны привесы снижаются. При температурах ниже $t=-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ привесы КРС отсутствуют, животное начинает терять вес.

1.2 ВЛАЖНОСТЬ. На продуктивность животных влияет и влажность воздуха внутри помещений, которую необходимо рассматривать в сочетании с температурой. Высокая влажность воздуха (выше 85%) способствует развитию кожных грибков, что вызывает сильный зуд и беспокойство животного. Если температура низкая, влажность высокая, то организм сильно охлаждается, усиливается теплоотдача. Известно, что это приводит не только к простудным заболеваниям, но и снижению молочной продуктивности коров на 8-12 %, а жирности: молока на 0.3 %. При повышении температуры сверх $24\text{ }^{\circ}\text{C}$ высокая относительная влажность ведёт к падению продуктивности и чем выше влажность при

одной и той же температуре, тем ниже продуктивность. Сухой воздух вреден. Он приводит к усилению жажды, ухудшению усвоения корма и нарушению обмена веществ.

Таким образом, определенная влажность воздуха, соответствующая физиологическому состоянию организма – важное условие нормальной жизнедеятельности. Наиболее благоприятной в помещениях для животных следует считать относительную влажность 50...75%.[4]

Собрав и обработав данные, были построены зависимости относительной влажности внутреннего воздуха фермы и продуктивности сельскохозяйственных животных, а также расхода кормов, которые представлены на рисунках 1.3, 1.4[2]

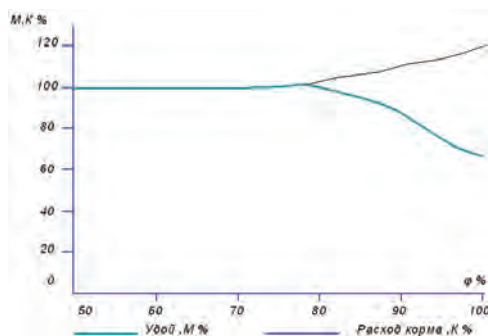


Рисунок 1.3 Влияние относительной влажности внутреннего воздуха на удой коровы и расход корма

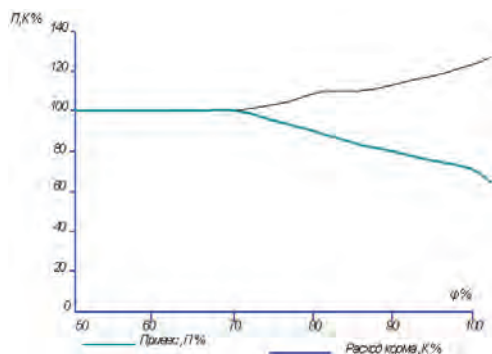


Рисунок 1.4 Влияние относительной влажности внутреннего воздуха на привесы КРС и расход корма

Проанализировав данные рисунков, делаем выводы что:

- рисунок 1.3 – при высокой относительной влажности воздуха (>75%) снижается удой коровы на 35% и повышается расход корма на 25%
- рисунок 1.4 – при высокой относительной влажности воздуха (>75%) снижаются привесы КРС (на 30%) и повышается расход корма (на 25%)

Следует отметить, что высокая относительная влажность воздуха помещений не только влияет на состояние и продуктивность животных, но и оказывает отрицательное влияние на теплотехнические качества и сроки службы конструкций здания и технологического оборудования. Так, электродвигатели, магнитные пускатели, пусковые кнопки в коровниках служат всего 2-3 года вместо 10-15 лет при нормальных условиях окружающей среды, [5].

Влияния на животных температурно-влажностного режима помещений особенно сильно проявляется при движении воздуха. Подвижность воздуха может усиливать или ослаблять влияния как температуры, так и влажности. Так, воздействие холодных струй воздуха на кожный покров животных резко увеличивает теплоотдачу организмом животных и усиливает действие аппарата терморегуляции. В соответствие с современными технологическими схемами систем микроклимата сельскохозяйственных помещений для зимнего и переходного периодов года предусматривается приточная вентиляция в сочетании с подогревом подаваемого воздуха при не достатке теплоты.

Опытами, проведенными в течение двух летних сезонов в Калифорнийском университете (США), установлено, что при равных условиях кормления и поения животных при наружной температуре 31..32 °С в загоне с вентилятором и скорости движения 1.6 м/с прирост массы откармливаемых животных составил 1075...1088 г в сутки, а в загоне, где естественная скорость движения воздуха была в среднем 0,2 м/с, приросты равнялись 585...848 г [6]

При низких температурах и высокой влажности увеличение скорости движения воздуха вызывает усиление теплоотдачи организма, что может привести к переохлаждению последнего: при высоких температурах большая скорость движения воздуха предохраняет животных от перегревания. Однако молодняк сельскохозяйственных животных очень чувствителен к ней.(учебник)

Увеличение скорости движения воздуха с 0,1 до 0,4 м/с равносильно понижению температуры воздуха на 5 °С. (Н.М. Комаров).

Обобщив о обработав данные были построены зависимости температуры внутреннего воздуха фермы с учетом его скорости движения на продуктивность сельскохозяйственных животных, а также расхода кормов, которые представлены на рисунках 1.5, 1.6 [2]

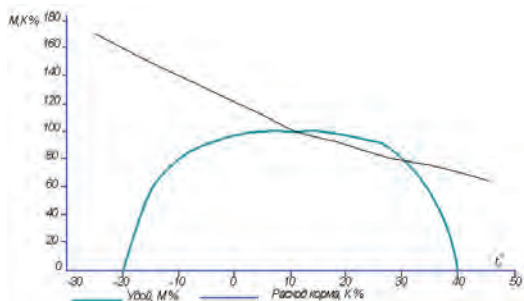


Рисунок 1.5 – Влияние температуры внутреннего воздуха на удои коровы и расход корма с учетом скорости движения воздуха

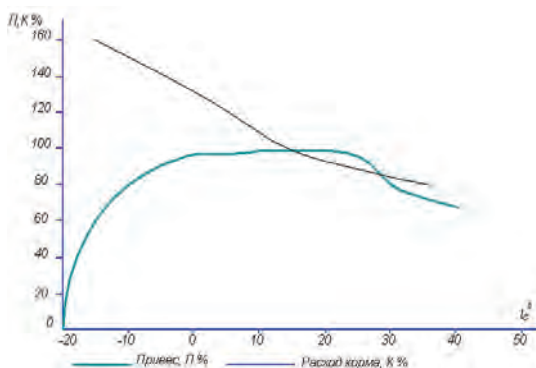


Рисунок 1.6 – Влияние температуры внутреннего воздуха на привесы КРС и расход корма с учетом скорости движения воздуха.

По данным рисунков 1.5, 1.6 видно, что при перерасчете скорости движения воздуха в температуру воздуха кривая продуктивности сельскохозяйственных животных сдвигается вправо. При нормативных показателях скорости движения воздуха кривая продуктивности коровы в зимнее время сдвигается на 5 °C вправо, в летнее время – на 10 °C вправо [2]

2. Оптимизация микроклимата при использовании отопительно-вентиляционных систем.

Оптимальный микроклимат в животноводческих и птицеводческих помещениях можно создать путем применения специального отопительно-вентиляционного оборудования с автоматическим управлением (Д. Н. Мурусидзе, 1979)

Система вентиляции должна обеспечивать требуемый воздухообмен и расчетные параметры воздуха в животноводческих помещениях. Кроме того, вентиляция способствует увеличению количества легких, отрицательно заряженных ионов в воздухе, т.е. восстановлению его биологической активности. И предупреждению конденсации паров на внутренних поверхностях ограждающих конструкций.

2.1 Общие требования к системам вентиляции.

Проведя анализ специальным лабораторным оборудованием кафедры «Энергообеспечение с/х» составлены требования, предъявляемые к системам вентиляции.

К системам вентиляции должны обеспечивать следующие требования:

- 1) создание в различные периоды года необходимого воздухообмена на единицу живой массы животных.
- 2) равномерное распределение и циркуляция воздуха внутри помещения. Чтобы не было мест застоя и скопления влажного загрязненного воздуха
- 3) поддержание оптимального температурного режима в помещениях
- 4) удаление излишней влаги (главным образом в зимний и осенне-весенний периоды), вредных веществ (пыль, газы и неприятные запахи)
- 5) обеспечение равномерного поступления теплого воздуха зимой
- 6) максимальное охлаждение воздуха летом в зонах расположения животных.

2.2 Классификация вентиляционных установок.

По принципу действия и конструктивным особенностям различают системы вентиляции следующих типов а) с естественной тягой воздуха; б) с механическим побуждением тяги; в) комбинированного действия (Рисунок 2.1). Механические установки делятся на приточные, вытяжные и комбинированные с подогревом и без подогрева воздуха (П.П. Антонов, 1976, Д.Н. Мурусидзе в соавт., 1972 и др.)

Проведенный анализ исследователей показывает что для того, чтобы естественная система вентиляции работала в наилучшем режиме, необходима разность температур воздуха внутри и снаружи помещения не менее, чем в $5 \dots 10^\circ\text{C}$

Поэтому естественная вентиляция оказывается недостаточно эффективной летом и более пригодной в холодный период года. Вместе с тем при температуре наружного воздуха ниже -12°C , приточный воздух следует подогревать.

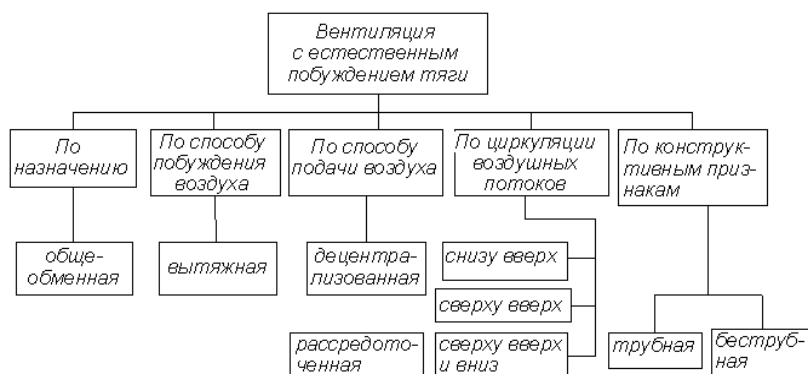


Рисунок 2.1 Классификация систем вентиляции животноводческих помещений:

В системах с механическим побуждением движения воздуха воздухообмен регулируется при помощи вентиляторов, работающих в режиме разряжения ил нагнетания, то есть механические системы вентиляции подразделяются на вытяжные и приточные. Применяются также и реверсивные системы, в конструкции которых предусмотрена возможность изменения направления воздушного потока. Что позволяет в зависимости от внешних условий использовать одну и ту же вентиляционную систему либо как вытяжную, либо как приточную.

Механические системы вентиляции имеют некоторые преимущества перед системами вентиляции с естественным побуждением. Работа механических систем не зависит от внешних метеорологических условий, приточный воздух можно подвергнуть любой обработке (нагреть, осушить, охладить), появляется возможность полной автоматизации, что позволяет обеспечить оптимальный микроклимат внутри помещения.[1]

2.3 классификация систем воздушного отопления

Системы воздушного отопления классифицируют по способу перемещения воздуха – с естественным и искусственным побуждением, по радиусу действия – местные и

центральные, по степени замены воздуха в помещении – прямоточные, рециркуляционные и с частичной рециркуляцией.

На рисунке 2.2 показаны схемы местных систем воздушного отопления с различной степенью замены воздуха в помещении. В состав этих систем входят тепловой центр 1, содержащий калорифер и вентилятор, каналы вытяжной вентиляции (шахты) 2 и трубопроводы 3 для подвода и отвода теплоносителя. В местных системах не предусмотрено воздухопроводов, вследствие чего воздух в помещении подается сосредоточенными струями.

В прямоточных системах (рис 2.2, а) наружный воздух с температурой t_n подогревается калорифером до температуры t_r и подается в помещение в количестве, достаточном для создания требуемого воздушного режима. Такое же количество воздуха удаляется из помещения с температурой t_b по каналам вытяжной вентиляции или через неплотности в наружных ограждениях.

При частичной рециркуляции (рис.2.2, б) к калориферу поступает часть наружного воздуха с температурой t_n , а другая часть – из помещения с температурой t_b . Смешиваясь, воздух нагревается в калорифере до температуры t_r и подается в помещение для отопления. Вентилируется помещение только частью воздуха, который забирается снаружи. Такая же часть воздуха удаляется системой вытяжной вентиляции.

Если воздух надо только нагревать без его вентилирования, применяют рециркуляционную систему воздушного отопления (рис. 2.2, в). Тогда в помещении происходит циркуляция внутреннего воздуха без его замены.

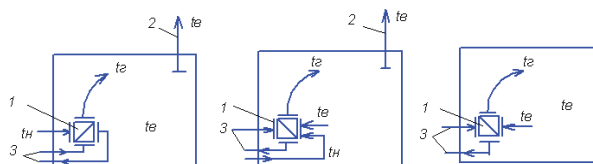


Рисунок 2.2. Схемы местных систем воздушного отопления:

а – прямоточная; б- с частичной рециркуляцией; в – рециркуляционная;

1 – тепловой центр; 2 – канал вытяжной вентиляции; 3 – трубопроводы теплоносителя

Центральные системы воздушного отопления (рис.2.3) обеспечивают обогрев одного или нескольких помещений большого здания. По устройству они в основном похожи на местные системы, отличаясь лишь наличием системы воздухопроводов для подачи воздуха в помещение. Особое значение имеют воздухораспределители, обеспечивающие равномерное заполнение свежего воздуха по объему помещения. Из схем, представленных на рисунке 2.3, предпочтительными технико-экономическими показателями обладает прямоточная рекуперативная система воздушного отопления (рис. 2.3, в), обеспечивающая экономное расходование тепловой энергии за счет использования теплообменника – утилизатора 6. Предварительный подогрев наружного воздуха перед подачей его в калорифер обеспечивается за счет теплоты удаляемого из помещения внутреннего воздуха. Однако такие установки более сложны в эксплуатации.

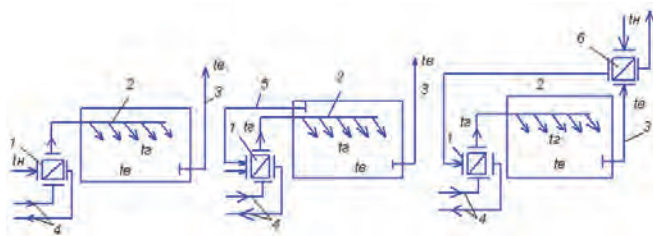


Рисунок 2.3. схемы центральных систем воздушного отопления:

а – прямоточная; б – с частичной рециркуляцией; в – прямоточная рекуперативная;

1 – тепловой центр; 2 – приточный воздуховод; 3 – вытяжной воздуховод;

4 – трубопровод теплоносителя; 5 – рециркуляционный воздуховод;

6 – теплообменник-утилизатор.

На животноводческих фермах в основном применяют прямоточные местные и центральные системы. В некоторых случаях используют рекуперативные прямоточные системы. Системы с частичной рециркуляцией допускаются в помещении для откорма крупного рогатого скота.[2]

3. Разработка и описание функционально-технологической схемы автоматизации микроклимата в коровнике на 200 голов СПК Матвеевский Матвеевского района.

Оптимальный микроклимат в животноводческих помещениях можно создать с минимальными энергозатратами на его обеспечение путем применения специально разработанного отопительно-вентиляционного оборудования.

Функционально-технологическая схема автоматизации включает в себя функциональные узлы контроля, регулирования и управления (рисунок 3.1). Регулирование температуры воздуха в помещении происходит по следующим цепочкам.

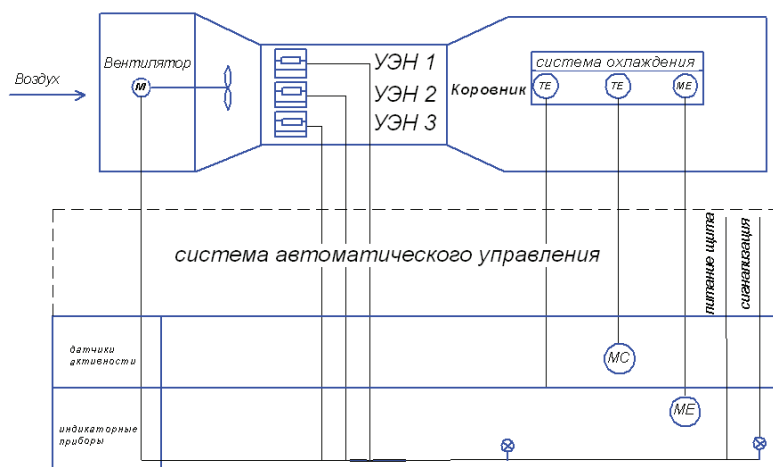


Рисунок 3.1

При достижении температуры воздуха в помещении 8°C в работу включается 3 цепочка. Узел регулирования температуры включает датчик температуры ТЕ (поз. 1-а), установленный в помещении. Сигнал с датчика температуры поступает на бесшкальное регулирующее устройство ТС (поз 1-б), расположенное на щите управления. Этим устройством является регулятор температуры. Регулирование температуры осуществляется в автоматическом и ручном режимах. С этой целью на щите управления установлен переключатель HS (поз.- 1-в). При автоматическом режиме работы сигнал с терморегулятора через переключатель HS воздействует на исполнительный механизм NS (поз. 1-г),

которым является магнитный пускатель. Исполнительный механизм управляет работой регулирующего органа – 1-я секция электрокалорифера. В ручном режиме для включения и отключения регулирующего органа служит кнопка Н.

Если температура воздуха в помещении достигает, ниже 2°C в работу включается 4 цепочка регулирования. Регулирование происходит аналогично предыдущей цепочки регулирования. В работе будут участвовать две секции электрокалорифера.

Регулирование влажности происходит тоже по двум цепочкам. Первая работает, когда относительная влажность начинает превышать значение 70 %, а вторая при относительной влажности свыше 85 %. Сигнал с датчика влажности ME (поз. 3-а) поступает на бесшкальное регулирующее устройство MC (поз. 3б), которым является регулятор влажности. Далее происходит, как и при регулировании температуры, только регулирующим органом является вентилятор с электродвигателем, работающий либо на первой, либо на второй скоростях. При регулировании влажности по первой цепочке работает 1-я скорость, по второй – 2-я скорость вентилятора.

При включении и отключении работы регулирующих органов свидетельствуют сигнальные лампы, установленные на щите управления.

Контроль температуры осуществляется ртутным термометром, который устанавливается по месту.

3.2 Разработка и описание принципиальной электрической схемы управления параметров температуры и влажности в коровнике

Принципиальная электрическая схема управления представлена на рис. 3.2. Схема содержит силовую цепь и цепь управления.

Напряжение в силовую цепь подаётся при включении автоматического выключателя QF. Двухскоростной электродвигатель привода вентилятора защищается от аварийных режимов автоматическими выключателями QF 1 и QF2. Калорифер включается при замыкании контактов магнитных пускателей КМ3, КМ4 и КМ5.

Напряжение в схему управления подаётся при включении выключателя SF, при этом загорается сигнальная лампа HL.

Аварийный останов установки осуществляется при помощи кнопки SB «Аварийный останов».

Схема предусматривает два режима работы - ручной и автоматический. В ручном режиме переключатели SA1 и SA2 устанавливаются в положение «1». При этом управление вентилятором осуществляется при помощи нажатия кнопок SB 1. . . SB4. При нажатие

Для предотвращения подачи напряжения сразу на обе обмотки электродвигателя в схеме предусмотрена блокировка на магнитных пускателях при помощи контактов КМ1.2 и КМ2.2

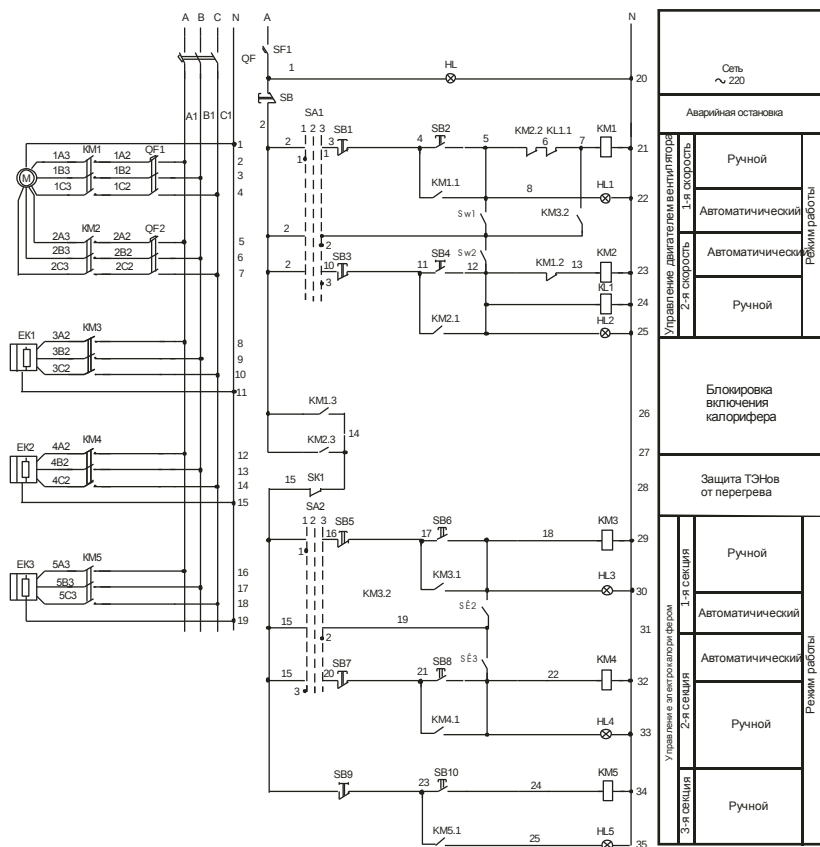


Рис. 3.2. Принципиальная электрическая схема управления.

Управление калорифером в ручном режиме осуществляется при помощи кнопок SB5... SB 1 O. Предусматривается отключение калорифера контактом SK1 датчика 2TPM1, при повышении температуры на нагревательных элементах выше 190 °С.

В автоматическом режиме переключатели SA 1 и SA2 ставятся в режим «3». При этом в зависимости от влажности внутри помещения вентилятор будет работать на первой или

второй скорости. При этом будут замкнуты контакты датчика влажности SW1 или SW2. Первая и вторая секция электрокалорифера в автоматическом режиме включается в работу при замыкании контактов SK2 и SK3 терморегулятора. Третья секция электрокалорифера работает только в ручном режиме.

Блокировка контактом KM5.2 предусмотрена для того, чтобы не допустить работу вентилятора на второй скорости в холодный период, когда включены все три секции калорифера, тем самым она предотвращает переохлаждение помещения. Для контроля за работой станции управления используется сигнальная арматура H1L1..H1L5.

Установка состоит из электрокалорифера СФО-90, [8], центробежного вентилятора Ц4-70 N6, [8], шкафа управления. Датчиков температуры и влажности и системы распределительных воздухопроводов. Для при вода вентилятора используется двухскоростной двигатель. Чтобы изменять воздухоподачу и тем самым регулировать влажность внутри помещения.

Электрические калориферы все чаще применяются для создания оптимального микроклимата в животноводческих помещениях. Удобства в эксплуатации, обеспечение зоотехнических требований в части регулирования температуры и воздухообмена, возможность полной автоматизации – основные преимущества, которыми обладают электрические калориферы. Большое значение имеет и то, что электрические калориферы по сравнению с другими типами воздушонагревателей обладают более высоким кпд., они более компактна, удобны в обслуживании, постоянно готовы к работе и, наконец теплопроизводительность можно регулировать в широких пределах и относительно простыми способами. Правильный выбор электрокалорифера СФО объясняется хорошими теплотехническими показателями, простой и удобной конструкцией, рациональной электрической схемой, наличием широкой унифицированной шкалы модификаций по мощности, которая очень хорошо подходит к климатическим условиям Матвеевского района Оренбургской области.

Таким образом правильно выбранные меры по энергосбережению фирмы ООО «ЭнергоАудитЭксперт – ОГАО» позволяют повысить резистентность коров, создать условия для повышения их продуктивности.

Список использованной литературы:

- 1) Механизация и технология производства продукции животноводства/ В.Г. Коба, Н.В.Брагинцев, Д.Н. Мурусидзе, В.Ф.Некрасевич. – М.: Колос, 2000. – 528 с.:ил.
- 2) Самарин Геннадий Николаевич. Энергосберегающая технология организации микроклимата в животноводческих помещениях. Диссертация на соискания ученой степени доктора технических наук. Москва 2009г.
- 3) Бароти, И. Энергосберегающие технологии и агрегаты на животноводческих фермах. /И. Бароти П, Рафан - М.: Агропромиздат 1988-227 с.
- 4) Соловьев Ф.А. Микроклимат животноводческих помещений и пути их улучшения / Ф.А. Соловьев, В.А. Самарин «Труды Великолукского с/х института – великие Луки, 1972 – Вып-24 с.

5) Спасов В.П. Система управления микроклиматом в животноводческих помещениях./В.П. Спасов, В.А. Самарин//Информационный листок – Псков:ЦНТИ, 1996,- №138 – 96 с.

6) Пчелкин, Ю.Н. Техничко- экономические показатели теплообменных систем вентиляции / Ю.Н. Пчелкин // Механизация и электрификация с/х 1980, - №9 – 19 – 21.

7) Филатов Сергей Анатольевич. Микроклимат крупногабаритного типового коровника и его влияние на физиологическое состояние и продуктивные качества животных в условиях Приамурья.

8) Фоменков А.П. Электропривод сельскохозяйственных машин, агрегатов и поточных линий.- М.:Колос, 1984. – 1288 с.

© Л.Г. Нигматов, В.Ю. Бибарсов, В.Е. Медведев, 2015

УДК 614

В.Ю. Радоуцкий

к.т.н., профессор кафедры «Защита в чрезвычайных ситуациях»

Е.Г. Ковалева

к.т.н., ст. преподаватель кафедры «Защита в чрезвычайных ситуациях»

Ю.В. Ветрова

к.т.н., доцент кафедры «Защита в чрезвычайных ситуациях»

Белгородский государственный технологический университет

им. В.Г. Шухова

г. Белгород, Российская Федерация

СИСТЕМА ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ПРЕДУПРЕЖДЕНИЮ, ЛОКАЛИЗАЦИИ И ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

1 Моделирование процессов управления в условиях чрезвычайных ситуаций с помощью когнитивных карт

Характерной особенностью протекания чрезвычайных ситуаций (ЧС) является неопределенность, нечеткость и недостоверность информации о параметрах ЧС. В этих случаях целесообразно использовать модели управления в условиях ЧС, основанные на нечетких когнитивных картах [1, с. 146; 2, с. 233].

Нечеткой когнитивной картой (НKK) называется причинно-следственная сеть

$$G = (C, W), \quad (1)$$

где C – множество концептов, W – множество связей между концептами

$$\omega(c_i, c_j) \in W \rightarrow [-1; 1]. \quad (2)$$

В вершинах ориентированного графа, соответствующего чрезвычайной ситуации, располагаются события или ключевые элементы ЧС, направленные дуги отображают причинно-следственные связи между ними и определяют степени влияния (веса) этих связей. При этом параметры событий и степени их взаимного влияния могут выражаться как точными количественными показателями, так и нечеткими качественными

соотношениями [3, с. 69]. Таким образом НКК объединяет в себе свойства нечетких систем и нейронных сетей [4, с. 345].

Использование НКК для моделирования развития ЧС и их ликвидации упрощает анализ происходящих процессов и причинно-следственных связей между концептами ситуации. Предварительно созданная нечеткая когнитивная карта позволяет прогнозировать вид и параметры сценария, по которому пройдет развитие ЧС частично и нечетко заданными исходными параметрами.

При построении когнитивной карты эксперты оценивают веса причинно-следственных связей между концептами по следующей шкале: «влияет сильно» – (+1); «влияет» – (+0,5); «не влияет» – (0); «влияет отрицательно» – (–0,5); «влияет очень отрицательно» – (–1).

В случае, когда значения весов причинно-следственных связей извлекаются из данных в процессе обучения, веса могут причинить произвольные нечеткие значения из множества $[-1;1]$. На основе построенной нечеткой когнитивной карты формируются матрицы взаимовлияния концептов друг на друга, после чего исследуется поведение и устойчивость построенной карты.

Рассчитываются системные показатели НКК – консонансы и диссонансы влияния концептов друг на друга, вычисление которых основано на сравнении контуров, образованных из концептов карты по признакам соответствия, баланса и силы влияния [5, с. 41]. Главным преимуществом применения НКК является возможность количественной оценки взаимного влияния концептов друг на друга.

Использование НКК позволяет моделировать неопределенность во взаимосвязях между событиями и принимаемыми решениями.

Для учреждений системы высшего профессионального образования одной из наиболее опасных по характеру поражающих факторов и с точки зрения возможных последствий являются пожары. Рассмотрим типовую концептуальную модель возникновения и развития пожара в образовательном учреждении. В простейшем случае пожароопасность учреждения описывается концептуальной моделью с базисными факторами $C_1 \div C_5$ (рис. 1).

При функционировании учебного заведения на него постоянно влияют внутренние и внешние дестабилизирующие факторы, которые отображены на схеме в виде внешних стрелок. Перечень концептов и переменные их состояния приведены в табл. 1.

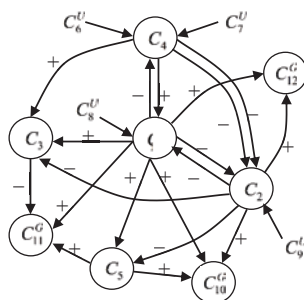


Рис 1 – Типовая концептуальная модель состояния учебного заведения в условиях пожара

Таблица 1

Концепты $C_1 \div C_{12}$ и их переменные

Концепт	Наименование	Переменная состояния
C_1	Здания, помещения, оборудование, инженерные сети	Степени заполнения, загрузки по отношению к тах значениям, %
C_2	Пожаровзрывоопасные материалы	Количество, степень использования материалов
C_3	Пожароопасные работы, процессы, технологии	Степень использования, %
C_4	Персонал (студенты, преподаватели, сотрудники)	Численность пострадавших (от общей численности, %)
C_5	Воздушная среда, окружающее пространство	Уровни опасных факторов пожара (относительно допустимых значений, %)
C_6^u	Влияние окружающей среды	Степень воздействия (от приемлемого влияния, %)
C_7^u	Социальный фактор	Отношение стипендий, зарплат к прожиточному уровню
C_8^u	Износ материально-технической базы	Степень износа, %
C_9^u	Внешнее разрушительное, пожароопасное воздействие	Степень воздействия, %
C_{10}^G	Население прилегающей территории	Доля пострадавшего населения, %
C_{11}^G	Ущерб	Прямой ущерб для учебного заведения в результате пожара, руб.
C_{12}^G	Зона поражения в результате пожара	Площадь зоны поражения, м ²

Анализ причинно-следственных связей, отображенных в НКК, необходим для контроля состояния объекта в нормальных условиях и при возникновении ЧС, а также для прогноза поведения объекта при реализации различных управленческих решений.

Для реализации управления объектом необходимо исследование связности и сложности НКК. Так, слабосвязная отдельными блоками объекта, что может повлечь отрицательные последствия в условиях ЧС из-за нарушения принципа системности. Сложность НКК усложняет анализ причинно-следственных связей и, как следствие, выработку рациональных способов управления. Нечеткая когнитивная карта представляет собой ориентированный граф G .

Графом $G(V, E)$ называется множество V точек-вершин и множество E пар точек (вершин) неупорядоченных и упорядоченных (одна из вершин – начало, другая – конец). Неупорядоченные пары вершин соединяются линиями – ребрами, упорядоченные –

направленными линиями – дугами. Граф, содержащий только дуги, называются ориентированными. Пара вершин может соединяться двумя или более ребрами (дугами). Такие ребра (дуги) называются кратными. Вершины, соединенные ребрами и дугами называются смежными. Ребра (дуги) имеющие общую вершину также называются смежными.

Ребро (u, v) соединяет вершины u и v , дуга (u, v) начинается в вершине u и кончается в вершине v . Ребро (дуга) и любая из его вершины называются инцидентными. Пусть $v_1, v_2, \dots, v_n$ – вершины графа $G(V, E)$, а $e_1, e_2, \dots, e_m$ – его ребра.

Тогда матрицей смежности графа называется матрица $A = (a_{ij})_{nm}$, у которой элемент a_{ij} равен числу ребер (дуг), соединяющих вершины v_i и v_j (идущих из v_i в v_j), и $a_{ij} = 0$, если вершины v_i и v_j не смежны. В матрице инцидентности $B = (b_{ij})_{nm}$ элемент $b_{ij} = 1$, если вершина v_i инцидентна ребру e_j , и $b_{ij} = 0$, если вершина v_i и ребро e_j не инцидентны. Два графа называются изоморфными, если существует взаимно однозначное соответствие между множествами их вершин и ребер, сохраняющее отношения инцидентности. Последовательность ребер $(v_0, v_1), (v_1, v_2), \dots, (v_{r-1}, v_r)$ называется маршрутом, соединяющим вершины v_0 и v_r . Если $v_0 = v_r$, то маршрут замкнут. Маршрут называется цепью, если все его ребра различны, и простой цепью, если все его вершины различны. Замкнутая цепь называется циклом, если любая пара его вершин соединена маршрутом. Длина маршрута равна количеству ребер в порядке их прохождения. Длина кратчайшей простой цепи, соединяющей вершины v_i и v_j называется расстоянием $d(v_i, v_j)$ между v_i и v_j . Связный граф с наименьшим числом ребер называется деревом.

Мерой связности или связностью графа называют наименьшее число вершин, удаление которых превращает исходный связный граф в несвязный.

Для описания причинных связей в НКК могут использоваться нечеткие отношения, задаваемые экспертами с помощью функций принадлежности. При этом эксперт оценивает силу каждой связи с помощью терминов: «не влияет», «влияет незначительно», «влияет существенно», «влияет сильно» и т.п.

Рассмотрим типовую модифицированную когнитивную карту функционирования высшего учебного заведения (ВУЗ), как пожароопасного объекта, в нормальном режиме.

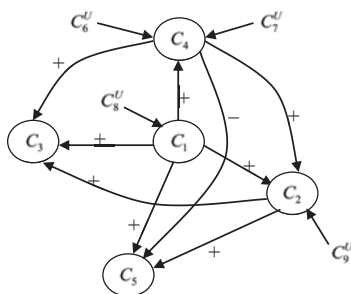


Рис. .2 – Когнитивная карта функционирования ВУЗа в нормальном режиме

Из НКК, представленной в виде графа (рис. .2) следует:

$$G = G(C, E); C = \{C_1, C_2, \dots, C_9\};$$

$$E = \{E_1 = \langle C_1, C_2 \rangle; E_2 = \langle C_1, C_3 \rangle; E_3 = \langle C_1, C_4 \rangle; E_4 = \langle C_1, C_5 \rangle;$$

$$E_5 = \langle C_2, C_3 \rangle; E_6 = \langle C_2, C_5 \rangle; E_7 = \langle C_4, C_3 \rangle; E_8 = \langle C_4, C_5 \rangle;$$

$$E_9 = \langle C_5, C_4 \rangle; E_{10} = \langle C_6, C_4 \rangle; E_{11} = \langle C_7, C_4 \rangle; E_{12} = \langle C_8, C_1 \rangle;$$

$$E_{13} = \langle C_9, C_2 \rangle\}.$$

(3)

Общая схема моделирования процессов управления в ЧС с использованием НКК заключается в следующем:

1. Задается начальное состояние возможной ситуации, определяемое значениями переменных состояния X_i ;
2. Имитируется воздействие некоторой j -ой угрозы Y_j на концепт C_i ;
3. Выполняется расчет изменения переменных состояния $X_i(j)$ для всех концептов $C_i (i=1, 2, \dots, n)$;
4. Находятся установившиеся значения $X_i^*(j)$ переменных состояния концептов C_i , а также отклонения этих значений по отношению к безопасным $X_{i\text{бес}}$, т.е. $\Delta X_i^*(j) = X_i^*(j) - X_{i\text{бес}} (i=1, 2, \dots, n)$.

Если указанные отклонения переменных недопустимы, то полученные значения $\Delta X_i^*(j)$ характеризует собой потери отдельных элементов объекта от воздействия угрозы Y_j .

Предотвращение, смягчение или уменьшение отрицательного воздействия ЧС осуществляется за счет целенаправленного изменения переменных состояния $X_i^*(j)$ путем влияния на концепты принимаемых решений R_k .

Предварительно в ходе системного анализа возможных ЧС необходимо свести к минимуму количество концептов когнитивной карты. С этой целью используются методы экспертной оценки и алгоритмы экспертного ранжирования.

После построения когнитивной карты формируется ее матрица смежности $W = (w_{ij})$, элементы которой w_{ij} принимают значения +1 или -1, если из вершины (узла) карты C_i к вершине C_j действует прямая (+) или отрицательная (-) причинная связь и 0 – если такая связь отсутствует или отбрасывается как несущественная. Таким образом получается квадратная матрица, размерность которой равна числу концептов.

Используя матрицу смежности W , можно получить дополнительную информацию о системе. Пусть w_{ij} – сумма произведений весов дуг для путей длины два, соединяющих узел C_i с узлом C_j :

$$w_{ij}^{(2)} = \sum_{k=1}^n w_{ik} \cdot w_{kj}. \quad (4)$$

Аналогично можно вычислить элементы матриц $W^3, W^4, \dots, W^n$, которые характеризуют наличие путей длины три, четыре, пять, ..., которые связывают узел C_i с узлом C_j .

По матрицам $W, W^2, \dots, W^n$ можно вычислить матрицу достижимости T , характеризующую связность когнитивной карты, т.е. наличие непосредственных или опосредованных связей между образующими ее концептами:

$$T = \sum_{i=1}^{n-1} W^i. \quad (5)$$

Анализ матрицы T позволяет исследовать воздействие концептов друг на друга. Например, наличие только нулевых элементов на главной диагонали матрицы T указывает на то, что данная когнитивная карта является нециклической, т.е. отсутствуют концепты, оказывающие влияние на самих себя.

С помощью матрицы смежности можно выделить наиболее значимые концепты, участвующие в формировании наибольшего числа связей в когнитивной карте. С этой целью для каждого концепта вычисляется характеристика:

$$CEN(C_i) = IN(C_i) + OUT(C_i), \quad (6)$$

где

$$IN(C_i) = \sum_{k=1}^n |w_{ki}|; \quad (7)$$

$$OUT(C_i) = \sum_{k=1}^n |w_{ik}|. \quad (8)$$

Показатель $IN(C_i)$ равен числу концептов, оказывающих непосредственное воздействие на концепт (C_i) , а показатель $OUT(C_i)$ равен числу концептов, на которые воздействует концепт (C_i) . Чем больше показатель $CEN(C_i)$, тем выше значимость концепта (C_i) .

Воздействуя на наиболее значимые концепты можно предотвратить возникновение ЧС, а в случае её возникновения – влиять на протекание ЧС с целью смягчения её негативных последствий.

При большом числе и сложности переменных задача построения НКК на основе экспертных оценок становится очень трудоемкой. Выходом из этой ситуации является использование процедуры обучения НКК, при котором, как и в нейронных сетях, веса связей настраиваются. Алгоритмы обучения НКК подобны тем, которые используются для обучения искусственных нейронных сетей. Например, алгоритм дифференциального обучения [6, с. 401], согласно которому обновляются только те веса множества причинно-следственных связей, которые непосредственно изменяют значения концептов. Рассмотрим изменения переменной $X_i(t)$ за единицу времени:

$$\Delta X_i(t) = X_i(t) - X_i(t-1). \quad (9)$$

Правило пересчета весов W_{ij} сводится к последующей формуле:

$$W_{ij}(t+1) = \begin{cases} W_{ij}(t) + \alpha_i (\Delta X_i \Delta X_j - W_{ij}(t)), & \text{если } \Delta X_i \neq 0 \\ W_{ij}(t) & \text{если } \Delta X_i = 0 \end{cases} \quad (10)$$

где α_i – коэффициент обучения, который рассчитывается по формуле:

$$\alpha_i(t) = 0,1 \left(1 - \frac{t}{1,1n} \right) \quad (11)$$

где n – количество концептов в обучаемой НКК.

В начале процесса обучения необходимо задать значения параметров $X_i(t)$ в начальный момент времени $t = 0$.

Затем на основе статистических данных о поведении объекта в условиях негативных воздействий определяем возможные значения параметров угроз $X_i(t)$ и параметров объекта

поражения $X_i^G(t)$ в последующие моменты времени. Так формируется обучающая выборка НКК.

Дальше необходимо выполнить нормализацию значений переменных $X_i(t)$. Для этого в каждом столбце таблицы переменных обучающей выборки выбирается максимальное значение, на которое делятся все остальные значения переменных соответствующего столбца.

В результате этой процедуры значение переменных будут изменяться в интервале от 0 до 1 включительно.

Нечеткие когнитивные карты объектов могут быть представлены в виде нейронных сетей Элмана. Обучение НКК может быть выполнено с помощью встроенного в MATLAB аппарата нейронных сетей (Neural Network Toolbox). Обученную НКК можно использовать для прогнозирования ЧС: если при имитации воздействия угроз значения параметров объекта поражения увеличиваются, значит возможно развитие ЧС.

Изложенный выше метод обучения НКК можно использовать с учетом мер по управлению ликвидацией ЧС.

Для обучения НКК возможно использование и других типов нейронных сетей, например, сетей Хопфилда.

В настоящее время изучение вопросов использования различных типов нейронных сетей для построения и обучения НКК, применяемых для моделирования ЧС, продолжается и далеко до завершения.

2 Обоснование применения нейронных сетей для прогнозирования параметров и последствий чрезвычайных ситуаций

Задачей прогнозирования ЧС является выявление и изучение возможных сценариев развития ЧС, что является необходимой предпосылкой принятия решений в условиях их возникновения. Каждый альтернативный сценарий развития ЧС обусловлен определенным комплексом внешних условий. Математическая постановка задачи прогнозирования состояний объекта в условиях ЧС зависит от целей прогнозирования, используемого математического аппарата, а так же методов прогнозирования. Рассмотрим постановку задачи при использовании аналитического метода прогнозирования [7, с. 71].

Предположим, что в состоянии объекта описывается многомерной функцией состояния $Q(k_1, k_2, \dots, k_n)$, где $k_1, k_2, \dots, k_n$ – параметры объекта. В результате наблюдений установлены значения этой функции в моменты времени $(t_0, t_1, \dots, t_m) \in T_1$: $Q(t_0), Q(t_1), \dots, Q(t_m)$.

Необходимо найти значения функции состояния $Q(t_{m+1}), Q(t_{m+2}), \dots, Q(t_{m+\kappa})$ в последующие моменты времени $(t_{m+1}, t_{m+2}, \dots, t_{m+\kappa}) \in T_2$.

Величина Q может представлять какой-либо обобщенный критерий состояния объекта X . Задача заключается в определении такой функции (модели) $F(X)$, которая позволяла бы найти значения прогнозируемой Y . Простейшей такой моделью является линейное соотношение вида:

$$Y = F(X) = a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_ix_i + \varepsilon \quad (12)$$

где $x_1, x_2, \dots, x_i$ – наблюдаемые значения критерия X ; $a_1, a_2, \dots, a_i$ – коэффициенты, ε – случайная величина, характеризующая совокупную погрешность моделирования.

Коэффициенты функции F определяются из условия экстремума некоторого критерия, например, минимума среднеквадратической ошибки:

$$M \cdot (Y - F(X))^2 = \min. \quad (13)$$

Недостатком данного метода является невозможность прогнозирования качественных изменений состояний исследуемого объекта [8, с. 137].

Наряду с ЧС локального (объектового) уровня, необходимо рассматривать более масштабные ЧС муниципального, межмуниципального и регионального уровня. Модели управления в условиях таких ЧС носят иерархический, многоуровневый и многокомпонентный характер.

Перспективным методом прогнозирования параметров последствий ЧС является применения нейросетевых моделей. Эти модели позволяют решать задачи описания динамики состояний объекта в нормальных (штатных) условиях, в условиях неопределенности и ограничений по ресурсам. Для построения нейросетевых моделей чаще всего используются следующие подходы:

- конструируется сеть Хопфилда, как реализация некоторого алгоритма оптимизации;
- используется многослойный персептрон, который обучается оптимизационными методами по обучающей выборке, составленной по известным состояниям объекта.

Второй вариант позволяет получать прогноз изменения состояния объекта в режиме реального времени, т.е. практически мгновенно, что имеет первостепенное значения для управления в условиях ЧС [9, с. 75].

Первым этапом построения нейронной сети для моделирования ЧС является подготовка и анализ исходных данных для формирования обучающей выборки. Обучающая выборка представляет собой набор значений входных и выходных переменным, характеризующих состояние объекта. При наличие большого объекта информации важно правильно выбрать наборы входных и выходных переменных. Входных (прогнозируемых) переменных должно быть достаточно для описания динамики изменения состояния объекта, оценки ситуации и принятия управляющего решения. В числе входных и выходных переменных достаточно оставить лишь те, которые существенно влияют на изменения выходных переменных. При формировании обучающей выборки числовые данные нормируются на диапазон изменения $0 \leq \bar{X} \leq 1$ по формуле:

$$\bar{X} = \frac{X - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (14)$$

Нечисловые данные преобразуются в числовую форму вида (0;1) или переменные типа Ответ = (Да; Нет).

Количество наблюдений, необходимых для получения обучающей выборки, устанавливается опытным путем.

Вторым этапом построения нейронной сети является выбор её архитектуры. Это может быть многослойные персептрон, сети Кохонена, сети адаптивного резонанса, рециркуляционные, встречного распространения и др.

Пример одной из возможных архитектур сети для прогнозирования состояния объекта представлен на рис. 3. В качестве входных параметров здесь используются значения

параметра в предшествующие моменты времени $[t - n; t]$, входным (прогнозируемым) параметрам является значение параметра X в момент времени $t + 1$.

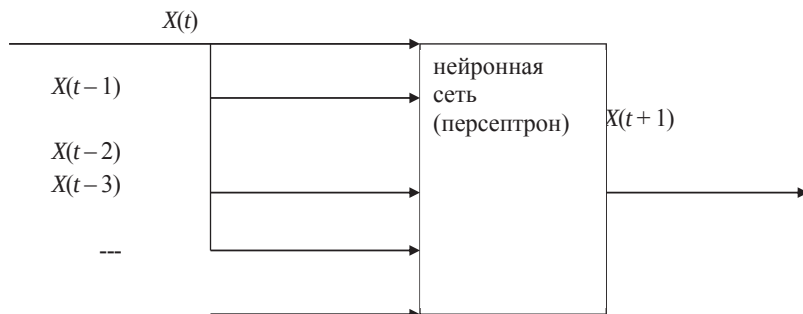


Рис. 3 – Архитектура нейронной сети для прогнозирования параметров объектов в условиях ЧС

На третьем этапе построения нейросетевой модели определяется структура нейронной сети. В персептроне нейроны организованы в слои, причем элементы каждого слоя связаны только с нейронами предыдущего слоя, так что информация передается от предыдущих слоев в сети, а так же от числа нейрона в каждом слое влияет на способность сети решать те или иные задачи.

Для наиболее распространенного варианта нейронной сети- трехслойного персептрона минимальное число нейронов в единственном скрытом слое сети определяется по формуле:

$$n \geq \frac{M - L + 1}{L + 1}, \quad (15)$$

где L – число нейронов во входном слое, M – параметр, определяющий размер обучающей выборки. После определения структуры нейронной сети, нужно с помощью процедуры её обучения найти значения всех весовых коэффициентов, которые бы минимизировали ошибку прогноза, выдаваемого нейронной сетью.

Четвертый этап построения нейросетевой модели ЧС – обучения нейронной сети. Существуют несколько алгоритмов нейронных сетей.

Для решения задач прогнозирования параметров и последствий ЧС наиболее часто применяются алгоритм контролируемого обучения (обучения с учителем), при котором веса нейронной сети изменяются на основе обучающих выборок, содержащих значения входных и выходных (прогнозируемых) параметров.

Пятым, завершающим этапом построения прогнозирующей нейросетевой модели ЧС является её тестирование. Для этого формируется тестовая выборка, которая не использовалась в обучении сети. Тестовая выборка должна содержать известные значения выходных параметров, которые будут сравниваться со значениями, выдаваемыми нейронной сетью. Если среднеквадратическое отклонение известных значений будет меньше заданного уровня, то построенную модель можно использовать для решения задач прогнозирования параметров и последствий ЧС.

3 Рекомендации по созданию системы информационной поддержки принятия управленческих решений по предупреждению, локализации и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций органами управления ВУЗа

Разработка системы информационной поддержки принятия решений при ликвидации ЧС основана на следующих подходах и методологиях [10, с. 189]:

- методология функционального моделирования, позволяющая описать процесс принятия управленческих решений в виде иерархической системы взаимосвязанных функций;
- методология информационного моделирования, основанная на концепции «сущность – связь»;
- функционально-стоимостный анализ, основанный на определении стоимости (затрат на осуществление) мероприятий, используемых в моделируемых процессах;
- методология создания динамической модели процесса (методология сетей Петри), позволяющая исследовать динамику ЧС и распределения ресурсов для её ликвидации;
- метод построения многоуровневых функциональных моделей, позволяющий моделировать взаимосвязи между отдельными блоками модели.

Применение различных методов моделирования позволяет описать возникновение и развитие ЧС с различных точек зрения и получить полную её картину.

Для решения задач автоматизированной поддержки принятия решений по управлению в условиях ЧС рассмотрим функциональную модель, предусматривающую декомпозицию функций (действий) до элементарных операций.

Функциональная модель описывается формулой:

$$\Phi M \in [\Phi, \Phi C], \quad (16)$$

где Φ – функции, описывающие процессы управления в условиях ЧС; ΦC – функциональные связи.

Системы управления в системе ЧС имеет многоуровневый характер, причем каждый уровень функционирует по своим руководящим и нормативным документам. В соответствии с этим её функциональная модель представляет собой совокупность функциональных подмоделей для каждого уровня управления отдельно:

$$F = (F_1, F_2, \dots, F_n), \quad (17)$$

где n – количество уровней управления.

Например, для системы управления в ЧС (СУЧС) региона $n = 3$. Первый уровень соответствует уровню комиссии по чрезвычайным ситуациям ВУЗа, другого учреждения или объекта экономики, второй уровень – уровень района (города), третий – уровень субъекта РФ. Поведение КЧС каждого уровня, алгоритмы принятия решений определяются соответствующими инструкциями.

В связи с этим функциональная модель управления при возникновении ЧС (например, пожара) в ВУЗе включает в себя три модели [11, с. 65]:

- модель действий самого ВУЗа,
- модель действий районной (городской) КЧС,
- модель действий Главного управления МЧС по региону.

КЧС различных уровней активно взаимодействуют, что сопровождается взаимным дублированием функций. Для устранения этого недостатка многоуровневую функциональную модель необходимо строить в следующем порядке:

1. Создание функциональных моделей отдельных уровней управления;
2. Согласование семантики (гlossария) для достижения однозначности использования одних и тех же понятий на различных уровнях управления;
3. Анализ координационных и информационных связей между уровнями и их унификация;
4. Построение многоуровневой модели.

Принятие решений при ликвидации ЧС характеризуется тем, что лицо, принимающее решения (ЛПР), вынуждено анализировать большой объем разноплановой информации. Структура исходных данных и действия подразделений СУЧС описываются с помощью информационной модели.

Информационная модель типа «сущность – связь» выражается формулой:

$$\text{ИМ} \in [\text{СУЩ}, \text{СВ}, \text{АТ}], \quad (18)$$

где СУЩ = {СУЩ₁ СУЩ₂, ...} – сущности;

СВ – связи;

АТ – атрибуты.

Информационная модель включает в себя перечень объектов предметной области составляющих множество сущностей модели, атрибуты сущностей и формализованные связи между сущностями. Для информационного моделирования техногенных ЧС в ВУЗах используются следующие типы данных:

1. Слабоструктурированные и трудно формализуемые знания о ликвидации ЧС, представленные:

- типовыми сценариями развития и ликвидации ЧС;
- знаниями о техногенных источниках опасностей;
- ликвидационными планами;
- опытом экспертов по ликвидации ЧС.

2. Формализованные данные:

- статистика случившихся ранее ЧС;
- параметры источников опасности;
- силы, средства и ресурсы ликвидации ЧС;
- характеристики защищаемых объектов;
- параметры систем жизнеобеспечения;
- характеристики имеющихся средств защиты;
- формы и структура документов о ЧС.

Схема информационной модели представлена на рис. 4. Каждая из показанных на рисунке сущностей является сложным понятием, содержащим несколько сущностей, а технологически представляет собой отдельную базу данных, ведение которых реализуется из нескольких автоматизированных рабочих мест [12, с. 155].



Рис 4 – Схема концептуальной информационной модели ликвидации техногенной ЧС в ВУЗе

Важной особенностью информационной модели ЧС является присутствие в структуре модели знаний о ликвидации ЧС. Эти знания содержатся в инструктивно-методических документах, ими владеют также привлекаемые для создания модели эксперты.

Для описания такого сложного и развивающегося во времени явления, как ЧС, одних лишь функциональных и информационных моделей недостаточно. Необходима динамическая модель, отражающая временные характеристики и взаимосвязь протекающих при ЧС процессов. Процессы развития и ликвидации ЧС взаимосвязаны, что выражается:

- во влиянии процесса ликвидации ЧС, на динамику ее развития;
- в корректировке плана действий по ликвидации ЧС особенностей ее развития.

Динамическая модель ликвидации ЧС помимо описания временных изменений характеристик ЧС, позволяет:

- получить прогноз развития ЧС во времени по заданным начальным условиям;
- моделировать взаимодействие процессов ликвидации и развития ЧС;
- прогнозировать характер и величину потерь и ущерба от ЧС с учетом принимаемых защитных мер.

Эти возможности динамической модели можно формализовать следующим образом: динамическая модель реализует во времени отображение F внешних условий W и действий ликвидационных сил D на характеристики ЧС X , в состав которых входят и потери от ЧС:

$$X(t) = F(W(t), D(t)), \quad (19)$$

$$t \in (0; T). \quad (20)$$

Для динамического моделирования процесса ликвидации ЧС целесообразно использовать методологию сетей Петри. В основе моделирования ЧС на сетях Петри лежит декомпозиция процесса развития ситуации на множество отдельных взаимодействующих элементарных процессов, описывающих изменение параметров ЧС во времени. Время представляется набором последовательных дискретных событий. Процессы взаимодействуют в определенных точках, называемых состояниями. Состояния фиксируют значения параметров текущей ситуации. Тем самым пространство взаимосвязанных характеристик развития ЧС представляется в виде сети из промежуточных состояний и процессов [13, с. 151].

$$DM \in [C, E], \quad (21)$$

где $C = \{C_1(x_1, \dots, x_m), C_g(x_1, \dots, x_m)\}$ – множество из g состояний, каждое из которых описывается параметрами $x_1, \dots, x_m$; $E = \{E_1, E_2, \dots, E_h\}$ – множество из h процессов, преобразующих параметры X состояний C . Модифицированную сеть Петри, моделирующую развитие и ликвидацию ЧС в ВУЗе, можно представить набором N :

$$N = (C, E, X, F, H, \mu_0), \quad (22)$$

где C – множество позиций, соответствующих состояниям; E – переходов (процессов); X – множество параметров (маркеров); $F : C \times E \rightarrow N$, $H : E \times C \rightarrow N$ – функции инцидентности множеств позиций и переходов; μ_0 – начальная разметка сети, т.е. совокупность маркеров с заданными параметрами в определенных позициях-состояниях.

Множество процессов E состоит из трех подмножеств:

$$E = \{E_d, E_{\text{ч}}, E_{\text{и}}\}, \quad (23)$$

где $E_{\text{ч}}$ – физико-химические основы развития ЧС; E_d – действие ликвидационных формирований; $E_{\text{и}}$ – условные процессы взаимодействия процессов $E_{\text{ч}}$ и E_d при смене состояний.

Множество состояний C представлено подмножеством состояний развития аварии C_a и подмножеством C_d , моделирующим действия по ликвидации ЧС:

$$C \in [C_a, C_d]. \quad (24)$$

В множество параметров X входят подмножества:

$$X = \{x_i, X_w, X_p, X_s, X_d\}, \quad (25)$$

где x_i – параметр, характеризующий сдвиг во времени для текущего состояния c_i ; X_w – внешние условия; X_p – потери; X_s – промежуточные характеристики; X_d – параметры, характеризующие выполнение ликвидационных мероприятий.

Рассмотрим динамическую модель ликвидации ЧС в ВУЗе – аварию в химической лаборатории с выбросом токсического газа. Динамическая модель ликвидации ЧС строится в три этапа:

1. Построение динамической модели развития ЧС без учета действий по ликвидации аварии (рис. 5).

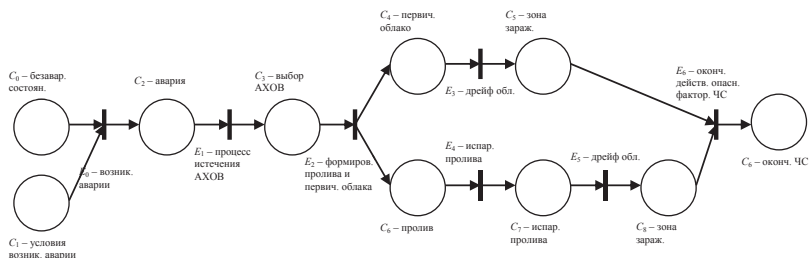


Рис. 5 – Схема динамической модели развития ЧС в ВУЗе

2. Построение динамической модели принятия решений в условиях ЧС.

Динамическая модель принятия решений строится на основе динамической модели развития ЧС путем добавления состояний, соответствующих предупредительным мероприятиям по ликвидации опасных состояний. Динамическая модель принятия решений позволяет прогнозировать и фиксировать параметры развития ЧС, показатели необходимых мероприятий, объемы требуемых ресурсов. На основе этих показателей формируется план ликвидации ЧС.

3. Построение динамической модели ликвидации ЧС.

Эта модель создается на базе двух предыдущих моделей посредством добавления состояний, соответствующих ликвидационным мероприятиям. В рамках динамической модели ликвидации ЧС задача синтеза алгоритма ликвидации ЧС формулируется как поиск набора управляющих воздействий минимизирующих величину потерь. Определение наиболее эффективного перечня мероприятий предлагается осуществлять методом перебора возможных комбинаций мероприятий из множества, выделенного на стадии динамического моделирования принятия решений.

В условия возникновения и динамического развития ЧС в ВУЗах критическим фактором для принятия решений о ликвидации ЧС является информация, ее полнота, непротиворечивость и надежность. Отсюда следует актуальность информационной поддержки оперативного управления в ЧС на самых ранних этапах – на стадии распознавания ЧС на основе недостаточной и часто противоречивой информации. Одним из способов осуществления информационной поддержки распознавания ЧС – разработка и реализация системы, содержащей список всех ожидаемых аварий и средств поиска наиболее близкой ситуации. В настоящее время одним из наиболее широко используемых методов оперативного управления в ЧС является сценарный подход [14, с. 82]. В связи с

этим для большинства классов возможных ЧС построены сценарии их развития. Набор описаний сценариев может быть взят за основу базы знаний о возможностях ЧС, которая используется для решения задачи распознавания.

Актуальной задачей системы информационной поддержки управляющих решений в условиях ЧС является разработка метода генерации приняв ликвидации ЧС на основе имеющихся ресурсов и правил их использования. Поскольку процесс принятия решений по ликвидации ЧС является слабоформализуемым, то метод составления плана ликвидации ЧС включает в себя осуществление следующих действий [15, с. 138]:

- уточнение характеристик ЧС с помощью алгоритма распознавания и получения на основе динамических моделей уточненных прогнозных оценок развития опасных факторов ЧС и перечня необходимых ликвидационных мероприятий;
- выполнение уточненного расчета параметров использования имеющихся сил, средств и ресурсов на основе прогноза развития ЧС;
- поиск оптимального распределения ресурсов в рамках выбранного плана действий.

Реализация данного метода осуществляется в два этапа:

- 1) формирование необходимого базового плана ликвидации ЧС с неуказанными параметрами выполнения и не назначенными исполнителями;
- 2) формирование эффективного детального плана с рассчитанными параметрами и назначенными исполнителями.

4 Использование информационных технологий для оптимального распределения сил и средств, предназначенных для ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций

Вопросы выбора оптимального состава сил и средств для ликвидации последствий ЧС, а так же вопросы оптимального распределения ликвидационных задач между отдельными формированиями остается до настоящего времени малоразработанными. Не разработаны так же методы анализа затрат, необходимых для ликвидации ЧС. Перспективным направлением решения этих задач является использование математического моделирования и информационных технологий [16, с. 92].

Пусть известны координаты (x_0, y_0) места ЧС, количественный показатель W необходимого объема работ по ликвидации ЧС, множество $C = \{C_1, C_2, \dots, C_A\}$ формирований, предназначенных для ликвидации, функция $\lambda((x_0, y_0), \dots, (x_k, y_k))$, определяющая время в пути каждого формирования. Составим матрицу Λ , i -ая строка которой описывает характеристически i -го формирования ...

$$\Lambda = \begin{vmatrix} w_1 t_1^0 x_1^k y_1^k z_1^p z_1^n \\ w_2 t_2^0 x_2^k y_2^k z_2^p z_2^n \\ \text{---} \text{---} \text{---} \text{---} \text{---} \\ \text{---} \text{---} \text{---} \text{---} \text{---} \end{vmatrix}, \quad (26)$$

где w – производительность формирования в единичных объемах работы в час, t^0 – время приведения формирования в полную готовность с учетом времени на принятие решения; (x^k, y^k) – координаты местонахождения формирования; z^p – затраты формирования за 1 час ликвидационных работ; z^n – затраты формирования на 1 час пути.

Анализ особенности протекания техногенных ЧС в учреждениях, и в том числе и в ВУЗах, оказывает что обеспечить минимальные потери можно лишь при максимально быстром проведении аварийно-спасательных и других неотложных работ (АСДНР). Отсюда следует, что в качестве критерия эффективности проведения ликвидации ЧС можно выбрать скалярный параметр «Время ликвидации». Оптимизация процесса ликвидации ЧС заключается в отыскании вектора загрузки формирований $V = (v_1, v_2, \dots, v_A)$ минимизирующего суммарное время $t_{\text{общ}}$ на выполнение ликвидационных мероприятий и необходимые для этого затраты:

$$t_{\text{общ}} \rightarrow \min \quad (27)$$

$$Z_{\text{общ}} = \sum_{i=1}^A (z_i^{\Pi} t_i^{\Pi} + z_i^P \cdot \frac{V_i}{w_i}) \rightarrow \min \quad (28)$$

при ограничениях:

$$V_i \geq 0; i = (1, A); \sum_{i=1}^A V_i = W \quad (29)$$

где t_i^{Π} – время, затраченное i -ым формированием на выдвижение к месту ЧС; w_i – производительность i -го формирования.

Зависимость общей производительности группировки ликвидационных формирований от времени имеет вид :

$$W_{\text{сумм}}(t) = \sum_{i \in M} w_i \quad (30)$$

где M – множество номеров формирований, успевших прибыть на место ЧС к моменту времени t . Время t_i^{Π} прибытия i -го формирования к месту ЧС зависит от степени его готовности и расстояния, поэтому формирования включаются в работу не все сразу, а постепенно- по мере прибытия.

Характер зависимости $W_{\text{сумм}}(t)$ показан на рис. 6.

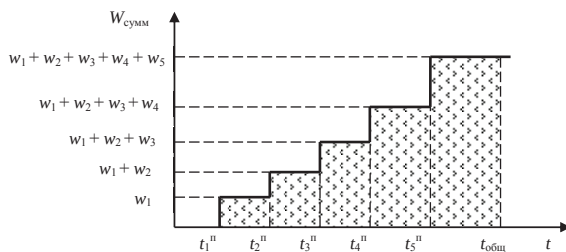


Рис. 6 – Вид зависимости $W_{\text{сумм}}(t)$

Площадь ступенчатой фигуры $S(t)$ соответствует объему выполненной работы

$$W = S(t_{\text{общ}}) = \sum_{i \in M} w_i (t_{\text{общ}} - t_i^n) = \sum_{i \in M} w_i t_{\text{общ}} - \sum_{i \in M} w_i t_i^n = t_{\text{общ}} \sum_{i \in M} w_i - \sum_{i \in M} w_i t_i^n. \quad (31)$$

Отсюда

$$t_{\text{общ}} = \frac{W + \sum w_i t_i^n}{\sum_{i \in M} w_i}. \quad (32)$$

Предположим, что в ликвидации ЧС в ВУЗе могут участвовать пять аварийно-спасательных формирований, характеристики которых приведены в таблице 1.2. Минимизация $t_{\text{общ}}$ сводится к поиску множества M номеров формирований, наиболее эффективно участвующих в ликвидации ЧС в ВУЗе.

Таблица 2

Исходные данные по аварийно-спасательным формированиям

Формирование	Время прибытия t_i^n , мин.	Производительность, м ³ /мин	Затраты на выдвигание z^n , руб./мин	Затраты на ликвидацию z^n , руб./мин

Поиск состава оптимальной группировки формирований может быть выполнен по следующему алгоритму:

1. Проранжируем формирования в порядке возрастания времени их прибытия к месту ЧС. Получим упорядоченную последовательность формирований, в начале которой находится самое «близкое», а в конце – самое «дальнее» формирование.

2. Построим диаграмму, приведенную на рис. 6.

3. Вычислим $S(t)$ для $t = t_1^n + \Delta t$, где $0 \leq \Delta t \leq t_2^n - t_1^n$. Получим $S(t) = w_1(t_2^n - t_1^n)$ – объем ликвидационных работ, выполненных первым прибывшим на место ЧС формированием.

4. Вычислим $S(t)$ для $t = t_2^n + \Delta t$, где $0 < \Delta t < t_3^n - t_2^n$. Получим $S(t) = w_1(t_2^n - t_1^n) + (w_1 + w_2)(t_2^n - t_1^n)$.

5. Аналогично продолжаем расчет $S(t)$ последовательно для периодов $t \in (t_i^n, t_{i+1}^n)$ до момента, когда $S(t) \geq W$. Номер шага n_m , на котором будет выполнено данное условие, соответствует номеру последнего формирования, успешного к ликвидации ЧС.

6. Находим $t_{\text{общ}}$, подставив в формулу (32) номера формирований, участвовавших в ликвидации ЧС.

7. Искомый вектор загрузки формирований

$$V = (v_1, v_2, \dots, v_A)$$

примет вид:

$$v_i = \begin{cases} w_i(t_{\text{общ}} - t_i^n), & i \in M \\ 0, & i \notin M \end{cases} \quad (33)$$

В случае, когда стратегия ликвидации ЧС определяется как «минимальные затраты за приемлемое время» распределение загрузки формирований ищется в соответствии с условиями:

$$t_{\text{общ}} \leq t_{\text{фикс}}$$

$$Z_{\text{общ}} = \sum_{i=1}^A (z_i^n t_i^n + z_i^n \frac{V_i}{w_i}) \quad (34)$$

Общее время ликвидации ЧС должно быть зафиксировано, иначе решением задачи будет, назначение всего объема работ самому экономичному формированию.

Для отыскания плана ликвидации, удовлетворяющего условиям (34), может быть использован следующий алгоритм:

1. Проранжируем все формирования в порядке возрастания величины удельных затрат на ликвидацию ЧС, которые вычисляются по формуле:

$$Z_i^{уд} = \frac{z_i^П t_i^П + z_i^Р (t_{\text{фикс}} - t_i^П)}{w_i (t_{\text{фикс}} - t_i^П)}. \quad (35)$$

Исходя из полученной таким образом упорядоченной последовательности формирований, подберем группировку формирований, способной за время $t_{\text{фикс}}$ выполнить объем работ W с минимальными затратами. Для этого:

2. Вычислим объем выполненных за время $t_{\text{фикс}}$ работ для распределения нагрузки:

$$V = (w_1 (t_{\text{фикс}} - t_1^П), \dots, 0), \quad (36)$$

в котором номера формирований упорядочены по удельным затратам. Получим:

$$W_1 = v_1 = w_1 (t_{\text{фикс}} - t_1^П). \quad (37)$$

3. Если $W_1 < W$, то повторяем шаг 2 для векторов загрузки:

$$V = \left\{ \begin{array}{l} w_1(t_{\text{фикс}} - t_1^П), w_2(t_{\text{фикс}} - t_2^П), 0, \dots, 0 \\ w_1(t_{\text{фикс}} - t_1^П), w_2(t_{\text{фикс}} - t_2^П), w_3(t_{\text{фикс}} - t_3^П), 0, \dots, 0 \end{array} \right\}, \quad (38)$$

Рассчитывая на каждом шагу W_i .

При выполнении условия $W_i \geq W$ переходим к шагу 4, имея в виду, что $\alpha=i$

4. Искомый вектор загрузки формирований $V=(v_1, v_2, \dots, v_A)$ тогда примет вид:

$$v_i = \begin{cases} W_i(t_{\text{фикс}} - t_i^П), & i < \alpha \\ W - \sum_{i=1}^{\alpha-1} v_i, & i = \alpha \\ 0, & i > \alpha \end{cases}. \quad (39)$$

Оптимальность найденных векторов загрузки (33) и (39) доказывается тем, что при замещении любого формирования, входящего в найденную группировку, другим, не входящим в неё, происходит ухудшения плана ликвидации ЧС по соответствующим критериям.

На основе проведенных выше алгоритмов может быть разработана информационная система поддержки решений по оптимальному распределению сил и средств, привлекаемых для ликвидации последствий ЧС в учреждениях высшего профессионального образования.

Список используемой литературы:

1. Акимов В.А., Лапин В.Л., Попов В.М., Пучков В.А. и др. Надежность технических систем и техногенный риск: учебное пособие для ВУЗов. М: ФИД «Деловой экспресс», 2002. 368 с.
2. Акимов В.А. и др. Основы анализа и управления риском в природной и техногенной сферах: учебное пособие для ВУЗов МЧС России. М.: ФИД «Деловой экспресс», 2004. 352 с.
3. Kosko B. Fuzzy Cognitive Maps // International journal of Man. Machine Studies, 1986. Vol. 1. P. 65-75.

4. Паклин Н.Б. Нечетко-когнитивный подход к управлению динамическими системами // Искусственный интеллект. 2003. № 4. С. 342-348.
5. Борисов В.В., Бычков И.А., Дементьев А.В. Компьютерная поддержка сложных организационно-технических систем. М.: Горячая линия. Телеком, 2002. 278 с.
6. Stylios C.D., Groumpos P.P. A Soft Computing: Approach for Modeleing the Supervisor of Manufacturing Systems // Journal of Intelligent and Robotik Systems, 26, 1999. P. 389-403.
7. Шаптала В.Г., Радоуцкий В.Ю., Шульженко В.Н., Ветрова Ю.В. Основные положения обеспечения безопасности учреждений высшего профессионального образования // Вестник БГТУ им. В.Г.Шухова. 2010. № 3. С. 186-187.
8. Назаров А.В., Лоскутов А.И. Нейросетевые алгоритмы прогнозирования и оптимизации систем. СПб.: Наука и техника, 2003. 328 с.
9. Кусимов С.Т., Ильясов Б.Г., Исмаилова Л.А., Валеева Р.Г. Интеллектуальное управление производственными системами. М.: Машиностроение, 2001. 321 с.
10. Шаптала В.Г., Радоуцкий В.Ю., Шаптала В.В. Системы информационной поддержки принятия управленческих решений при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций органами управления ВУЗа // Вестник БГТУ им. В.Г.Шухова. 2012. № 4. С. 188-191.
11. Шаптала В.Г., Шульженко В.Н., Радоуцкий В.Ю., Шаптала В.В. Математическое моделирование пожарной безопасности высших учебных заведений // Вестник БГТУ им. В.Г.Шухова. 2008. № 4. С. 63-65.
12. Зайтов И.Н., Куликов О.М., Ямалов И.У. Создание автоматизированной информационно-управляющей системы МЧС РБ // «Проблемы прогнозирования, предотвращения и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций»: материалы II Всерос. научно-практич. конф. Уфа: НИИ БЖД Республики Башкортостан, 2001. С. 153-156.
13. Дубинин Н.М., Куликов О.М., Ямалов И.У. Синтез алгоритмов оперативного управления при ликвидации чрезвычайных ситуаций // «Проблемы прогнозирования, предотвращения и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций»: материалы II Всерос. научно-практич. конф. Уфа: НИИ БЖД Республики Башкортостан, 2001. С. 150-153.
14. Архипова Н.И., Кульба В.В. Управление в чрезвычайных ситуациях. М.: Рос. гос. гуманитар. университет, 1998. 324 с.
15. Радоуцкий В.Ю., Шаптала В.Г. Оптимальное распределение сил и средств, предназначенных для ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций // Вестник БГТУ им. В.Г.Шухова. 2013. №1. С. 138-139.
16. Егоров Д.Е., Радоуцкий В.Ю., Шаптала В.Г. Оптимизация распределения средств на предупреждение чрезвычайных ситуаций в высших учебных заведениях // Вестник БГТУ им. В.Г.Шухова. 2011. № 3. С. 91-93.

© В.Ю. Радоуцкий, 2015

© Е.Г. Ковалева, 2015

© Ю.В. Ветрова, 2015

Т.М. Санина

к.т.н., доцент кафедры «СТ и ТМ»

БГТУ им. В.Г. Шухова

М.А. Федоренко

д.т.н., проф. кафедры «ТМ»

БГТУ им. В.Г. Шухова

Ю.А. Бондаренко

д.т.н., проф. кафедры «ТМ»

БГТУ им. В.Г. Шухова

г. Белгород, Российская Федерация

ПРИСТАВНЫЕ И ПЕРЕДВИЖНЫЕ ФРЕЗЕРНЫЕ СТАНКИ ДЛЯ РЕМОНТНОЙ ОБРАБОТКИ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Интенсивное развитие техники позволило создавать машины и агрегаты больших габаритов. Обычно машиностроительные предприятия поставляют в эксплуатирующие организации технологические машины больших габаритных размеров и массы, изготовленные блочно, и в результате сборки и монтажа этих блоков получают машину (агрегат) для производства различной продукции. Как правило, для взаимосвязи таких блоков необходимо производить предмонтажную, монтажную и послемонтажную подгонку, а в некоторых случаях и механическую обработку сопрягаемых поверхностей.

Крупногабаритные машины с вращающимися механизмами или валами в основном эксплуатируются в промышленности: газовой, нефтедобывающей, горнодобывающих, производства строительных материалов и т.д. Выверки стыковки соединительных узлов крупногабаритных машин на предприятиях - изготовителях характеризуются большой трудоёмкостью. Однако при монтаже оборудования на эксплуатирующем предприятии практически невозможно обеспечить требуемую точность фундаментов, на которые устанавливаются машины и агрегаты, такую как в заводских условиях и вследствие этого возникают проблемы при соединении стыковочных узлов.

Одной из причин нестыковки агрегатов и узлов является несоблюдение технологии изготовления, деформации, возникающие в станках, приспособлениях и деталях, обладающих большой массой, в результате чего формируются погрешности, влияющие на точность изготовления. Причину, которую невозможно полностью устранить, и которая сказывается на точности и соответствии установленным требованиям стыковочных узлов, является температурная деформация. Оборудование выпускается в промышленных условиях при определённой температуре, а монтаж при других климатических условиях (температура, влажность, осадки и т.д.) и поэтому несоответствие стыковочных размеров является значительной величиной. Таким образом, в некоторых случаях необходимо производить доработку крупногабаритных узлов на месте их монтажа, для обеспечения необходимой геометрической точности [1, 8...13].

В настоящее время в связи с постоянным развитием современной техники особо значимыми являются вопросы повышения эффективности. К любому оборудованию предъявляют требования надежности и безотказности при работе. Создание сложных, современных машин и оборудования требует постоянного изменения их технических характеристик, увеличение степени автоматизации, повышение рабочих параметров (производительности, скорости), снижение материалоемкости и металлоемкости, повышение требований к точности функционирования, к эффективности работы.

Недостаточный уровень надежности и долговечности оборудования влечет за собой значительные производственные и экономические потери, связанные с затратами на ремонт, техническое обслуживание и диагностику в связи с износом, возникновением дефектов конструкции и повреждениями. С особенно большими затратами времени и средств связан выход из строя тяжелых и крупногабаритных машин и оборудования, таких, как цементные вращающиеся печи, помольные агрегаты и т.д.

Предельное состояние изделия определяется тем, что его дальнейшее применение по назначению технически невозможно или экономически нецелесообразно. При достижении предельного состояния изделие может обладать или нет остаточной долговечностью. В первом случае изделие может быть восстановлено, а во втором отправляется на утилизацию.

Оснащение цементных предприятий при их реконструкции новым оборудованием требует значительных финансовых затрат. Между тем, предельные износы 85% деталей цементных печей имеют остаточные ресурсы 60% и более и только 20% деталей цементных печей, поступающих в ремонт, подлежат окончательной выбраковке. Остальные можно восстановить, причем себестоимость восстановления составит 15...70% себестоимости изготовления. Анализ состава и технического состояния оборудования цементных предприятий России и стран СНГ позволил получить данные по его техническому состоянию и срокам эксплуатации. В результате исследований выявлена номенклатура деталей, узлов и агрегатов, требующих восстановительного ремонта с применением прогрессивных технологий или замены на новое оборудование.

Если рассмотреть оценку работоспособности крупногабаритного вращающегося оборудования (цементной печи, помольной мельницы), эксплуатируемого на цементных заводах, то она базируется на основе единства и связи следующих общих положений:

- а) вращающийся агрегат следует рассматривать поэлементно, как совокупность взаимосвязанных деталей и узлов, обеспечивающих способность агрегата выполнять свои функции;
- б) детали, узлы, агрегаты, уплотнения и другие элемент, входящие во вращающийся агрегат, имеют различные сроки службы и надежность;
- в) работоспособность вращающегося агрегата неразрывно связана с условиями эксплуатации и не должны рассматриваться изолированно друг от друга.

Следовательно, на отклонение расчетных параметров вращающегося агрегата влияет отказ или неисправность любого из узлов, входящих в него, даже в том случае, если его наличие не влечет за собой остановку агрегата.

На настоящий момент парк основного оборудования цементных заводов состоит из 221 печного агрегата, около 270 сырьевых мельниц и около 370 цементных мельниц. Вращающаяся цементная печь - это полый цилиндр, сваренный из стальных обечаек, выложенных изнутри футеровкой.

Корпус печи расположен под углом $3^0 \dots 4^0$ к горизонту и вращается вокруг продольной оси. В верхнюю загрузочную корпуса печи часть подается сырьевая смесь, а в нижней разгрузочной части устанавливается топливосжигающее устройство. Во вращающихся печах главным образом сжигается природный газ, пылевидное топливо (уголь или сланец) и мазут. При вращении наклонного корпуса сырьевая смесь движется по направлению к головке печи и обожженный клинкер через соединительную камеру поступает в холодильник, который установлен за печью. В том случае если холодильник устанавливается на самой печи, то клинкер попадает в него через разгрузочные окна.



Рис. 1. Цементная вращающаяся печь

Для осуществления вращения печи передача от электродвигателя на подвенцовую шестерню производится через редуктор. Для обеспечения наименьшего скручивания корпуса печи во время его вращения венец (венцовую шестерню) помещают на одинаковом расстоянии от горячего и холодного концов печи. Из-за большого окружного усилия модуль зацепления венцовой пары равен 40-50 мм. Конструктивно, венцовые шестерни изготавливаются в виде цилиндрического эвольвентного зубчатого колеса, состоящего из двух секторов и принимают крутящий момент от двигателя через ведущие шестерни, диаметр шестерни равен 4000...7000 мм. В качестве материала венцовой шестерни применяют конструкционную сталь 25Л, 35Л, 45Л, 55Л ГОСТ 977-88.



Рис. 2. Узел: венец и подвенцовая шестерня

Передача крутящего момента через ведущие шестерни и венцовую шестерню обеспечивает наибольшую эффективность. При этом на шестерню действуют циклические и динамические нагрузки, которые приводят к износу рабочей поверхности венцовой шестерни. Так же на работоспособность венца, кроме удельного давления, большое влияние оказывает точность зацепления его зубьев с зубьями ведущей шестерни, сохранение валом шестерни параллельности оси печи, непрерывность подачи масла на зубья шестерни, уровень запыленности атмосферы и другие факторы. Интенсивность износа и разрушений возрастает с ростом величины напряжений в зоне сопряжения зубьев.

Разрушение и повреждение зубьев происходит по различным причинам: поломка - вследствие перегрузок, возникающих при перекосе осей или неточности изготовления (в передачах с невысокой твердостью рабочих поверхностей зубьев наблюдается редко, поскольку нагрузка их лимитируется не изгибной прочностью зубьев, а прочностью их рабочих поверхностей); шелушение и усталостное выкрашивание рабочей поверхности (возникает вследствие многократного механического перенапряжения металла в зоне начальных окружностей, а так же пониженной вязкости масла и ряда других причин); заедание (задир) рабочих поверхностей зубьев; износ (абразивный) происходит при попадании в масло грязи, металлических и абразивных частиц, а так же при малой вязкости масла и недостаточной твердости зубьев. Т. к. привод печи расположен на равном расстоянии от ее концов, где наблюдается значительная запыленность, то абразивный износ рабочей поверхности зубьев венцовой шестерни незначителен. Современные тенденции интенсификации процессов производства, увеличение рабочих давлений, скоростей, температуры приводят к ускорению изнашивания деталей, и в сочетании с необходимостью автоматизации производства, делают актуальной проблему повышения долговечности быстро изнашиваемых узлов машин. Детали, узлы и агрегаты оборудования, связанные с производством цемента имеют различные сроки службы, в связи с тем, что они работают с различными нагрузками, тепловыми режимами и в различных условиях. Следовательно, необходимы постоянные профилактические ремонты и регулировки оборудования, с целью обеспечения его работоспособности.

Целесообразность ремонта и модернизации отдельных видов оборудования обусловлена экономией трудозатрат и финансовых средств, благодаря повторному использованию восстановленных деталей и мероприятиям по модернизации отдельных узлов. Важной и актуальной является возможность восстановления работоспособности изношенного оборудования без его демонтажа с агрегата. Правильно организованная служба ремонта и своевременное устранение неполадок позволит повысить производительность и рентабельность оборудования.

Очевидно, возникает необходимость в качественном подходе к проведению модернизации и ремонта крупногабаритного вращающегося оборудования. В настоящее время многие запасные части поступают без документов, а на находящиеся в эксплуатации запасные части могут отсутствовать чертежи, сертификаты и т. д. Тяжело нагруженные детали поставляются для однократного использования, при износе они подлежат замене. У многих деталей проводится термообработка не соответствующая требованиям, в результате происходит быстрый износ поверхностей. С целью увеличения межремонтного периода и

сокращения сроков простоя оборудования в ремонте, возникает актуальная необходимость в разработке новых способов и методов ремонта и модернизации оборудования, которые позволят восстанавливать утраченную работоспособность, а так же повысить эффективность эксплуатации крупногабаритного вращающегося оборудования цементных заводов.

При этом качественная организация системы ремонта оборудования производства строительных материалов, должна предполагать:

1. Систематическую компьютерную диагностику действующего оборудования с использованием мониторинга видеосэндоскопии для объективной оценки технического состояния.
2. Применение прогрессивных методов восстановления изношенных поверхностей деталей и внедрение современных упрочняющих технологий.
3. Повышение эксплуатационных характеристик восстановленных деталей за счет применения функциональных покрытий и комбинированных методов обработки.
4. Повышение работоспособности узлов и механизмов оборудования на основе реализации эффективных конструкторско-экономических мероприятий.
5. Разработку методов, обеспечивающих высокое качество и точность восстановленных базовых поверхностей.
6. Системный подход к обеспечению точности сборки ответственных механизмов и узлов в процессе ремонта и восстановления.
7. Качественную подготовку инженерно-технических работников ремонтных служб для разработки и реализации современных методов и способов восстановительных технологий, а также обслуживание контрольной и диагностической аппаратуры.

Организация ремонта оборудования производства строительных материалов позволяет осуществить не только качественный ремонт, но также произвести экономически выгодную модернизацию оборудования с минимальными капитальными вложениями с учетом требований современной инфраструктуры.

Вращающееся крупногабаритное оборудование типа обжиговых печей, сушильных барабанов и помольных мельниц относятся к тяжело нагруженному оборудованию, из-за его габаритов и массы. Для обеспечения надежности работы имеет основополагающее значение соблюдение точности пространственного положения исполнительных механизмов и узлов технических систем. Кроме этого, исходя из большой энергоемкости оборудования, необходимо ремонтным путем и модернизацией узлов, агрегатов и машины в целом обеспечить минимально возможные потери электрической и тепловой энергии. Ввиду наличия больших масс и размеров любые ремонтные работы по замене деталей, узлов и агрегатов приводят к длительным простоям оборудования и к снижению объема выпуска продукции. Следовательно, для восстановления работоспособности необходимо проводить ремонт изделий на месте их эксплуатации. Для восстановления требуемой формы зубьев венцовой шестерни с обеспечением заданной точности размером разработано нестационарное оборудование - устройство для обработки металлов резанием, механизированное приставное оборудование для ремонтной обработки крупномодульных прямозубых зубчатых колес большого диаметра [4].

После наварки или наплавления поверхности поломанного зуба прямозубого зубчатого колеса, для придания необходимой точности и шероховатости профилю зуба, с целью обеспечения точности зацепления, его в эксплуатации чаще всего обрабатывают ручными шлифовальными машинками. В результате необходимая точность и шероховатость не обеспечивается, не смотря на большую трудоемкость, а зуб имеет малую работоспособность, разрушаясь сам и контактирующие с ним зубья в зацеплении. Разработанный нестационарный станок позволяет обеспечить точность и необходимую шероховатость профиля зуба прямозубого зубчатого колеса, диаметром более 500мм, независимо от размерности модуля без демонтажа на месте эксплуатации. Это позволяет значительно сократить трудоемкость работ сроки простоя оборудования в ремонте.

Приставной вертикальный зубофрезерный станок для ремонтной обработки модульных зубьев прямозубых зубчатых колес включает в себя корпус 1 станка (рис. 3, 4), с размещенным в нем механизмом вращения от электродвигателя 2 шпинделя 3 с установленной в нем модульной пальцевой фрезой 4, корпус станка установлен и закреплен при помощи корпусного фланца 5 на силовой портальной конструкции 6, которая четырьмя болтами 7 закреплена на ободе зубчатого колеса 8, и обеспечивается перемещение корпуса станка с модульной фрезой вдоль ремонтного зуба по силовой портальной конструкции при помощи 2-х электродвигателей 9, ходовых винтов 10 по направляющим 11 для крепления, перемещения и точной установки станка на ободе зубчатого колеса. Силовая портальная конструкция 6 выставляется на ободе зубчатого колеса 8 относительно поверхности обрабатываемого зуба, и закрепляется болтами 7. После чего на нем закрепляется корпус станка 1 с пальцевой фрезой 4 при помощи фланца 5. Выверка правильности установки станка относительно поверхности зуба производится пробным проходом фрезы по длине зуба. После положительного результата производится окончательное закрепление станка. Станок по силовой портальной конструкции перемещается по направляющим 11 при помощи электродвигателей 9 и ходовых винтов 10. Фреза 4 получает вращение от электродвигателя 2 через механизм вращения, расположенный в корпусе 1. Привод станка предназначен для осуществления рабочих установочных перемещений инструмента, установленного в суппорте. Движение от электродвигателя на суппорт передается через двухступенчатый редуктор, пару цилиндрических зубчатых колес и винтовую передачу скольжения. Главное движение осуществляется вращением фрезы.

Применение приставного вертикально фрезерного станка для ремонтной обработки модульных зубьев прямозубых зубчатых колес, диаметром более 500мм, независимо от размерности модуля имеет следующие преимущества: конструкции станка позволяет обрабатывать зубья колес без демонтажа, т.е. на месте эксплуатации; обеспечивает обработку зубьев различной длины, модуля при диаметре более 500 мм; обеспечивает обработку поверхностей наплавленных, напыленных и вставных зубьев; обеспечивает высокую точность профиля зуба и высокую точность расположения относительно оси вращения колес; значительно сокращается срок обработки, сокращается трудоемкость, уменьшаются затраты и простой оборудования в ремонте, что позволяет дополнительно

выпускать продукцию, а следовательно, снижается ее себестоимость за счет уменьшения времени простоя в ремонте, сокращаются расходы вспомогательных материалов.

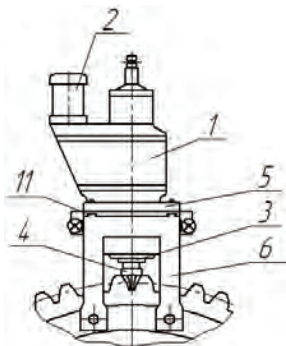


Рис. 3. Приставной вертикальный зубофрезерный станок

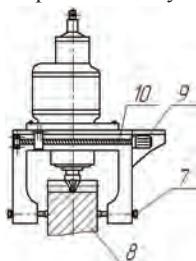


Рис. 4. Вид сбоку приставного вертикального зубофрезерного станка

Приставной зубофрезерный станок [3] относится к устройствам для обработки металлов резанием и может быть использован при ремонтном восстановлении профиля зуба крупногабаритных зубчатых колес вращающихся промышленных агрегатов для обеспечения точности обработки профиля зуба прямозубого зацепления не зависимо от размерности модуля, диаметра зубчатого колеса, без демонтажа на месте эксплуатации. На рис. 5 приведен главный вид станка и на рис. 6 - вид станка с боку. Приставной станок включает в себя корпус 1 с механизмами продольного перемещения 2 и вращения 3 фрезы 4. В корпусе станка имеются четыре регулируемых опоры 5, при помощи которых станок выставляется и крепится на корпусе зубчатого колеса 6 относительно поверхности обрабатываемого зуба. Корпус приставного станка 1 регулируемыми опорами 5 и фрезой 4 при установке выставляется относительно обрабатываемой поверхности зуба и закрепляется на зубчатом колесе 6. Выверка правильности установки станка относительно обрабатываемой поверхности зуба производится пробным проходом фрезы по длине зуба, после положительного результата производится окончательное закрепление станка. Фреза получает вращение от механизма вращения фрезы 3, а перемещение вдоль обрабатываемой поверхности зуба – от механизма продольного перемещения 2. Использование предлагаемого приставного зубофрезерного станка для обработки зубьев

крупногабаритных зубчатых колес имеет следующие преимущества: обеспечивает высокую точность профиля зуба, точность его расположения и требуемую шероховатость поверхности; позволяет обрабатывать поверхности наплавленных и вставных зубьев; обеспечивает обработку зубьев различной длины, модуля и диаметра зубчатого колеса; конструкция станка позволяет обрабатывать зубья колес на месте их эксплуатации, т.е. без демонтажа; значительно сокращается срок обработки, уменьшаются затраты и простой оборудования, что позволяет дополнительно выпускать продукцию, а, следовательно, снижается себестоимость за счет уменьшения ремонтных простоев.

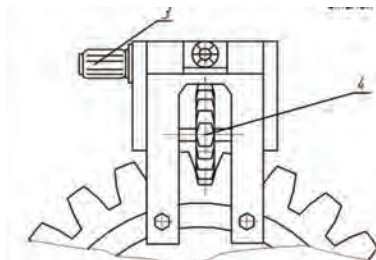


Рис. 5. Приставной зубофрезерный станок

Способ восстановления венцовых шестерен определяют в зависимости от характера дефекта, применяемого материала, класса точности изделия и производственных возможностей ремонтного предприятия. Восстановление шестерен в основном проводится по двум технологиям: изготовление зубьев и ремонт наплавкой изношенной части профиля зуба.

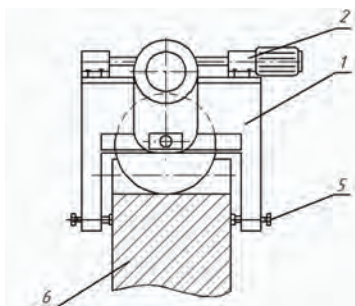


Рис. 6. Приставной зубофрезерный станок – вид сбоку

Приставные фрезерные станки обеспечивают восстановление крупногабаритных зубчатых колес. Станки такого типа предназначены для ремонтного восстановления профиля зуба при помощи модульных фрез.

Следовательно, приставной станок, при обеспечении требуемой жесткости его узлов и точности изготовления шпиндельного узла обеспечивает необходимую точность обработки восстанавливаемых поверхностей валов методом фрезерования.

Приставной вертикальный зубофрезерный станок для ремонтной обработки прямозубых зубчатых колес [6] относится к механизированному приставному оборудованию, для ремонтной обработки модульных зубьев прямозубых зубчатых колес, диаметром более 5000 мм, не зависимо от размерности модуля.

В отличие от приставного вертикального зубофрезерного станка [4], недостатком которого является то, что станок устанавливается на зубчатые колеса цементных вращающихся печей, расположенных на эстакадах высотой до 10 метров при помощи подъёмных кранов, где производится его закрепление и выверка движения фрезы по зубу, но не имеет монтажных устройств и оборудования для выверки правильности установки движения фрезы и его монтажа.

Разработанный приставной вертикальный зубофрезерный станок содержит корпус 1, с размещенным в нем механизмом вращения от электродвигателя 2, шпиндель 3, с установленной в нем модульной пальцевой фрезой 4. На рис.7 приведен главный вид станка, на рис. 8 – вид сбоку. Корпус станка установлен и закреплен при помощи корпусного фланца 5 на силовой portalной конструкции 6, которая четырьмя болтами 7 закреплена на ободе зубчатого колеса 8. В конструкцию включены три грузозахватных крюка 12. Корпус станка с модульной фрезой перемещается вдоль зуба по силовой portalной конструкции при помощи 2-х электродвигателей 9, ходовых винтов 10 по направляющим 11. К корпусу станка крепятся две профилированные направляющие пластины 13.

Монтаж станка выполняется следующим образом: при помощи чалок подъемного крана станок закрепляется за три монтажных крюка 12 и устанавливается при помощи профилированных направляющих пластин 13 во впадину между двух обрабатываемых зубьев, после чего закрепляется на ободе зубчатого колеса болтами 7, после чего производится механическая обработка зубьев. Точность перемещения фрезы по длине зуба обеспечивается профильными направляющими пластинами.

Применение приставного вертикального зубофрезерного станка характеризуется следующими преимуществами: конструкции станка позволяет обрабатывать зубья колес без демонтажа, т.е. на месте эксплуатации и большой высоте; обеспечивает обработку зубьев различной длины, модуля и диаметра; обеспечивает обработку поверхностей наплавленных, напыленных и вставных зубьев; обеспечивает высокую точность профиля зуба и высокую точность расположения относительно оси вращения колес при помощи профильных пластин; значительно сокращается срок обработки, уменьшается трудоемкость монтажа, уменьшаются затраты и простой оборудования в ремонте, что позволяет дополнительно выпускать продукцию, а следовательно, снижается ее себестоимость за счет уменьшения времени простоя в ремонте, сокращаются расходы вспомогательных материалов.

Следовательно, применение приставного вертикального зубофрезерного станка позволяет обеспечить обработку зуба на большой высоте с необходимой точностью и шероховатостью на месте эксплуатации без демонтажа зубчатого колеса.

Разработанные передвижные фрезерные модули для обработки крупногабаритных деталей кольцевого типа [2, 5] относятся к устройствам для механической обработки

металлов резанием и могут быть применены для обработки поверхностей торцов, а так же для обработки кольцевой канавки на деталях типа опорных бандажей вращающихся агрегатов производства сыпучих материалов, например, цементных печей.

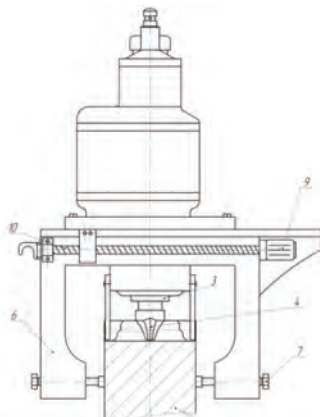


Рис. 7. Главный вид приставного вертикального зубофрезерного станка

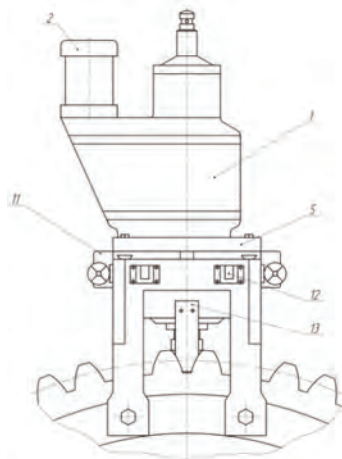


Рис. 8. Приставной вертикальный зубофрезерный станок - вид сбоку

Опорные бандажки имеют массу до 120 тонн и диаметр до 7 метров. Бандажки представляют собой цельносварные кольца, которые устанавливаются или свариваются в корпус вращающейся обжиговой печи. На монтажную площадку предприятия они поставляющийся в виде двух полуколец и в дальнейшем свариваются в эксплуатирующей организации. Бандажки опираются на роликоопору, передавая нагрузку. От точности монтажа, геометрических размеров и круглости бандажей зависит положение фактической оси вращения печного агрегата. Бандажки выполняются двух типов, различных

типоразмеров и соответственно с различной несущей способностью. Бандажи должны соответствовать техническим условиям стандарта ОСТ 22-170-87.

Наружная поверхность бандажа служит поверхностью качения и опирается на роликоопору. Внутренняя поверхность бандажа необходима для установки на подбандажную обечайку корпуса печи. Посадка производится с зазором для возможности расширения корпуса печи и бандажа. После сварки полуколец, для удаления выступающего сварного шва, зачистки от коррозии и обеспечения параллельности торцов из-за деформации сварки, поверхности опорного бандажа обрабатывают ручными пневматическими машинками. Этот процесс является трудоёмким и не обеспечивает точности и качества ремонтируемой поверхностей.

Недостатком передвижного фрезерного станка [2] является то, что при обработке фрезой металлическая стружка остается на поверхности бандажа вращающейся печи. При дальнейшем движении передвижного фрезерного станка при наезде катка на стружку происходит отрыв катка от поверхности бандажа, в итоге происходит перекося станка, величина которого зависит от размеров и количества стружки. Чем больше размеры обрабатываемой поверхности, тем больших объем снимаемой стружки, и может наступить момент, когда станок будет двигаться по стружке, а не по обрабатываемой поверхности, а, следовательно, не будет обеспечивать необходимую точность.

Станок позволит обеспечить точность обработки торцов опорных бандажей вращающихся агрегатов не зависимо от искажения формы круглости внутренних и наружных поверхностей и неровности торцевой поверхности, при сохранении неизменного положения передвижного фрезерного модуля и фрезы относительно обрабатываемой поверхности.

Передвижной фрезерный модуль для обработки поверхностей торцов опорных бандажей, вращающихся агрегатов кольцевой формы, приведенный на рис. 9, включает в себя две стойки 1 и 2, на которых закреплена поперечная балка 3, обеспечивающая крепление и передвижение по ней фрезерной головки 4, вращение винт-вала 5, по которому передвигается на гибкой подвеске электромагнит 6 и привод вращение осей 7, на которых размещены опорные катки 13 покрытые резиной для перемещения фрезерного модуля по обрабатываемому опорному бандажу вращающегося агрегата. В фрезерном модуле размещены регулируемые упоры 8, опирающиеся на внешнюю и внутреннюю поверхности обрабатываемого опорного бандажа и удерживающие станок от радиального смещения по обрабатываемой поверхности. В зоне обработки все время находится электромагнит 6, он перемещается следом за движением фрезы 4 в радиальном и окружном направлениях, притягивая к себе стружку, после наполнения он отводится оператором во внутреннюю сторону опорного бандажа, отключается электрический ток, а после очистки магнит возвращается в зону работы фрезы.

Применение передвижного, фрезерного модуля для обработки крупногабаритных деталей кольцевого типа с наличием электромагнита позволяет производить обработку детали с высокой точностью, в связи с обеспечением чистоты поверхности движения модуля путем удаления стружки и обрабатывать кольцевые канавки, обеспечивая движение фрезы путем удаления из канавки стружки электромагнитом, и имеет следующие

преимущества: обеспечивает требуемую точность обработки за счет чистоты обработанной поверхности, которая обеспечивается путем удаления стружки; отсутствие стружки позволяет модулю двигаться равномерно; устранены перекосы модуля, а соответственно и фрезы, которые возникают при наезде ролика на стружку; увеличен срок службы обрешиненных опорных катков из-за отсутствия стальной стружки и увеличивается период стойкости фрез.

Передвижной фрезерный станок для обработки торцов крупногабаритных деталей кольцевой формы [7] разработан в связи с тем, что в конструкции фрезерного станка для обработки торцов крупногабаритных деталей [2] были выявлены недостатки: станок регулировочными роликами, связанными между собой при помощи двуплечего рычага и телескопических подпружиненных стоек, образует сложную конструкцию, требующую постоянной регулировки усилия поджатия роликов к бандажу при помощи регулировочного винта с контргайками. Это приводит к перекосам и заклиниванию в процессе работы, а также к увеличению массы и габаритов станка.

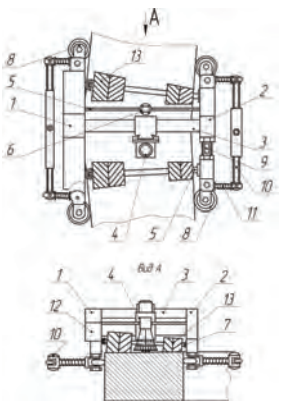


Рис. 9. Передвижной фрезерный модуль для обработки поверхностей торцов опорных бандажей – деталей кольцевого типа

Передвижной фрезерный станок (рис. 10, 11) для обработки торцов крупногабаритных деталей кольцевой формы содержит две стойки 1 и 2, на которых болтами жестко крепится поперечная балка 3, обеспечивающая крепление и передвижение по ней фрезерной головки 4, крепление и передвижение электромагнита 5 по направляющей и вращение опорных роликов 7. Четыре упорных подвижных ролика 6 удерживают станок от поперечного смещения с детали и удерживают станок при движении по окружности (по детали). Подвижные ролики 6 установлены на осях 8, прижимающиеся тросом 9, пружиной 10 и тальрепом 11 к ремонтируемой детали. Усилия прижатия упорных роликов 6 к поверхности обрабатываемой детали регулируется тальрепом, которым изменяет длину растяжения пружины. Следовательно, прижатие передвижного фрезерного станка для обработки торцов крупногабаритных деталей кольцевой формы позволяет упростить конструкцию и устранить сложный механизм регулировки прижатия роликов.

Передвижной станок, установленный четырьмя роликами 7 на обрабатываемую поверхность детали. При помощи четырех подвижных упорных роликов 6, прижимающихся к торцам детали, станок удерживается на поверхности детали от сползания. Усилие прижатия упорных роликов, создается при помощи пружины 10, троса 9 и регулировки длины тальрепа 11. Передвижение станка по детали Рис. 7. Главный вид приставного вертикального зубофрезерного станка осуществляется при помощи вращающихся роликов 7, у которых поверхность покрыта резиной для увеличения сцепления. Тальреп, трос и пружина позволяют регулировать усилия прижатия упорных роликов, а также способствует изменению расстояния между роликами и изменению размера детали.

Преимущества предлагаемого передвижного фрезерного станка: простота конструкции, удерживающего установку станка на детали; уменьшение массы станка; отсутствие возможности перекоса и заклинивания станка при движении; отсутствие сложного регулировочного устройства с опорами, требующих постоянного обслуживания и смазки; снижение габаритов станка; натяжные устройства (трос, пружина) создают искусственные ограждения зоны движения станка и рабочей зоны фрезы, что соответствует требованиям техники безопасности.

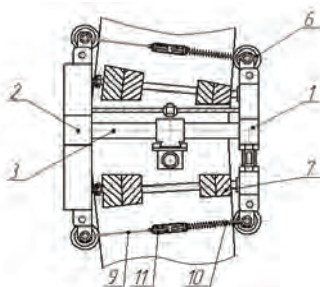


Рис. 10. Передвижной станок для обработки торцов крупногабаритных деталей

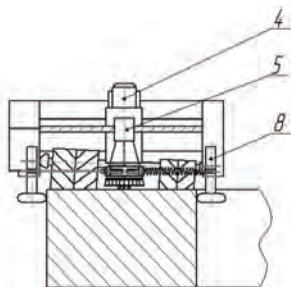


Рис. 11. Передвижной станок для обработки торцов крупногабаритных деталей – вид сбоку

Повышения производительности вращающихся печей уже длительное время пытаются добиться путем оптимизации процессов в технологии производства цементного клинкера, так как модернизация печи путем изменения ее конструктивных особенностей считается очень трудоемкой и дорогой, а увеличение диаметра печи, даже местное, дает значительный прирост выпуска продукции. Своевременное восстановление работоспособности конструкции крупногабаритного вращающегося оборудования позволит повысить надежность и работоспособность узлов, агрегатов и всей конструкции в целом, что дает значительный прирост продукции без дополнительных затрат.

Список использованной литературы:

1. Бондаренко, Ю.А. Технология обработки крупногабаритных зубчатых колес вращающихся агрегатов с применением приставного вертикального зубофрезерного станка / Бондаренко Ю.А., Федоренко М.А., Санина Т.М. Смирных А.П., Якубенко А.Н.-Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова, № 3, Белгород, изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2013 г. С. 66-67.
2. Пат. 96043 Российская Федерация, МПК7 B23B5/00. Передвижной фрезерный станок для обработки крупногабаритных деталей кольцевой формы / Т.М. Санина, Ю.А. Бондаренко, М.А. Федоренко // заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова. – № 2010110755/22, заявл. 22.03.2010, опубл. 20.07.2010 г. Бюл. № 20. – 1 с.
3. Пат. 103505 Российская Федерация, МПК B23F1/06. Приставной зубофрезерный станок / М.А. Федоренко, Ю.А. Бондаренко, Т.М. Санина // заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова. – № 2010146620/02, заявл. 16.11.2010, опубл. 20.04.2011 г. Бюл. № 11. – 1 с.
4. Пат. 110320 Российская Федерация, МПК B23F 1/06. Приставной вертикальный зубофрезерный станок / М.А. Федоренко, Ю.А. Бондаренко, Т.М. Санина, В. В. Дмитриев // заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова. – № 2011125253/02, заявл. 20.06.21, опубл. 20.11.2011 г. Бюл. № 32. – 1 с.
5. Пат. 132367 Российская Федерация, МПК⁷ B23C 3/00. Передвижной фрезерный модуль для обработки крупногабаритных деталей кольцевого типа/ Федоренко М.А., Севрюгина, Н.С., Бондаренко Ю.А., Санина Т.М. , Афонин В.Г.; заявитель и патентообладатель: БГТУ им. В.Г. Шухова. - № 2013103949, заявл. 29.01.2013, опубл. 20.09.13 г. Бюл. № 26.
6. Пат. 134096 Российская Федерация, МПК7 B23F 1/06. Приставной вертикальный зубофрезерный станок для ремонтной обработки прямозубых зубчатых колес / Федоренко М.А., Бондаренко Ю.А., Санина Т.М., Смирных А.П.; заявитель и патентообладатель: БГТУ им. В.Г. Шухова. - № 2013127699/02, заявл. 18.06.2013, опубл. 10.11.2013 г. Бюл. № 31.
7. Пат. 144693 Российская Федерация, МПК⁷ B23B5/00. Передвижной фрезерный станок для обработки торцов крупногабаритных деталей кольцевой формы / М.А. Федоренко, Ю.А. Бондаренко, Т.М. Санина, О.А. Алтунина // заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова. – № 2014117387/02; заявл. 29.04.2014, опубл. 27.08.2014 г. Бюл. № 24. – 1 с.

8. Федоренко, М.А. Анализ и пути совершенствования способов механической обработки крупногабаритных венцовых шестерен приводов вращающихся агрегатов / Федоренко М.А., Бондаренко Ю.А., Санина Т.М. Смирных А.П., Якубенко А.Н. - Ремонт, восстановление, модернизация, №11, 2013 г. С. 9-11.

9. Федоренко, М.А. Бездемонтажное восстановление крупногабаритных агрегатов/ Федоренко М.А., Санина Т.М., Бондаренко Ю.А., Погонин А.А., Схиртладзе А.Г. - Ремонт, восстановление, модернизация, № 11, 2009 г. С. 11-14.

10. Федоренко, М.А. Исследование обеспечения необходимой шероховатости поверхности крупногабаритных вращающихся деталей приставными станочными модулями/ Федоренко М.А., Бондаренко Ю.А., Федоренко Т.М. - Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова, № 2, Белгород, изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2008 г. С. 35-38.

11. Федоренко, М.А. Технология обработки торцов барабанов вращающегося оборудования / Федоренко М.А., Бондаренко Ю.А., Санина Т.М. Афонин В.Г., Антонов С.И. - Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова, № 4, Белгород, изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2013 г. С. 65-66.

12. Федоренко М.А. Технология фрезерования зубьев венцовой шестерни цементной вращающейся печи/ Федоренко М.А., Бондаренко Ю.А., Санина Т.М., Смирных А.П. - Ремонт, восстановление, модернизация. № 12, 2013 г. С. 03-05.

13. Федоренко М.А. Фрезерование зубчатого венца с применением приставного зубофрезерного станка/ Федоренко М.А., Бондаренко Ю.А., Санина Т.М., Смирных А.П., Якубенко А.Н. - Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. № 6. 2013 г. С. 91-92.

© Т.М. Санина, М.А. Федоренко, Ю.А. Бондаренко, 2015

УДК62

Р.А.Саркисян

Доктор физ.-мат. наук, профессор Финансового
Университета при Правительстве РФ, г. Москва, РФ

О ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ИНВАРИАНТАХ НЕСПЕЦИАЛЬНЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ СТРУКТУР

1. Введение.

В настоящей работе все объекты (функции, многообразия и т.д.) и отображения предполагаются вещественными бесконечно дифференцируемыми, если специально не оговорено иное. Расслоения предполагаются локально тривиальными. «Гладкий» означает «бесконечно дифференцируемый».

Типичным примером расслоения геометрических величин над многообразием X размерности n является касательное расслоение $T(X)$. Это расслоение можно получить так. Расслоение кореперов $\text{Rep}_1(X)$ над X является (правым) главным расслоением с группой

GL_n всех вещественных невырожденных матриц порядка n . Рассмотрим (левое) стандартное представление группы GL_n в n -мерном вещественном линейном пространстве $\mathbf{R}^n$. Тогда TX получается из прямого произведения $Rep_1(X) \times \mathbf{R}^n$ отождествлением точек по отношению эквивалентности $(e, r) \sim (eg, g^{-1}r)$. Расслоение геометрических величин обобщает эту конструкцию. Именно, вместо $Rep_1(X)$ рассматривается расслоение $Rep_q(X)$ корепервов порядка q , являющееся главным расслоением с дифференциальной группой $G^q(n)$ порядка q (и размерности $n = \dim X$). Напомним, что $G^q(n)$ определяется как группа струй порядка q в начале координат 0 всех отображений $\mathbf{R}^n \rightarrow \mathbf{R}^n$, сохраняющих 0 . Затем рассматривается действие α связной компоненты единицы $G^q(n)^0$ группы $G^q(n)$ на каком-нибудь многообразии D . Тогда расслоение P геометрических величин с базой X и типовым слоем D получается из прямого произведения $Rep_q(X) \times D$ отождествлением $(e, r) \sim (eg, g^{-1}r)$. Сечения расслоения P называются геометрическими величинами (структурами). Каждый выбор системы координат F в окрестности точки $b \in X$ фиксирует изоморфизм $t_F: D_b \rightarrow D$ слоя D_b над точкой b расслоения $P \rightarrow X$ и типового слоя D . Если F и G - две одинаково ориентированные системы координат в окрестности точки b , то переход от F к G определяет в точке b элемент $g \in G^q(n)^0$, и соответствующее преобразование $\alpha(g): D \rightarrow D$ совпадает с $t_F t_G^{-1}$. Обычно расслоение геометрических величин строят по действию группы $G^q(n)$ (а не $G^q(n)^0$). Это соответствует тому, что закон преобразования α геометрической величины задан для всех невырожденных преобразований координат. Данное выше определение расслоения геометрических величин соответствует случаю, когда база X предполагается ориентированной и закон преобразования определен лишь для сохраняющих ориентацию преобразований координат. Через V обозначается группа всех сохраняющих ориентацию диффеоморфизмов X . Каждый диффеоморфизм этой группы индуцирует диффеоморфизм расслоения геометрических величин P над базой X .

Важным примером геометрической величины является риманова метрика, а типичным примером дифференциального инварианта является скалярная кривизна. Это скалярная функция на римановом многообразии, значение которой в любой локальной системе координат равно одному и тому же выражению от компонент g_{ij} метрического тензора и его первой и второй производной $\partial g_{ij} / \partial x^k$, $\partial^2 g_{ij} / \partial x^k \partial x^r$ по локальным координатам на многообразии. Вообще, дифференциальным инвариантом степени k называется такая функция от компонент геометрической величины и их частных производных по координатам до порядка k включительно, вычисление которой в данной точке многообразия дает один и тот же результат независимо от использованной для ее вычисления локальной системы координат. Все рассуждения данной работы проводятся локально, в окрестности заданной точки, и дифференциальные инварианты тоже считаются заданными локально, в окрестности заданных значений аргументов. Естественной областью определения дифференциального инварианта является многообразие струй сечений соответствующего расслоения геометрических величин. Как правило, мы рассматриваем дифференциальные инварианты только в достаточно общих точках соответствующих многообразий струй, определяя понятие достаточно общей точки и

доказывая, что множество таких точек образует открытое всюду плотное инвариантное подмножество соответствующего многообразия.

Изучение дифференциальных инвариантов было начато в классических работах [1] и [2] и продолжено в работах А.Трессе [3], [4]. Дифференциальные инварианты (в том числе и для конечномерных групп Ли) изучались в монографиях Л.В.Овсянникова [5] и Н.Х.Ибрагимова [6], в работе Кумпейры [7] и др.

В § 2 данной работы изложены предварительные сведения.

В § 3 данной работы доказан основной результат этой работы (теорема 1). Он утверждает, что если размерность m типового слоя D расслоения геометрических величин $P \rightarrow X$ больше размерности n базы X , то при росте k количество $t(k)$ функционально независимых дифференциальных инвариантов степени k в любой достаточно общей точке стремится к бесконечности, и дается асимптотическая оценка снизу для $t(k)$. Отметим, что точное значение функции $t(k)$ для достаточно общих римановых метрик и ряда других (тоже достаточно общих) конкретных геометрических величин содержится в монографии Томаса [8].

Данная работа написана на основе статьи автора [9].

Отметим, что в случае $m \leq n$ имеет место конечность числа функционально независимых дифференциальных инвариантов в любой достаточно общей точки любого расслоения геометрических величин (этот результат в данной работе не доказывается).

2. Предварительные сведения.

2.1. Обозначения. Через $\mathbf{R}$ обозначается поле вещественных чисел, через $\mathbf{R}^n$ – n – мерное арифметическое пространство, через $\mathbf{R}^{n*}$ – двойственное к нему, $\mathbf{0}$ – нулевой вектор в $\mathbf{R}^n$ или $\mathbf{R}^{n*}$. Стандартные координаты элемента t из $\mathbf{R}^n$ записываются $t^1, \dots, t^i, \dots, t^n$, а сам элемент записывается $t = (t^i)$. Стандартные координаты элемента t из $\mathbf{R}^{n*}$ записываются $t_1, \dots, t_i, \dots, t_n$, а сам элемент записывается $t = (t_i)$. По повторяющимся верхним и нижним индексам в формулах подразумевается суммирование, если специально не оговорено обратное. Через $\mathbf{R}^0$ обозначается группа положительных вещественных чисел по умножению.

Через $\dim X$ обозначается размерность многообразия (или линейного пространства) X . Через $\text{codim}(X, Y)$ обозначается коразмерность подмногообразия X в многообразии Y (или линейного подпространства X в линейном пространстве Y). Под окрестностью понимается всегда открытая окрестность. Замыкание множества W обозначается $\bar{W}$.

Под группой Ли мы понимаем вещественную (конечномерную) группу Ли. Через G^0 обозначается связная компонента единицы группы Ли G , через $Z = Z(G)$ – центр группы G . Многообразие X с действием группы Ли G будет называться G – многообразием и стационарная подгруппа точки b из X будет обозначаться через G_b , ее связная компонента единицы – через G_b^0 . Образ множества U под действием группы G обозначается GU . Алгебра Ли (касательное пространство к единичному элементу) группы Ли G будет обозначаться через $\text{Lie}(G)$. Если H – подгруппа Ли группы G , а H и G – их алгебры Ли, то $\text{codim}(G, H) = \text{codim}(G, H)$. Коммутатор элементов x и y в алгебре Ли обозначается $[x, y]$. Через G/H обозначается пространство левых классов смежности группы G по подгруппе H . Как обычно, подгруппа Ли H группы Ли G не обязательно предполагается замкнутой в G . Для элемента g группы Ли G через $\text{Ad}(g)$ обозначается внутренний автоморфизм алгебры

Ли $\text{Lie}(G)$, индуцированный внутренним автоморфизмом G , определенным формулой $x \rightarrow gxg^{-1}$. Через GL_n , SL_n обозначаются группа вещественных матриц и ее подгруппа унимодулярных матриц порядка n , их алгебры Ли обозначаются через GL_n , SL_n . Связная компонента единицы группы GL_n обозначается через GL_n^0 . В записи $A = (a_{ij}^i)$ верхний индекс всегда нумерует строки, а нижний – столбцы матрица A . Через A^{-1} и A^T обозначаются соответственно обратная и транспонированная матрицы к матрице A , через E_n – единичная матрица порядка n . Через $\text{diag}(a_1, \dots, a_i, \dots, a_n)$ обозначается диагональная матрица с элементами $a_i = a_j^i$ вдоль главной диагонали, если $a_i = a$ для всех i , эта матрица обозначается через $\text{sk}_n(a)$. Пусть L – линейное пространство размерности n . Через L^* обозначается двойственное к L пространство. Если в L выбран базис, то вектор $t \in L$ с координатами $t^1, \dots, t^i, \dots, t^n$ в этом базиса записывается $t = (t^i)$. Через ST_n обозначается пространство $\mathbf{R}^n$ вместе с простейшим (тождественным) представлением группы GL_n на этом пространстве: действие матрицы $A = (a_{ij}^i)$ на вектор $t = (t^i) \in \mathbf{R}^n$, понимаемый как вектор-столбец, есть умножение матрицы на этот столбец, что дает вектор-столбец $(a) = A(t) = A t$ с координатами (напоминаем, что по индексу j подразумевается суммирование)

$$a^i = a_j^i t^j.$$

Через ST_n^* обозначается пространство $\mathbf{R}^{n*}$ вместе с двойственным к простейшему (тождественному) представлением группы GL_n в $\mathbf{R}^{n*}$: действие матрицы $A = (a_{ij}^i)$ на вектор $t = (t_i) \in \mathbf{R}^{n*}$, понимаемый как вектор-строка, есть умножение этой строки на матрицу A^{-1} , что дает вектор-строку $a = A(t) = t A^{-1}$. Если обозначить $A^{-1} = (p_{ij}^i)$, имеем

$$a_j = t_i p_j^i.$$

Прямое произведение групп (многообразий и т.д.) G_1 и G_2 обозначается через $G_1 \times G_2$, элемент $g \in G_1 \times G_2$ отождествляется с парой (g_1, g_2) , где g_i – проекция g на i -ый сомножитель, и мы пишем $g = (g_1, g_2)$. Полупрямое произведение нормального делителя G_2 на подгруппу G_1 обозначается через $G_1 \rtimes G_2$. Через δ_j^i обозначается индекс Кронекера. Через $\text{Sp}A$ и $\det A$ обозначаются след и определитель матрицы A .

Струей функции $f: X \rightarrow \mathbf{R}$ порядка k (или просто k -струей) в точке b многообразия X называется класс всех функций, имеющих в точке b касание с f порядка k . Ясно, что понятие струи не зависит от выбора системы координат на X и может быть определено и для отображения X в многообразие Y . Струя порядка k функции (отображения) f в точке b обозначается $j_k f(b)$ или $f_k(b)$. В выбранной системе координат на X струя $f_k(b)$ определяет (и определяется) начальным отрезком ряда Тейлора функции f в точке b до членов полной степени k включительно. Однородная струя порядка k определяется членами полной степени k ряда Тейлора (это понятие зависит от выбора системы координат на X).

Отображение множества X в множество Y , переводящее точку b из X в точку d из Y называется пунктированным и обозначается $(X, b) \rightarrow (Y, d)$. Струи k -го порядка пунктированных отображений $(\mathbf{R}^n, 0) \rightarrow (\mathbf{R}^n, 0)$ образуют группу Ли, которая обозначается $G^q(n)$ и называется дифференциальной группой размерности n и порядка q . Связная компонента единицы группы $G^q(n)$ будет обозначаться через $G^q(n)^0$. Ясно, что $G^1(n) = GL_n$. Касательное пространство к многообразию X в точке b обозначается $T_b X$, а касательное расслоение к X – через TX . Если $\varphi: X \rightarrow Y$ – отображение, g – функция на Y , $b \in X$ то функция $g(\varphi(b))$ на X называется индуцированной отображением φ и обозначается $\varphi^*(g)$.

Пусть b – точка многообразия X . Как обычно, ростком функции (отображения и т.д.) в точке b называется (бесконечно дифференцируемая) функция f (отображение и т.д.), определенная в некоторой окрестности U_f точки b , причем функции f и g по определению задают тот же самый росток в точке b , если имеется некоторая окрестность V точки b такая, что $U_f \cap U_g \supset V$ и $f=g$ на V . Кольцо ростков в точке b всех функций на многообразии X обозначается через $O_b(X)$ и называется локальным кольцом точки b на X . Отображение $\varphi: X \rightarrow Y$ индуцирует отображение $\varphi^*: O_b(Y) \rightarrow O_b(X)$.

Карта $F=(U, t^i)$ на многообразии X состоит из окрестности U в X и локальных координат $t^1, \dots, t^i, \dots, t^n$ в U . Через $\partial/\partial t^i$ обозначается касательный вектор, а через ∂_i – дифференцирование по i -ой координате. Обозначение F для карты всегда подразумевает координатную окрестность, обозначенную U_F , и локальные координаты в ней, обозначенные t^i , т.е. карта, обозначенная просто через F , подробно записывается $F=(U_F, t^i)$, аналогично $H=(U_H, h^i)$ и т.д. Мы пишем $or(F) = or(H)$ ($or(F) = or(X)$), если карты F и H (карта F и многообразие X) одинаково ориентированы. Запись $b \in F$ означает, что $b \in U_F$. Индекс при U будет пропускаться, когда ясно, о какой карте на X идет речь. Набор карт, покрывающий X , называется атласом на X . Карта F называется центрированной в точке b , или b -картой, если для ее локальных координат t^i имеем $t^i(b) = 0$. База X расслоения геометрических величин у нас всегда предполагается ориентированной, и в определение b -карты включается условие $or(F) = or(X)$.

Для расслоения $\pi: P \rightarrow X$ слой $\pi^{-1}(b)$ над точкой b обозначается P_b .

2.2. Мы будем использовать понятие геометрической структуры, см. обзор [10]. С каждым многообразием X размерности n инвариантно связано многообразие кореперов $Rep_q(X)$ порядка q , которое является (правым) главным расслоенным пространством над X на слое которого действует дифференциальная группа $G^q(n)$ порядка q . Мы рассматриваем только линейно связные многообразия X . Если задано (левое) действие $\alpha: G^q(n)^0 \times D \rightarrow D$ группы $G^q(n)^0$ на многообразии D , возникает ассоциированное с $Rep_q(X)$ расслоение $\pi^D: P = P_X(D) \rightarrow X$. Мы будем называть P расслоением геометрических величин типа D и порядка q , или просто D – расслоением, а D типовым слоем расслоения P . Сечение $s: X \rightarrow P$, определенное в некоторой окрестности многообразия X , называется (локальной) геометрической структурой, или (локальной) геометрической величиной.

Замечание. Для любых натуральных $q \geq s$ определена естественная проекция $g(q,s): G^q(n)^0 \rightarrow G^s(n)^0$, и минимальное s , для которого действие α индуцировано действием $G^s(n)^0$ на D , называется точным порядком α .

Замечание. Там, где это очевидно не влияет на доказательство, для упрощения обозначений (не оговаривая этого каждый раз специально) мы будем при проведении доказательств уменьшать при необходимости X и предполагать все локально по X заданные геометрические величины, функции, системы координат и т.д. заданными глобально на X .

2.3. Определение. Пусть дано действие α группы G на многообразии D . α -Рангом (α -корангом) точки $d \in D$ называется размерность (коразмерность в D) проходящей через d орбиты группы G относительно действия α . Будем обозначать α -ранг d через $rk_\alpha(d)$, коранг -

через $\text{cor}_\alpha(d)$. Назовем точку d α -регулярной, если функция $\text{rk}_\alpha(d)$ (эквивалентно $\text{cor}_\alpha(d)$) постоянна в некоторой окрестности точки d . Функция $\text{rk}_\alpha(d)$ ($\text{cor}_\alpha(d)$) полунепрерывна снизу (сверху).

Ясно, что орбита α -регулярной точки состоит только из α -регулярных точек. Такую орбиту будем называть α -регулярной. Если многообразие D состоит только из α -регулярных точек, оно называется α -регулярным.

2.4. Определение. Пусть дано действие α группы G на многообразии D , d – точка на D . α -Инвариантом в точке d (или α -инвариантом, определенным в точке d) называется росток, заданный функцией f на D с областью определения $U_f \ni d$ такой, что f постоянна на каждой компоненте связности пересечения каждой орбиты группы G с D . Ясно, что множество всех α -инвариантов в точке d образует подкольцо в $O_d(D)$, которое будет обозначаться через $I_d(D; \alpha)$ и называться (локальным) кольцом α -инвариантов (точки d). Можно еще сказать, что $I_d(D; \alpha)$ есть локальное кольцо инвариантов точки d относительно индуцированного действия алгебры Ли $\text{Lie}(G)$ на X . Если дано действие β группы G на многообразии Y и отображение $\varphi: D \rightarrow Y$ перестановочно с действием группы G , то φ индуцирует отображение $\varphi^*: I_y(Y; \beta) \rightarrow I_d(D; \alpha)$ (здесь $y = \varphi(d)$).

Замечание. Когда ясно, о каком действии α идет речь, мы будем опускать символ α в обозначениях и писать «ранг», «коранг», «регулярная точка», «кольцо инвариантов $I_d(D)$ » и т.д. вместо « α -ранг», « α -коранг», « α -регулярная точка» «кольцо α -инвариантов $I_d(D; \alpha)$ » и т.д. Это относится и к вводимым далее обозначениям и определениям, зависящим от действия α группы G на многообразии D .

2.5. Лемма. Для любого G -многообразия D его регулярные точки образуют открытое инвариантное относительно действия G всюду плотное в D подмножество W .

Доказательство (напомним, что G , D и действие G на D предполагаются бесконечно дифференцируемыми). Рассмотрим множество W^1 , состоящее из точек, принадлежащих орбитам наибольшей размерности. Размерность орбиты полунепрерывна снизу, т.е. при малом шевелении точки размерность ее орбиты может только увеличиться, поэтому W^1 открыто (и инвариантно). Рассмотрим теперь дополнение $D_1 = D - \bar{W}^1$ в D к замыканию множества W^1 , и рассмотрим множество W^2 , состоящее из точек, принадлежащих орбитам наибольшей размерности в D_1 . Открытость W^2 доказывается так же, как и открытость W^1 . Беря $D_2 = D - \bar{W}^2$ и продолжая этот процесс, построим открытое инвариантное всюду плотное в D подмножество $W = W^1 \cup W^2 \dots \cup W^n$. Оно и будет искомым. Лемма доказана.

2.6. Замечание. Для аналитического многообразия D множество W^1 всюду плотно в D . Это следует из того, что локально W^1 задается условием максимальности ранга (прямоугольной) матрицы, состоящей из аналитических функций на D , задающих действие $\text{Lie}(G)$ на касательном расслоении κ D . Подробности мы опускаем.

2.7. Для каждого расслоения $\pi: P \rightarrow X$ определено многообразие k -струй $J^k P$ (это многообразие образовано k -струями локальных сечений $s: X \rightarrow P$). Для расслоения $P = P_X(D) \rightarrow X$ соответствующее многообразие k - струй будет обозначаться через $J^k_X(D)$, или $J^k(D)$, или J^k , причем будем считать, что $J^0 = P$, $J^1 = X$. Для каждой пары натуральных чисел $k \geq s \geq 1$ имеются естественные проекции $\pi(k, s)^D_X: J^k_X(D) \rightarrow J^s_X(D)$, удовлетворяющие

для каждой тройки натуральных чисел $k \geq s \geq d \geq 1$ условию $\pi(s, d)^D_X \pi(k, s)^D_X = \pi(k, d)^D_X$. Положим $\pi(k, -1)^D_X = \pi^D_k$, $\pi(k, 0)^D_X = \beta^D_k$. Тогда π^D_k есть проекция J^k на X , β^D_k есть проекция J^k на P , а $\pi(0, -1)^D_X$ есть проекция $\pi: P \rightarrow X$. Имеем $\pi^D_s \pi(k, s)^D_X = \pi^D_k$, $\beta^D_s \pi(k, s)^D_X = \beta^D_k$, $\pi \beta^D_k = \pi^D_k$. Во введенных обозначениях $\pi(k, s)^D_X$, π^D_k , β^D_k верхний индекс D и нижний индекс X будут опускаться, когда ясно, какие многообразия X и D имеются в виду.

Конструкция многообразия k -струй функториальна. Это означает, что каждому диффеоморфизму $\varphi: X \rightarrow T$ при $k \geq 1$ отвечает отображение $\varphi(k)^D: J^k_X(D) \rightarrow J^k_T(D)$ с обычными функториальными свойствами. Обозначим группу диффеоморфизмов произвольного многообразия T через $W(T)$. Подгруппа всех сохраняющих ориентацию диффеоморфизмов группы $W(T)$ обозначается $V(T)$, подгруппа всех сохраняющих точку b диффеоморфизмов группы $V(T)$ - через $V_b(T)$. Будем писать W, V, V_b вместо $W(X), V(X), V_b(X)$ соответственно. Группа V действует на многообразии $P = P_X(D)$. Элементу $\varphi \in V$ отвечает диффеоморфизм $\psi = \psi(D, \varphi): P \rightarrow P$, порождающий коммутативную диаграмму:

$$\begin{array}{ccc} \psi: & P & \rightarrow P \\ \downarrow & & \downarrow \\ \varphi: & X & \rightarrow X \end{array}$$

Диффеоморфизм φ действует на сечении $s: X \rightarrow P$, переводя его в сечение $s_\varphi: X \rightarrow P$, определенное правилом $\psi s = s_\varphi$. Это порождает действие $\varphi \rightarrow \varphi(k)^D$ группы V на многообразиях $J^k_X(D)$, перестановочное с $\pi(k, s)$, π_k , β_k . Полагаем $\varphi(-1)^D = \varphi$, $\varphi(0)^D = \psi(D, \varphi)$.

2.8. Определения этого и следующего п.п. аналогичны определениям п.п. 2.3 и 2.4. Связь между этими определениями будет прояснена в п. 3.2. Мы будем рассматривать дифференциальные инварианты (см. п. 2.9) только локально, в окрестности заданной точки $a \in J^k_X(D)$.

Определение. Точка $a \in J^k = J^k_X(D)$ называется V -регулярной, если у нее существует окрестность U такая, что для всех точек $a \in U$ размерность $d(a)$ орбиты группы V , проходящей через a , постоянна. Мы называем V -рангом регулярной точки a и обозначаем через $\text{rk}_V(a)$ число $\text{rk}_V(a) = d(a) - n$. Мы называем V -корангом регулярной точки a коразмерность орбиты группы V , проходящей через a , и обозначаем это число через $\text{cor}_V(a)$. Ясно, что $\text{cor}_V(a) = \dim J^k - d(a)$.

2.9. Определение. Пусть a – точка на многообразии $J^k = J^k_X(D)$. Дифференциальным инвариантом (определенным) в точке a , или V -инвариантом, называется росток, заданный функцией f на J^k с областью определения $U_f \ni a$ такой, что f постоянна на каждой компоненте связности пересечения каждой орбиты группы V с U_f . Число k называется степенью дифференциального инварианта.

Ясно, что множество всех V -инвариантов в точке a образует подкольцо кольца $O_a(J^k)$, которое будет обозначаться через $I_a(J^k, V)$ и называться (локальным) кольцом дифференциальных инвариантов (степени k) или V -инвариантов (точки a). Так как отображения $\pi(k, s): J^k \rightarrow J^s$ перестановочны с действием группы V , они индуцируют отображения $\pi(k, s)^*: I_a(J^k, V) \rightarrow I_u(J^s, V)$, если $\pi(k, s)(a) = u$. Пусть $f \in I_a(J^k, V)$. Наименьшее s , для которого найдется $g \in I_u(J^s, V)$ такое, что $\pi(k, s)^*(g) = f$, где $\pi(k, s)(a) = u$, называется точной степенью дифференциального инварианта f . Символ V в понятиях и обозначениях,

связанных с действием группы V , будет как правило опускаться, когда понятно, о каком действии идет речь. Это относится и к вводимым далее обозначениям и определениям, касающимся действия группы V .

2.10 Пусть a есть V -регулярная точка на J^k , d – натуральное число. Назовем $(a; d; V)$ -набором (коротко - набором) и обозначим через $F = (F^i)$ - набор, состоящий из d определенных в точке a дифференциальных инвариантов F^i . Мы называем рангом набора F в точке a и обозначаем через $\text{rk}_F(a)$ ранг якобиевой матрицы $(\partial F^i / \partial z^j(a))$, где через $z^1, \dots, z^s$ обозначена любая локальная система координат в окрестности точки a . Ясно, что $\text{rk}_F(a)$ не зависит от выбора z^i . Набор F называется функционально независимым в точке a , если $\text{rk}_F(a) = d$. Для функционально независимого набора всегда $\text{cor}(a) \geq d$. Функционально независимый набор называется полным в точке a , если $\text{cor}(a) = d$. Если дано действие α группы G на многообразии D и точка a есть α -регулярная точка D , то для набора F (называемого $(a; d; \alpha)$ -набором или коротко набором), состоящего из d определенных в точке a инвариантов относительно действия G на D можно дословно так же ввести понятия ранга, функциональной независимости и полноты в точке a . Ясно, что и для V -регулярной точки на J^k , и для α -регулярной точки на D можно найти полный функционально независимый набор инвариантов, определенный в этой точке.

3. Инварианты неспециальных структур.

3.1. Как обычно, $k! = 1 \cdot 2 \cdot \dots \cdot n$, $C_n^k = n! / [k!(n-k)!]$ есть число сочетаний из n элементов по k . Из треугольника Паскаля известно соотношение $C_n^0 + C_{n+1}^1 + \dots + C_{n+1}^i = C_{n+1}^{i+1}$. Расслоение $P = P_X(D) \rightarrow X$ геометрических структур называется неспециальным, если $m = \dim D > n = \dim X$. В противном случае P называется специальным расслоением геометрических структур.

Теперь мы можем сформулировать наш основной результат.

Теорема 1. Пусть $P \rightarrow X$ - неспециальное расслоение геометрических величин типа D и порядка q . Тогда для любой V -регулярной точки $a \in J_X^k(D)$ существует не менее $t(k) = m C_{n+k}^k - n (C_{n+k+q}^{k+q} - 1)$ функционально независимых дифференциальных инвариантов степени k , определенных в точке a . При $k \rightarrow \infty$ можно записать $t(k) = (m - n) C_{n+k}^k - \varepsilon(k) C_{n+k}^k$, где $\varepsilon(k)$ стремится к 0 при росте k . Таким образом $t(k)$ стремится к бесконечности при росте k . Величина $\varepsilon(k)$ зависит только от m, n, q, k .

Прежде чем доказывать теорему, напомним в п.п.3.2-3.6 ряд известных фактов, см. [10], [11].

3.2. Оказывается, по действию $\alpha: G^q(n)^0 \times D \rightarrow D$ группы $G^q(n)^0$ на многообразии D для каждого натурального k канонически определяются подходящее многообразие D^k (k -продолжение многообразия D) и действие α_k (k -продолжение действия α) группы $G^{q+k}(n)^0$ на этом многообразии, для которых имеются канонические отождествления $\gamma(k)_X^D: J_X^k(D) \approx P_X(D^k)$. Напомним, что согласно п.2.2 $P_X(D^k)$ есть расслоение, ассоциированное с главным расслоением кореперов Rep_{q+k} порядка $q+k$ с помощью действия α_k . Полагаем еще $D^0 = D$. Таким образом слой J_X^k над любой точкой $b \in X$ неканонически отождествляется с D^k . При этом данная конструкция функториальна. Это означает следующее.

Для любых натуральных $k \geq s \geq 0$ естественная проекция групп $g(k,s): G^k(n)^0 \rightarrow G^s(n)^0$ коммутирует с действием α_k, α_s этих групп на D^k, D^s соответственно при естественной проекции $\mu^D(k,s): D^k \rightarrow D^s$. Положим $\mu^D(k,0) = \mu^D_k$.

Естественная проекция пространств кореперов $r(k+q,s+q): \text{Rep}_{k+q}(X) \rightarrow \text{Rep}_{s+q}(X)$ индуцирует проекцию присоединенных расслоений $r^D_X(k,s): P_X(D^{k+q}) \rightarrow P_X(D^{s+q})$, которая при отождествлениях $\gamma(k)^D_X, \gamma(s)^D_X$ переходит в проекцию $\mu(k,s)^D_X$. В этих обозначениях верхний индекс D и нижний индекс X будут опускаться, когда ясно, какие многообразия X и D имеются в виду.

Любой диффеоморфизм $\varphi: X \rightarrow T$ индуцирует диффеоморфизмы $\varphi(R,k): \text{Rep}_k(X) \rightarrow \text{Rep}_k(T)$, $\varphi(k)^D: J^k_X(D) \rightarrow J^k_T(D)$, $\psi(D^k, \varphi): P_X(D^k) \rightarrow P_T(D^k)$, перестановочные с отождествлениями $\gamma(k)$ и проекциями $r(k,s), \pi^D(k,s), \mu^D(k,s)$ с подходящими значениями индексов, например $\gamma(k)^D_T \varphi(k)^D = \psi(D^k, \varphi) \gamma(k)^D_X$ и т.д.

3.3. Пусть D – расслоение $P = P_X(D)$ задается действием дифференциальной группы $G^q(n)^0$ на типовой слой D . Рассмотрим точку $a \in J^k = J^k_X(D)$ и обозначим $b = \pi_k(a) \in X$, $G = G^{q+k}(n)^0$. Как известно, любой выбор карты $F = (U, f^i)$ на X даст тривиализацию $\text{tr}_F: J^k_U \rightarrow D^k \times U$. Здесь J^k_U рассматривается как открытое подмножество $\pi_k^{-1}(U)$ в J^k . Теперь выберем b -карту F на X со следующим свойством: функции f^i карты F осуществляют диффеоморфизм, обозначаемый через f , окрестности U на окрестность в $\mathbf{R}^n$. Через E^1 обозначим открытый шар в $\mathbf{R}^n$ радиуса 1 и потребуем, чтобы $f(U) = E^1$. Обозначим через v_i проекцию прямого произведения $D^k \times U$ на i -ый сомножитель и положим $\text{tr}_F(a) = t$, $w = v_1(t) \in D^k$. Ясно, что $b = v_2(t)$, $t = (w, b)$, $f(b) = 0$. Обозначим через $O(a)$ и $O_1(a)$ орбиты точки a в J^k относительно действия групп V и V_0 соответственно. Орбита $O_1(a)$ лежит в слое J^k_b расслоения J^k над точкой b . Обозначим $\pi_k^{-1}(U) \cap O(a) = O_U(a)$. Положим $\text{tr}_F(O_U(a)) = O(a)^*$, $\text{tr}_F(O_1(a)) = O_1(a)^*$. Для любого вектора $g \in E^1$ легко построить сохраняющий ориентацию диффеоморфизм $E^1 \rightarrow E^1$, который тождественен в окрестности границы E^1 и является сдвигом на g в окрестности точки 0 . Построенный диффеоморфизм индуцирует с помощью отображения f^{-1} диффеоморфизм U , который продолжается на X . Отсюда легко видеть, что:

$O(a)^* = O_1(a)^* \times U$. Поэтому $O_U(a)$ есть тривиальное расслоение над U .

Орбита $O(a)$ есть локально тривиальное расслоение над X .

Действие группы V_b на слой J^k_b при тривиализации tr_F переходит в действие α_k группы $G = G^{q+k}(n)^0$ на k -продолжении D^k типового слоя D .

V -Регулярность точки $a \in J^k$ эквивалентна α_k -регулярности точки w , и для V -регулярной точки a имеем $\text{rk}(a) = \text{rk}(w)$, $\text{cor}(a) = \text{cor}(w)$. Следовательно, α_k -регулярность точки w не зависит от выбора тривиализации, хотя сама точка w зависит.

Если R' – множество α_k -регулярных точек D^k , то множество R_U V -регулярных точек на J^k_U равно $R_U = \text{tr}_F^{-1}(R' \times U)$. Поскольку R' открыто и всюду плотно в D^k , R_U открыто и всюду плотно в J^k_U . Значит, множество всех V -регулярных точек многообразия J^k открыто и всюду плотно в нем.

Теперь предположим, что точка a V -регулярна.

1. Отображение tr_F индуцирует изоморфизм i^* кольца V -инвариантов $I_a(J^k, V)$ с подкольцом кольца $O_1(D^k \times U)$, обозначаемым через I_t . Элемент из I_t задается ростком в точке

t функции $S(y, x)$, где $y \in D^k$, $x \in X$, постоянной на орбитах группы V_0 , но легко видеть, что S зависит только от точки $y \in D^k$, т.е. на самом деле $S = S(y)$. Поэтому S определяется своим ограничением s на слой D^k . Функция s определена в подходящей окрестности T точки $w \in D^k$ и постоянна на связных компонентах пересечения T с орбитами группы G на этом многообразии. Поэтому ясно, что отображение $S \rightarrow s$ определяет изоморфизм $i^*: I_a(J^k, V) \rightarrow I_l \approx I_w(D^k; \alpha_k)$ кольца дифференциальных инвариантов в точке a и кольца α_k -инвариантов для действия группы G на D^k в точке w .

Пусть имеется $(a; d; V)$ - набор $F = (F^i)$, см п. 2.10. Пусть $i^*(F^i) = S^i$ и s^i – ограничения S^i на слой D^k . Ростки s^i являются α_k -инвариантами в точке w . Обозначим через s состоящий из них $(w; d; \alpha_k)$ - набор. Тогда $\text{rk}_F(a) = \text{rk}_s(w)$, поэтому набор F тогда и только тогда будет функционально независимым (полным) в точке t , когда будет функционально независимым (полным) в точке w набор s .

3.4. Если в начале п.3.3 выбрать другую b -карту H на X , то $\text{tr}_H(w) = (w_H, b)$ определяет другую точку w_H на D^k . Тогда $w_H = g w$, где $g \in G$ – элемент, определенный $(k+q)$ -струей функции перехода от F к H в точке b . Множество всех элементов w_H для всевозможных b -карт H представляет собой орбиту $Gw = O_1(a)^*$ действия α_k группы G на многообразии D^k . Эта орбита не зависит от выбора F и зависит только от точки a . При любом выборе F тривиализация tr_F переводит $O_1(a)$ в $O_1(a)^*$. Таким образом, имеется естественное взаимно-однозначное соответствие между множеством M орбит действия α_k группы G на многообразии D^k и множеством M_b орбит группы V_b на слое J_b^k расслоения J^k над любой точкой $b \in X$. Это соответствие $M \rightarrow M_b$ в дальнейшем мы будем обозначать λ_b . Более того, если X связно, сопоставив каждой орбите из множества MJ всех орбит группы V на многообразии J^k ее ограничение на слой J_b^k , мы получим биекцию MJ на M_b для любой точки $b \in X$.

Итак, для описания дифференциальных инвариантов в V -регулярной точке многообразия $J_X^k(D)$ согласно сказанному выше достаточно описать α_k -инварианты в α_k -регулярной точке многообразия D^k . Этой задачей мы и займемся.

Пусть F – произвольная карта на X , содержащая точку b . Сохраним обозначения, введенные в начале п.3.3. Многообразие D^k допускает каноническое разложение в прямое произведение

$$D^k = D \times D_1 \times \dots \times D_k \quad (3.4.1)$$

Соответствующее разложение элемента $d \in D^k$ записывается $d = (d_0, d_1, \dots, d_k)$. Разложение (3.4.1) отвечает разложению струи $f: \mathbf{R}^n \rightarrow D$ на однородные слагаемые. Это разложение совместимо с проекциями $\mu(k, s)$, т.е. $\mu(k, s)(d) = d_s = (d_0, d_1, \dots, d_s)$. Пространства D_s есть линейные пространства размерности $m_{C_{n+s-1}^s}$.

Рассмотрим проекцию $\mu_k: D^k \rightarrow D$ и обозначим $\mu_k(w_F) = w_F^0$. Выберем какую-нибудь карту $Q = (N, y^c)$, $1 \leq c \leq m$, на D , такую что $N \ni w_F^0$. Тогда прообраз $\mu_k^{-1}(N) = N^k$ окрестности N представляется в виде прямого произведения

$$N^k = N \times D_1 \times \dots \times D_k \quad (3.4.2)$$

На окрестности N^k возникает система координат (y) , связанная с этим разложением

$$(y) = (y^c, y^{c_{j_1}}, \dots, y^{c_{j_1 \dots j_k}}), \quad 1 \leq c \leq m, \quad 1 \leq j_s \leq n, \quad 1 \leq s \leq k.$$

При $s > 0$ координаты $y^{c_{j_1, \dots, j_k}}$ являются глобальными координатами на D_s . Обозначим $N^k(F) = \text{tr}_F^{-1}(N^k \times U) \subset J^k$. Координаты f^i карты F на X и координаты (y) на N^k посредством тривиализации tr_F порождают в $N^k(F)$ систему координат $\pi_k^*(f^i)$, (y_F) , где

$$(y_F) = (y_F^c, y^{c_{Fj_1}}, \dots, y^{c_{Fj_1, \dots, j_k}}), 1 \leq c \leq m, 1 \leq j_s \leq n, 1 \leq s \leq k.$$

Мы обозначили $y^{c_{Fj_1, \dots, j_k}} = y^{c_{j_1, \dots, j_k}} \text{tr}_F$. Здесь индекс F указывает на зависимость от выбора карты F ; если же эта карта фиксирована или зависимость от нее несущественна, этот индекс будет опускаться. Чтобы не загромождать обозначения, вместо $\pi_k^*(f^i)$ будем писать f^i . Припишем координатам (y_F^c) вес 0 и символически обозначим $y_{F0} = (y_F^c)$. Координате $y^{c_{Fj_1, \dots, j_k}}$ приписывается вес s , и совокупность всех координат веса s символически обозначается $y_{Fs} = (y^{c_{Fj_1, \dots, j_k}})$. Будем символически записывать $(y_F) = (y_{F0}, \dots, y_{Fk})$. Для координат (y) на N^k понятие веса и символическая запись определяются аналогично. Через $Q^k(F)$ будет обозначаться карта на J^k , состоящая из окрестности $N^k(F)$ и системы координат (f^i) , (y_F) в ней, через Q^k - карта на Y^k , состоящая из окрестности N^k и системы координат (y) в ней.

3.5. Соглашения. При $k=0$ вместо N^0 , Q^0 , $Q^0(F)$, $N^0(F)$ пишем также N , Q , $Q(F)$, $N(F) = (N, F)$. Для любой точки $a \in J^k$ ее координаты в карте $Q^k(F)$ будут обозначаться $(a_{-1}^i, a^c, a^{c_{j_1}}, \dots, a^{c_{j_1, \dots, j_k}})$ и будет использоваться запись $a = (a_{-1}^i, a^c, a^{c_{j_1}}, \dots, a^{c_{j_1, \dots, j_k}})$. Здесь обозначено $f^i(\pi_k(a)) = a_{-1}^i$. Также символически будем писать $a = (a_{-1}, a_0, \dots, a_k)$. Аналогичный смысл для точки $d \in N^k$ имеет запись $d = (d^c, d^{c_{j_1}}, \dots, d^{c_{j_1, \dots, j_k}}) = (d_0, d_1, \dots, d_k)$.

3.6. Напомним, что элементы дифференциальной группы $G = G^{q+k}(n)^0$ есть $(k+q)$ -струи сохраняющих ориентацию пунктированных диффеоморфизмов $(\mathbf{R}^n, \mathbf{0}) \rightarrow (\mathbf{R}^n, \mathbf{0})$. Произведение $\phi_{k+q} \psi_{k+q}$ струй отображений ϕ и ψ есть по определению струя θ_{k+q} отображения $\theta = \phi(\psi)$. Пространство группы G разлагается в прямое произведение многообразий

$$G^{k+q}(n)^0 = G_1 \times \dots \times G_{k+q} \quad (3.6.1)$$

отвечающих разложению струи на однородные слагаемые. На G_1 координатами является линейная часть струи, поэтому G_1 отождествляется с GL_n^0 . Отметим, что при $s > 1$ G_s не являются подгруппами в G , но $G_s \times \dots \times G_{k+q}$ - нормальные подгруппы в G для любого s . Обозначим $N = N(k+q) = G_2 \times \dots \times G_{k+q}$ (позже мы увидим, что N нильпотентна). Группа G допускает полупрямое разложение вида:

$$G = G^{q+k}(n)^0 = GL_n^0 \rtimes N \quad (3.6.2).$$

Это разложение называется алгебраическим разложением Леви. Настоящее разложение Леви на полупростой сомножитель S и разрешимый радикал R получается так. Пусть

$$GL_n^0 = SL_n \times Z^0 \quad (3.6.3)$$

- стандартное разложение GL_n^0 в прямое произведение группы SL_n и связной компоненты центра Z^0 (состоящей из скалярных матриц с положительными элементами). Тогда разрешимый радикал $R = R(k+q)$ группы G есть полупрямое произведение подгруппы Z^0 группы $GL_n^0 = G_1$ и нормального делителя N

$$R = Z^0 \rtimes N \quad (3.6.4)$$

Полупростой сомножитель S разложения Леви группы G есть подгруппа SL_n группы G_1 . Итак, разложение Леви группы G имеет вид:

$$G = G^{q+k}(n)^0 = SL_n \rtimes R \quad (3.6.5)$$

На G_s координатами являются коэффициенты Тейлора $g_{j_1, \dots, j_s}^i$ степени s , что отождествляет G_s с линейным пространством размерности $\lambda(i) = nC_{n+s-1}^s$. Полученная координатная система на G символически обозначается $(g_1, \dots, g_{k+q})$. Соответствующая координатная система на алгебре Ли $G(k+q) = G$ группы $G^{q+k}(n)^0$ будет обозначаться $(b_{j_1, \dots, j_{k+q}}^i)$ или символически $(b_1, \dots, b_{k+q})$. Разложение (3.6.1) индуцирует разложение:

$$G = G_1 \times \dots \times G_{k+q} \quad (3.6.6)$$

(G_i есть касательное пространство в единице к многообразию G_i). При $i > 1$ G_i не являются подалгебрами, но $G_1 \times \dots \times G_{k+q}$ являются нормальными подалгебрами в G . Обозначим $N = N(k+q) = G_2 \times \dots \times G_{k+q}$. Положим $Z = \text{Lie}(Z^0)$, $R = R(k+q) = \text{Lie}(R)$. Из сказанного ясно, что $G_1 = GL_n$ и имеют место разложения алгебр Ли, соответствующие разложению групп:

$$GL_n = SL_n \times Z, \quad (3.6.7)$$

$$R = Z \rtimes N \quad (3.6.8)$$

и имеет место разложение Леви

$$G = SL_n \rtimes R \quad (3.6.9)$$

отвечающее разложению (3.6.5), а также алгебраическое разложение Леви, отвечающее разложению (3.6.2)

$$G = G(k+q) = GL_n \rtimes N \quad (3.6.10),$$

Структура группы $G^s(n)^0$ и ее алгебры Ли $G(s)$ будет уточнена в дальнейшем, а сейчас мы вычислим размерности $G^k(n)$ и D^k .

3.7. Лемма. Если $\dim D = m$, $\dim X = n$, то $\dim G^k(n) = n(C_{n+k}^k - 1)$, $\dim D^k = m C_{n+k}^k$.

Так как размерности группы G_s и пространства D_s известны (см. выше), доказательство немедленно следует из (3.4.1), (3.6.1) и треугольника Паскаля (см. п.3.1).

3.8. Лемма. Для любых фиксированных q и n отношение C_{n+k}^k к C_{n+k+q}^{k+q} стремится к 1 при $k \rightarrow \infty$.

Доказательство. $C_{n+k}^k / C_{n+k+q}^{k+q} = \frac{(n+k)!(k+q)!n!}{n!k!(n+k+q)!} = \frac{(k+1) \dots (k+n)}{(q+k+1) \dots (q+k+n)}$. Мы видим, что каждое из n отношений $(k+i)/(q+k+i)$ стремится к 1 при $k \rightarrow \infty$. Лемма доказана.

3.9. Доказательство теоремы 1. Замечание в начале п. 3.4 сводит вопрос о величине $t(k)$ к аналогичному вопросу для действия α_k . В окрестности регулярной точки $w \in D^k$ количество $t(k)$ функционально независимых α_k -инвариантов оценивается так. В окрестности w все орбиты имеют одинаковую размерность d (всегда $d \leq \dim G^{k+q}(n)$). Инварианты определяются ростками функций, постоянными на орбитах. Если взять подмногообразие S , проходящее через w и трансверсальное в окрестности w к орбитам, то инварианты определяются ограничением на S , откуда $t(k) \geq \dim D^k - \dim G^{k+q}(n)$. Обозначим $C_{n+k+q}^{k+q} / C_{n+k}^k = p(k)$. Тогда $t(k) \geq m C_{n+k}^k - n(C_{n+k+q}^{k+q} - 1) \geq m C_{n+k}^k - n C_{n+k}^k p(k) = C_{n+k}^k (m - n p(k)) = (m - n) C_{n+k}^k + n C_{n+k}^k (1 - p(k))$. Теорема 1 доказана.

Список использованной литературы.

1. Lie S., Gesammelte Abhandlungen, Teubner, Leipzig, 1922 – 1937.
2. Cartan E., Oeuvres Completes, Gauthier-Villars, Paris, 1952-1955.
3. Tresse A., Sur les invariants différentiels des groupes continus de transformations, Acta Math., 1894, v. 18, p.p. 1-88.
4. Tresse A., Determination des invariants punctuels de l'équation différentielle ordinaire de second ordre, Leipzig, 1896.
5. Овсянников Л.В., Групповой анализ дифференциальных уравнений, М., «Наука», 1978.
6. Ибрагимов Н.Х., Группы преобразований в математической физике, М., «Наука», 1983.
7. Kumpera A., Invariants différentiels d'un pseudogroupe de Lie, J. differential geometry, v.10(1975), p.p. 289-416.
8. Thomas T.Y., The differential invariants of generalized spaces, Cambridge, Cambridge Univ. Press, 1934.
9. Саркисян Р.А., О дифференциальных инвариантах геометрических структур, Известия РАН, Серия матем., том 70(2006), №2, стр. 98-155.
10. Алексеевский Д.В., Виноградов А.М., Лычагин В.В., Геометрия – 1, Основные идеи и понятия дифференциальной геометрии, Итого науки и техники, Современные проблемы математики, Фундаментальные направления, Т. 28, М., ВИНТИ, 1988.
11. Винберг Э.Б., Онищик А.Л., Семинар по группам Ли и алгебраическим группам, М., «Наука», 1988.

© Р.А.Саркисян, 2015

УДК 634*378.33

Г.Я. Суров, профессор, канд. техн. наук

В.А. Барабанов, доцент, канд. техн. наук

Д.А. Штаборов, старший преподаватель

кафедра водного транспорта леса и гидравлики

Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова

г. Архангельск, Российская Федерация

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ

ПРОБЛЕМЫ ЛЕСОСПЛАВА. ТЕХНОЛОГИИ РАЗВИТИЯ

В нашей стране основные лесные массивы расположены на значительном удалении от пунктов переработки и потребления древесины. Это требует значительных затрат на перевозку ее потребителям водным, железнодорожным и автомобильным транспортом. Учитывая развитую речную сеть и экономические преимущества водного транспорта, лесоперерабатывающие предприятия проектировались повсеместно на преимущественное потребление сырья с воды.

Отличительной особенностью лесозаготовительной отрасли Финляндии и особенно Швеции является развитая дорожная сеть и самое главное – малые расстояния перевозок автомобильным транспортом. Особенности лесозаготовительной отрасли в Архангельской области, как практически и во всех регионах Сибири, сдерживающими рост заготовки лесоматериалов является большая удаленность лесоизбыточных регионов от потребителей и отсутствие там магистральных видов транспорта – железнодорожного и водного. При этом отметим, что успехи лесной отрасли в прошлые годы объясняются, в первую очередь, максимальным использованием для транспортировки лесоматериалов развитой речной сети. Работы были равномерно распределены в течение всего периода навигации, что обеспечивало большую эффективность использования техники и трудовых ресурсов. Практически все перерабатывающие предприятия были спроектированы на прием лесоматериалов с воды и до настоящего времени располагаются в устьях больших рек. Объемы поставки лесоматериалов в плотках достигали только в Архангельской области 16 млн. м³ в год. Этого объема вполне хватало всем экспортным предприятиям. Остальная древесина, примыкающая к железнодорожному транспорту, как избыточная, вывозилась из области в южные регионы страны.

В связи с повсеместной отменой молевого сплава и по многим объективным и субъективным причинам надежно работающие технологии лесосплава были отменены, а новые разработаны не были. Лесозаготовительные предприятия, примыкающие к малым и средним рекам, оказались отрезанными от транспортных артерий. Существенные объемы древесного сырья оказались исключенными из ресурсов вывозки. Лесозаготовки перемещаются в маловозрастные и низкобонитетные насаждения, а также в недорубы прошлых лет, в то время как недоступные спелые и перестойные массивы леса подвергаются деградации.

Прекращение молевого сплава не дало ощутимого результата и в части повышения эффективности функционирования рыбного хозяйства, в то время как отрицательные экологические и экономические последствия этого шага очевидны.

Если в шестидесятые годы – годы расцвета промышленности в стране транспортные расходы в себестоимости продукции в целом по промышленности составляли 13% и в лесной промышленности с её огромными транспортными расстояниями – 16,4%, то в настоящее время только в стоимости сырья эти расходы составляют половину, а то и более [1]. Затраты энергии на лесосплаве при выполнении сопоставимой транспортной работы составляли в прошлые года только 1/4 часть по сравнению с железнодорожным и 1/17 часть по сравнению с автомобильным транспортом. Следует также рассматривать и капиталовложения, которых требуется значительно меньше на организацию лесосплава, чем на сухопутный транспорт [2]. В результате лесозаготовители часто не окупают свои затраты, а у переработчиков возникают проблемы с реализацией продукции [1]. Вывод напрашивался один: в Российской Федерации, где огромные пространства и обширная сеть рек и речек, просто нет альтернативы транспортировке лесоматериалов водой. И дешевле всего – в плотках [3].

В то же время успешное функционирование лесопромышленного комплекса в Российской Федерации с её огромными расстояниями вывозки лесоматериалов возможно

только при разработке и повсеместном внедрении новых экологически защищенных технологий лесосплава с использованием в лесозаготовительных регионах всей речной сети. Поэтому решение вопросов, связанных с разработкой и совершенствованием новых технологий лесосплава, является актуальной задачей.

В настоящее время водный транспорт лесоматериалов представлен в небольших объемах судовыми перевозками и береговой сплоткой лесоматериалов. При этом важно отметить, что объемы зимней сплотки лесоматериалов на реках практически достигли своего предела – все участки берегов рек, пригодные под зимние плотбища, задействованы. Для роста судовых перевозок в весенний период также существенных перспектив нет, так как потребуются увеличение флота, а его содержание при кратковременном периоде работы в навигацию будет обходиться очень дорого.

Для сплава в период половодья разработана конструкция сплочной единицы, близкая по форме к параллелепипеду и имеющая объём до 30 м^3 при осадке $0,8 \dots 1,0 \text{ м}$ [4, 5].

Сплоточная единица (рис. 1) содержит отдельные круглые лесоматериалы, которые уложены между пакетами круглых лесоматериалов ровным слоем толщиной, равной высоте пакетов и параллельно пакетам. На пакеты наложены гибкие обвязки. Пакеты и отдельные круглые лесоматериалы соединены между собой с помощью жестких и гибких связей. Жесткие связи укладываются сверху и поперек лесоматериалов и выполняются из круглых лесоматериалов длиной, равной ширине сплочной единицы. На расстоянии $0,25 \dots 0,30 \text{ м}$ от каждого торца этих жестких связей выполнены сквозные отверстия. Гибкие связи охватывают пакеты и отдельные круглые лесоматериалы снизу и с боков, они снабжены на концах цепными наставками с рычажными замками. Цепную наставку пропускают через отверстия жесткой связи и закрывают рычажным замком за звено цепи основной ветви гибкой связи. Цепные наставки позволяют регулировать рабочую длину гибкой связи. Гибкие и жесткие связи охватываются и соединяются между собой стяжками 9. Они могут быть выполнены в виде отрезка проволоки, при телеграфной скрутке которой выбирается слабина нижней гибкой связи. Стяжки устанавливаются так, что они разделяют отдельные круглые лесоматериалы на равные по объему пачки.

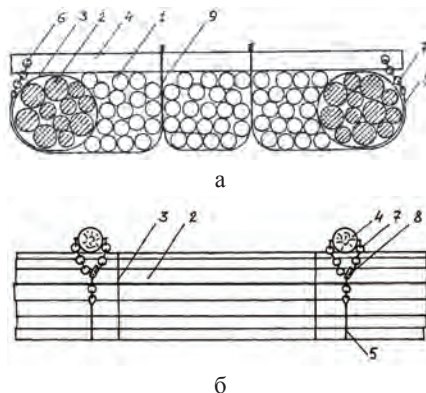


Рис. 1. Сплоточная единица, близкая по форме к параллелепипеду: а – вид сбоку;

б – вид спереди; 1 – отдельные круглые лесоматериалы;

2 – пакет круглых лесоматериалов; 3 – обвязка; 4 – жесткая связь; 5 – гибкая связь;

6 – отверстие; 7 – цепная наставка; 8 – рычажный замок; 9 – стяжка

При формировании на берегу, например, в зимний период на плотбище сначала укладывают параллельно друг другу две нижние гибкие связи. С помощью сплотно-транспортного агрегата подвозят пакет круглых лесоматериалов с предварительно наложенными обвязками и укладывают поперек гибких связей вблизи одной пары цепных наставок. Затем подвозят точно такой же второй пакет круглых лесоматериалов и укладывают на гибкие связи параллельно первому и вблизи второй пары цепных наставок. После этого агрегатом с гидроманипулятором укладывают отдельные круглые лесоматериалы на гибкие нижние связи между пакетами. Отдельные лесоматериалы укладывают ровным слоем толщиной, равной высоте уложенных пакетов. По мере укладки отдельных лесоматериалов между ними пропускают стяжки, которые охватывают нижние гибкие связи. Причем стяжками делят отдельные лесоматериалы на пачки, равные по объему. Сверху и поперек пакетов и отдельных лесоматериалов укладывают две жесткие связи, через отверстия которых пропускают цепные наставки гибких связей, выбирают их слабины и закрывают рычажные замки за звенья основных ветвей наставок. После этого вертикальными стяжками охватывают верхние жесткие связи, соединяют и скручивают стяжки телеграфной скруткой. При этом осуществляется утяжка гибких связей.

В период половодья сплоточные единицы всплывают и из них формируют линейки, ряды и плоты, которые буксируют потребителю.

При формировании предлагаемой сплоточной единицы могут быть использованы манипуляторы. Сплоточная единица проста по конструкции, менее трудоемка в изготовлении, сокращает расход такелажа и в то же время обладает достаточной прочностью, волноустойчивостью, имеет значительный объем при малой осадке. Сплоточная единица может быть изготовлена из различных сортиментов, а в пунктах приплава не требуется поштучная сортировка лесоматериалов, т. к. они выгружаются отдельными пакетами и пачками. Предлагаемая сплоточная единица легко делится на отдельные пакеты и пачки и при этом не требуется дополнительных переместительных операций.

Другим из выходов из сложившейся ситуации является возобновление объемов навигационной сплотки лесоматериалов. Основой новых технологий лесосплава, предлагается навигационная сплотка лесоматериалов на малых и средних реках в течение всей навигации на базе плоских сплоточных единиц (ПСЕ) конструкции Северного (Арктического) федерального университета с осадкой 0,25 ... 1,1 м и объемом, соответственно, от 6 до 40 м³ [5].

На данный момент такая технология лесосплава находится в стадии разработки и внедрения [6]. В частности, опробован в течении ряда лет плотовый сплав в ПСЕ по рекам Пинеге, Онеге, Ваге и Северной Двине. Утверждены официальные технические условия на плоты из ПСЕ. Дальнейшее внедрение новых технологий сдерживается из-за отсутствия технического и научного обеспечения [2].

Внедрение этих технологий позволит расширить сроки навигации, снизить до минимума аварийность на лесосплавных путях, обеспечить более ритмичную и равномерную работу лесозаготовительных предприятий и флота в течение всей навигации. При этом техники и флота потребуется меньше, работа может быть организована в спокойном режиме, без

оглядки на сжатые сроки стояния сплавных горизонтов воды. В результате такой организации труда упадут и тарифы на буксировку лесоматериалов, так как загрузка речного флота в навигацию будет более равномерной. Значительно вырастут объемы заготовки лесоматериалов, а, следовательно, и поступления в бюджеты всех уровней. Решается социальная проблема занятости населения в портовых городах и особенно в отдаленных лесоизбыточных районах, где сейчас лесозаготовки не ведутся из-за отсутствия транспортных артерий. Переработчики в свою очередь увеличат объемы производства. Будут работать, как и в старые времена, на дешевом сырье и не будут знать проблем с реализацией продукции на мировых рынках.

Конечно большинство малых рек нынче в таком запущенном состоянии, что не справиться им с транспортировкой древесины в тех объемах, что было когда то. Исключается также и молевой сплав с многочисленными связанными с ним проблемами. Хорошо зарекомендовал себя плотовой сплав в пучках, но осадка пучков составляет более 1 м. Такие плоты проходимы только по крупным рекам, и то не всю навигацию [3].

Важным этапом в организации лесосплава по новым технологиям является вывод лесоматериалов по всем малым рекам, где раньше был молевой сплав. Этот вывод может осуществляться, в зависимости от условий реки в сплоточных единицах вольницей, в линейках из ПСЕ и в малых плотках.

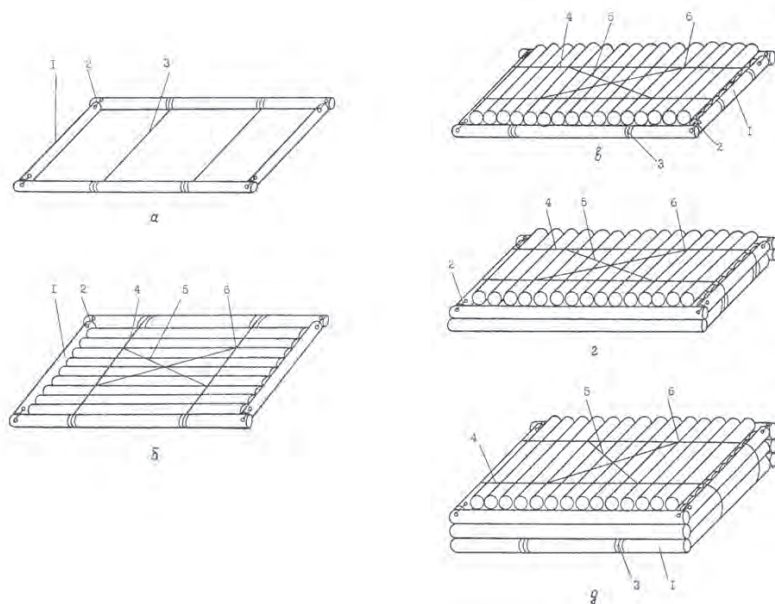


Рис. 1. Конструкция плоской сплоточной единицы: а – основание, б – однорядная ПСЕ, в – двухрядная ПСЕ, г – трехрядная ПСЕ, д – четырехрядная ПСЕ; 1 – нижняя рамка 2 – проволоочные стяжки, 3 – нижние обвязки, 4 – верхние обвязки, 5 – дополнительные счалы, 6 – вертикальные стяжки

Конструкция ПСЕ представлена на рисунке. Основой в ПСЕ служит нижняя рамка, которая выполнена в виде 4 бревен, соединенных по углам проволочными стяжками. На рамке установлены нижние обвязки, расположенные в нижней плоскости рамки. Для изготовления однорядной ПСЕ необходимо внутрь рамки уложить ряд бревен и завязать верхние обвязки. Для придания ПСЕ жесткости устанавливаются дополнительные счалы. Для лучшей утяжки обвязок в местах крепления счалов к обвязкам устанавливаются вертикальные связи, соединяющие верхние и нижние обвязки. В ПСЕ из нечетного числа рядов верхние обвязки являются продолжением нижних, а из четного – верхние обвязки располагаются перпендикулярно нижним. Поэтому вертикальные связи при четном числе рядов устанавливаются в местах пересечения обвязок. В многорядных ПСЕ, начиная снизу, каждый следующий ряд бревен располагается перпендикулярно ниже расположенному и помещается в рамку. Для верхнего ряда бревен рамка не изготавливается. Рамки служат для придания жесткости конструкции и для предупреждения выплывания бревен из нижних рядов ПСЕ. В один ряд укладывается в среднем 6 ... 8 м³ пиловочника.

В однорядных ПСЕ, установленных в линейки, древесина может сплавляться по малым рекам, где раньше был молевой лесосплав, в двухрядных и трехрядных линейках из ПСЕ – по малым и средним рекам, в трехрядных и пятирядных линейках из ПСЕ – по средним и большим рекам. По мере проплава можно при необходимости путем установки друг на друга из однорядных линеек изготовить двухрядные, из двухрядных – четырехрядные и т.д.

Многорядные линейки из ПСЕ удобны и для транспортировки лиственной древесины. Для этого нижний ряд бревен и боковые рамки изготавливаются из хвойного пиловочника, а остальные ряды из лиственной древесины. Могут быть и другие варианты. В пункте приплава имеется возможность лиственную древесину выгрузить одному потребителю, а хвойную древесину – другому.

Отмечено [2], что внедрение большегрузных плотов новой конструкции малой осадки позволит дать работу предприятиям, расположенным в верховьях рек, значительно увеличить объемы поставки лесоматериалов перерабатывающим предприятиям, расширить сроки навигации.

Дальнейшее широкое внедрение новых технологий лесосплава на базе ПСЕ сдерживается из-за отсутствия технического обеспечения по изготовлению и выгрузке ПСЕ, достаточных исследований инерционных процессов, имеющих место при переместительных операциях и буксировке лесотранспортных единиц из ПСЕ.

Список использованной литературы:

1. Митрофанов А.А. Научное обоснование и разработка экологически безопасного плотового лесосплава / А.А. Митрофанов – Архангельск: Изд-во АГТУ, 1999. – 288с.
2. Митрофанов А.А. Лесосплав. Новые технологии, научное и техническое обеспечение: монография / А.А. Митрофанов – Архангельск: изд-во АГТУ, 2007. – 492 с.: ил.
3. Газета волна № 15(1128) от 22 апреля 2008 статья А.А. Митрофанова «Отчего не возим лес по рекам?»
4. Патент 2177436 С2 RU, В63В 35/62. Сплоточная единица / А.А. Митрофанов, Г.Я. Суров, Н.С. Главатских.
5. Суров Г. Я., Штаборов Д. А. Новые сплоточные единицы для сплава лесоматериалов по рекам с малыми глубинами // Актуальные проблемы лесного комплекса: сборник научных трудов / под общ. ред. Е. А. Памфилова. – Брянск: БГИТА, 2014. - Вып. 40. - С. 33-37.
6. Суров Г.Я., Штаборов Д.А. Формирование плота из плоских сплоточных единиц // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. Сборник

РАЗВОРОТ СПЛОТОЧНЫХ ЕДИНИЦ В ПЛОСКОСТИ ПЛАВАНИЯ

В плоских сплоточных единицах круглые лесоматериалы в каждом ряду располагаются перпендикулярно круглым лесоматериалам соседнего ряда. При формировании лесотранспортных единиц (линеек, секций, плотов) сплоточные единицы должны быть ориентированы в определённом порядке.

Для разворота плавающих на поверхности воды сплоточных единиц разработано устройство [1], которое содержит (рис. 1) плавучее основание в виде бонов, образующих подводный коридор и соединённых мостом, на котором установлены направляющие для перемещения тележки, с установленным на ней разворотным механизмом, снабжённым поворотной относительно вертикальной оси и перемещающейся вдоль этой оси вилкой, взаимодействующей с плавающей сплоточной единицей, при этом вилка проходит через проём моста.

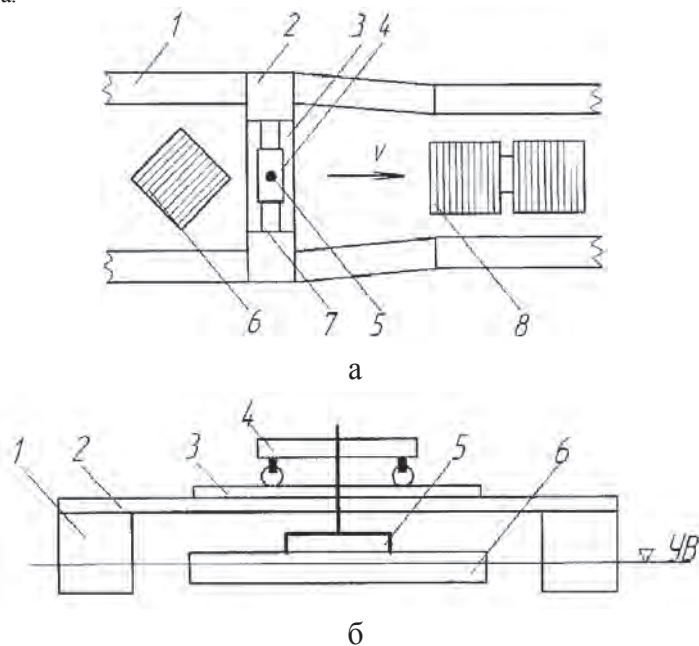


Рис. 1. Устройство для разворота сплоточных единиц: а – схема работы устройства; б – устройство, вид сбоку; 1 – бон, 2 – мост, 3 – направляющие, 4 – тележка, 5 – вилка, 6 – сплоточная единица, 7 – проём моста

Сплоточные единицы перемещаются потоком по подводящему коридору. При нахождении сплотовой единицы под мостом опускается вилка до контакта с лесоматериалами единицы, включается механизм разворота. Вилка, поворачиваясь относительно вертикальной оси, разворачивает сплотовую единицу в заданное положение, например, в положение, при котором круглые лесоматериалы сплотовой единицы расположены поперек потока. После этого вилка поднимается и сплотовая единица течением выносится в формировочный коридор, где из нескольких сплотовых единиц формируют лесотранспортную единицу – линейку. Если сплотовая единица проплывет вдоль одного из бонов подводящего коридора, то после опускания вилки тележка перемещается по направляющим, устанавливая сплотовую единицу по центру коридора.

Разворот сплотовой единицы происходит вокруг вертикальной оси, проходящей через геометрический центр сплотовой единицы (рис. 2).

При равномерном движении при развороте в спокойной воде момент привода M_{II} равен гидродинамическому моменту M_r .

$$M_{II} = M_r.$$

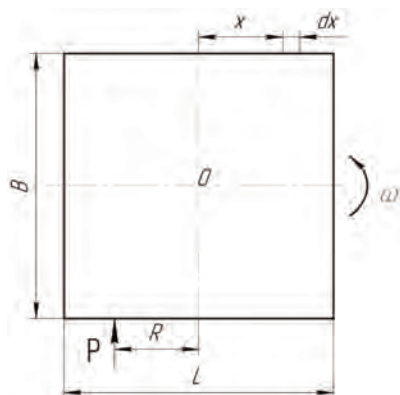


Рис. 2. Схема разворота сплотовой единицы относительно центра масс

Гидродинамический момент

$$M_r = C \frac{\rho}{2} F \omega^2 R^3, \quad (1)$$

где C – коэффициент гидродинамического момента;

ρ – плотность воды;

F – характерная площадь,

$$F = LT;$$

L – длина сплотовой единицы;

T – осадка;

ω – угловая скорость движения;

R – плечо приложения равнодействующей силы сопротивления воды развороту.

Равнодействующая сил сопротивления

$$P = C \frac{\rho}{2} \int_0^{L/2} T \omega^2 x^2 dx. \quad (2)$$

Проинтегрировав, получили

$$P = C \frac{\rho}{2} T \frac{\omega^2 L^3}{24}. \quad (3)$$

Гидродинамический момент

$$M_r = 2PR = C \frac{\rho}{2} T \frac{\omega^2 L^3}{12} R, \quad (4)$$

в то же время

$$M_r = 2C \frac{\rho}{2} T \omega^2 \int_0^{L/2} x^3 dx. \quad (5)$$

Выражение (5) после интегрирования приравняли (4) и получили

$$R = \frac{3}{8} L. \quad (6)$$

При разгоне уравнение движения

$$J(1+n)\omega \frac{d\omega}{d\varphi} = M_{II} - k\omega^2, \quad (7)$$

где J – момент инерции сплотовочной единицы;

n – коэффициент нестационарности [2, 3];

k – постоянная

$$k = C \frac{\rho}{2} FR^3. \quad (8)$$

Угол разворота при разгоне

$$\varphi = J(1+n) \int_0^{\omega} \frac{\omega d\omega}{M_{II} - k\omega^2}.$$

После интегрирования получили

$$\varphi = \frac{J(1+n)}{2k} \ln \frac{M_{II}}{M_{II} - k\omega^2}. \quad (9)$$

При условии $M_{II} > k\omega^2$

$$M_{II} = \frac{k\omega^2}{1 - e^{\frac{-2k\varphi}{J(1+n)}}}. \quad (10)$$

Уравнение (7) запишем в следующем виде

$$J(1+n) \frac{d\omega}{dt} = M_{II} - k\omega^2, \quad (11)$$

тогда длительность разгона

$$t = J(1+n) \int_0^{\omega} \frac{d\omega}{M_{II} - k\omega^2}. \quad (12)$$

После интегрирования получили

$$t = \frac{J(1+n)}{2\sqrt{kM_{II}}} \ln \frac{\sqrt{kM_{II}} + k\omega}{\sqrt{kM_{II}} - k\omega}. \quad (13)$$

При торможении уравнение движения

$$J(1+n)\omega \frac{d\omega}{d\varphi} = -M_{II} - k\omega^2. \quad (14)$$

Разделив переменные и проинтегрировав в пределах от ω до нуля, получили

$$\varphi = \frac{J(1+n)}{2k} \ln \frac{M_{II} + k\omega^2}{M_{II}}. \quad (15)$$

Момент привода при торможении

$$M_{II} = \frac{k\omega^2}{e^{\frac{2k\varphi}{J(1+n)}} - 1}. \quad (16)$$

Длительность торможения

$$t = \frac{J(1+n)}{\sqrt{kM_{II}}} \operatorname{arctg} \left(\omega \sqrt{\frac{k}{M_{II}}} \right). \quad (17)$$

Полученные решения позволяют обосновать параметры привода устройства для разворота сплоточных единиц и длительность разворота при известном угле разворота и заданном значении угловой скорости движения.

Список использованной литературы:

1. Патент 98747 U1 RU, В 65G 69/20, В63В 35/62. Устройство для разворота сплоточных единиц / Суров Г.Я., Барабанов В.А., Теплякова Н.А.
2. Ватлина Я.В., Суров Г.Я. Результаты исследования сопротивления воды движению лесотранспортных единиц // Лесн. журн. 2014 № 2. С. 52-59. (Изв. высш. учеб. заведений).
3. Штаборов Д.А., Барабанов В.А., Рымашевский В.Л. Результаты экспериментальных исследований по разгону моделей линеек из плоских сплоточных единиц // Лесн. журн. 2014 № 4. С. 44-51. (Изв. высш. учеб. заведений).

© Г.Я. Суров, В.А. Барабанов, Д.А. Штаборов, 2015

РАЗВОРОТ ЛЕСОТРАНСПОРТНОЙ ЕДИНИЦЫ НА ПОВЕРХНОСТИ ВОДЫ

Для доставки круглых лесоматериалов потребителям широко используется водный транспорт – на судах и в плотках из сортиментных, хлыстовых пучков и плоских сплоточных единиц. Плоты на воде формируют на специальных рейдах отправления, включающих сортировочные и формировочные устройства, при этом возникает необходимость разворота сформированного из сплоточных единиц ряда. В работах [1-3] с

целью определения мощности привода механизма разворота приведены результаты исследований криволинейного движения лесотранспортной единицы. В этих работах гидродинамический момент сил сопротивления воды развороту принят равным сумме моментов сил сопротивления, действующих на боковые и торцовые грани лесотранспортной единицы. Это усложняет применение полученных результатов на практике, поэтому возникла необходимость определения гидродинамического момента сил сопротивления воды развороту для условной площади проекции боковой и торцовой поверхностей ряда на вертикальную плоскость, проходящую через вертикальную ось по диагонали ряда. Кроме того необходимо получить расчётных зависимостей при различных моментах привода.

Цель нашей работы – получить аналитические решения разворота лесотранспортной единицы при различных моментах привода при использовании результатов экспериментальных исследований.

Разворот может быть выполнен при помощи мотолодки или лесосплавного судна, пришвартованного лагом к грани 1–2 ряда, при этом ряд в точке 0 шарнирно прикреплен к бону формировочного дворика. На рис. 1 представлена расчётная схема разворота ряда сплотовых единиц относительно вертикальной оси 0.

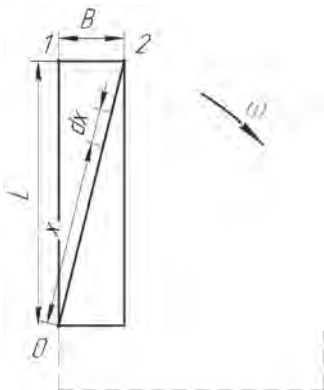


Рис. 1. Расчётная схема разворота лесотранспортной единицы относительно вертикальной оси 0

В общем случае уравнение движения имеет вид [1]

$$J_0 \frac{d\omega}{dt} = \pm M_H - M_F, \quad (1)$$

где J_0 – момент инерции ряда

$$J_0 = J(1 + n); \quad (2)$$

J – момент инерции ряда при отсутствии влияния воды;

n – коэффициент нестационарности, учитывающий влияние масс воды в пустотах сплотовых единиц ряда, присоединённых масс и дополнительное сопротивление, возникающее при неустановившемся движении [4,5];

$\frac{d\omega}{dt}$ – угловое ускорение движения ряда;

M_{II} – момент привода;

M_r – гидродинамический момент при отсутствии скорости течения

$$M_r = r\omega^2 \int_0^D x^3 dx; \quad (3)$$

r – приведённое сопротивление движению ряда с площадью миделя единичной длины

$$r = c \frac{\rho}{2} T; \quad (4)$$

c – коэффициент сопротивления движению;

ρ – плотность воды;

T – осадка ряда;

D – диагональ ряда

$$D = \sqrt{L^2 + B^2}; \quad (5)$$

L, B – соответственно длина и ширина ряда;

ω – угловая скорость движения.

Решение выражения (3)

$$M_r = \frac{rD^4}{4} \omega^2. \quad (6)$$

Уравнение (1) с учётом выражения (6) при разгоне ряда примет вид

$$J_0 \frac{d\omega}{dt} = M_{II} - \frac{rD^4}{4} \omega^2. \quad (7)$$

Разделив переменные, получим выражение для времени движения ряда

$$t_p = J_0 \int \frac{d\omega}{M_{II} - \frac{rD^4}{4} \omega^2}. \quad (8)$$

Решения уравнения (8) в общем виде

$$t_p = \frac{J_0}{\sqrt{rD^4 M_{II}}} \ln \left| \frac{\sqrt{M_{II}} + \sqrt{\frac{rD^4}{4}} \omega}{\sqrt{M_{II}} - \sqrt{\frac{rD^4}{4}} \omega} \right| + c. \quad (9)$$

При начальных условиях $\omega = 0, t = 0$ постоянная интегрирования $c = 0$.

В результате имеем

$$t_p = \frac{J_0}{\sqrt{rD^4 M_{II}}} \ln \left| \frac{\sqrt{M_{II}} + \sqrt{\frac{rD^4}{4}} \omega}{\sqrt{M_{II}} - \sqrt{\frac{rD^4}{4}} \omega} \right|. \quad (10)$$

Учитывая, что

$$\frac{d\omega}{dt} = \omega \frac{d\omega}{d\varphi}, \quad (11)$$

аналогично выражению (8) получим выражение для угла разворота при разгоне

$$\varphi_p = J_0 \int \frac{\omega \cdot d\omega}{M_{II} - \frac{rD^4}{4} \omega^2}. \quad (12)$$

Решение уравнения (12) в общем виде

$$\varphi_P = -\frac{2J_0}{rD^4} \ln \left(\frac{4M_{II}}{rD^4} - \omega^2 \right) + c. \quad (13)$$

Для начальных условий $\varphi = 0, \omega = 0$ постоянная интегрирования

$$c = \frac{2J_0}{rD^4} \ln \frac{4M_{II}}{rD^4}. \quad (14)$$

Тогда зависимость угла разворота ряда от угловой скорости

$$\varphi_P = \frac{2J_0}{rD^4} \ln \frac{M_{II}}{M_{II} - \frac{rD^4}{4} \omega^2}. \quad (15)$$

Из уравнения (7) следует, что при развороте ряд теоретически может достичь скорости равномерного движения

$$\omega_0 = 2 \sqrt{\frac{M_{II}}{rD^4}}. \quad (16)$$

Следует иметь ввиду, что из условия поставленной задачи ряд необходимо развернуть на угол $\pi/2$ и при безопасной конечной скорости ω_K установить в секцию.

Ниже рассмотрим свободное торможение ряда при развороте, под которым понимаем движение с момента прекращения работы привода от скорости ω до скорости ω_K при $M_{II} = 0$. Дифференциальное уравнение движения ряда в рассматриваемом режиме имеет вид

$$J_0 \frac{d\omega}{dt} = -\frac{rD^4}{4} \omega^2. \quad (17)$$

Разделив переменные, получим выражение для времени движения ряда

$$t_T = -J_0 \int_{\omega}^{\omega_K} \frac{d\omega}{\frac{rD^4}{4} \omega^2}. \quad (18)$$

Решение выражения (18) в общем виде

$$t_T = \frac{4J_0(\omega - \omega_K)}{rD^4 \omega \omega_K}. \quad (19)$$

Учитывая выражение (11), получим выражение для угла разворота ряда при свободном торможении

$$\varphi_T = \frac{4J_0}{rD^4} \int_{\omega}^{\omega_K} \frac{d\omega}{\omega}. \quad (20)$$

Решение уравнения (20)

$$\varphi_T = \frac{4J_0}{rD^4} \ln \left| \frac{\omega_K}{\omega} \right|. \quad (21)$$

Используя выражения (15) и (21), запишем

$$\frac{2J_0}{rD^4} \left(\ln \frac{M_{II}}{M_{II} - \frac{rD^4}{4} \omega^2} + 2 \ln \frac{\omega_K}{\omega} \right) = \frac{\pi}{2}. \quad (22)$$

Данное выражение позволяет определить угловую скорость ω , которой следует прекратить разгон ряда. При этом конечную скорость движения ряда можно принять равной $\omega_K = 0,01$.

Продолжительность разворот ряда составляет

$$t = t_p + t_T. \quad (23)$$

Выражения (10), (15) позволяют определить время и угол разгона ряда до скорости ω , а выражения (19), (21) время и угол торможения ряда от скорости ω до скорости ω_K .

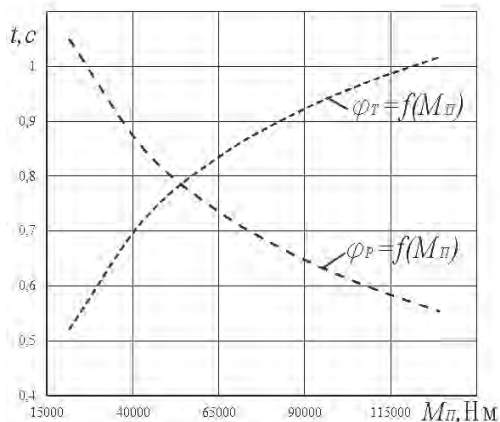


Рис. 2. Зависимости $\varphi_p = f(M_n)$ и $\varphi_T = f(M_n)$

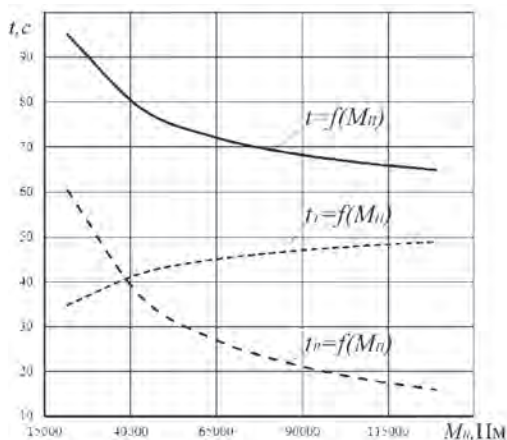


Рис. 3. Зависимости $t_p = f(M_n)$, $t_T = f(M_n)$ и $t = f(M_n)$

На рис. 2, 3 приведены зависимости для определения пути разгона φ_p , торможения φ_T и продолжительности разгона t_p , торможения t_T и разворота t , при условии $L = 20$ м; $B = 6,5$

м; $r = 750 \text{ кг/м}^2$; $J_0 = 220 \cdot 10^5 \text{ кгм}^2$; $M_{II} = 43 \cdot 10^3 \text{ Нм}$, при расчётах принято $\omega_K = 0,01$, что соответствует линейной скорости грани 1–2 ряда 0,2 м/с.

Полученные решения позволяют обеспечить безопасные условия выполнения работ при формировании секций плотов.

Список использованной литературы:

1. Барабанов В.А. Исследование работы машины для формирования плотов конструкции АЛТИ // Науч. техн. конф. / Комплексное использование лесных ресурсов и их воспроизводство на Европейском Севере. – Архангельск, 1979. – С. 75-76.

2. Барабанов В.А. Исследование разворота лесотранспортной единицы при неуставившемся режиме движения // Химико–лесной комплекс: проблемы и решения: материалы Всерос. конф. Красноярск, 2002. С. 71–76.

3. Барабанов В.А. Экспериментальное исследование разгона лесотранспортных единиц при развороте / Барабанов В.А., Сувор Г.Я. / Арханг. гос. техн. ун–т. Архангельск, 2008. – 7с. Деп. ВИНТИ, 22.10.2008, №808 – В 2008

4. Ватлина Я.В., Сувор Г.Я. Результаты исследования сопротивления воды движению лесотранспортных единиц // Лесн. журн. 2014 № 2. С. 52-59. (Изв. высш. учеб. заведений).

5. Штаборов Д.А., Барабанов В.А., Рымашевский В.Л. Результаты экспериментальных исследований по разгону моделей линеек из плоских сплотовых единиц // Лесн. журн. 2014 № 4. С. 44-51. (Изв. высш. учеб. заведений).

© Г.Я. Сувор, В.А. Барабанов, Д.А. Штаборов, 2015

УДК 621

М.А. Федоренко

д.т.н., проф. кафедры «ТМ»
БГТУ им. В.Г. Шухова

Ю.А. Бондаренко

д.т.н., проф. кафедры «ТМ»
БГТУ им. В.Г. Шухова
г. Белгород, Российская Федерация

РАЗРАБОТКА РЕШЕНИЙ ИЗМЕНЕНИЯ КОНСТРУКЦИИ ПЕЧНЫХ АГРЕГАТОВ С ЦЕЛЬЮ УВЕЛИЧЕНИЯ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

В промышленности строительных материалов для производства клинкера применяются печи с рекуператорными холодильниками (см. рис. 1). Эти печи по конструктивному исполнению сложнее, чем печи с колосниковыми холодильниками, но имеют меньшие габаритные размеры и меньшую стоимость, в связи с тем, что колосниковые холодильники дорогие и на предприятиях, использующим их, занимают большие

помещения. Основным недостатком печей с рекуператорами является проблема регулирования количества и качества поступающего воздуха через рекуператоры в печь.

В процессе эксплуатации печей с рекуператорными холодильниками могут возникать различные дефекты, такие как прогары или трещины рекуператоров, деформация корпуса рекуператора в результате нагрева (рис. 2, 3). Замена рекуператора представляет собой дорогой и длительный процесс. В условиях рыночных отношений при росте цен на сырье, оборудование, энергоносители необходимо, чтобы эксплуатируемое оборудование длительное время сохраняло работоспособность, при увеличении выпуска продукции. Подлинное техническое состояние печей с рекуператорами не всегда удовлетворяет этим требованиям. Поэтому необходима модернизация печей с установкой новых рекуператоров, обеспечивающих соблюдение технологического процесса обжига клинкера при увеличении его выпуска, а так же частичное расширение корпуса печи. Для этого необходимо решить ряд конструкторских и технологических задач.



Рис. 1. Печи с рекуператорами

При проектировании цементных вращающихся печей, применяемых для производства клинкера, не учитываются климатические условия их эксплуатации.



Рис. 2. Прогар корпуса рекуператора

Климатические показатели оказывают одно из основных влияний на производительность, расход энергоресурсов и надежность оборудования для производства цемента, в связи с тем, что многие агрегаты цементных предприятий эксплуатируются не в помещениях, а под открытым небом.

Например, на цементном заводе г. Каспи при эксплуатации цементной печи с габаритными размерами 4х150 м с рекуператорами, производительностью примерно 33 т/ч, постоянно фиксировался повышенный расход газа на изготовление (обжиг) клинкера, наблюдалось появление дефектов в виде трещин на рекуператорах, особенно в зимнее время, отмечалась высокая температура 220...250°C выходящего клинкера практически круглый год. В результате печь длительное время находилась в ремонте из-за восстановления рекуператоров и транспортеров клинкера.



Рис. 3. Трещины корпуса рекуператора

При проведении исследований потери работоспособности печей с рекуператорными холодильниками было установлено, что при проектировании и производстве печи не учитываются климатические условия эксплуатации. Например, Каспский цементный завод находится в горах на высоте примерно 800 метров над уровнем моря. В зимний период температура воздуха на территории предприятия в дневное время может достигать до +20°C и выше, а ночью опускаться до -15°C в связи с тем, что долина окружена горами, покрытыми снегом. Смена температуры происходит очень быстро в утренние и вечерние часы. При ясной погоде, которая бывает большую часть суток в течении года, цементная печь находится под прямыми солнечными лучами, что значительно повышает температуру рекуператоров. Особенности климатических условий оказывают значительное влияние на плотность и температуру воздуха, поступающих в рекуператоры. Дымосос печи обеспечивает расход воздуха до 450 м³/мин при нормальном атмосферном давлении, таким образом, он должен обеспечивать коэффициент избытка воздуха $\alpha=1,05...1,25$. Следовательно, в виду того, что цементный завод находится над уровнем моря на высоте 800 м, это ведет к изменению давления, плотности, теплоемкости, вязкости и теплопроводности, при этом коэффициент избытка воздуха может быть меньше 1,0. Все вышеперечисленные изменения атмосферного воздуха ухудшают химико-физические процессы, возникающие при эксплуатации печи. В летний период солнечные лучи нагревают дополнительно корпус печного агрегата на 70...80°C. По результатам обследования печей цементного завода г. Каспи было установлено: из-за пониженного атмосферного давления перепад давления между атмосферным воздухом и разрежением в печи меньше, чем в обычных условиях, поэтому объем поступающего в печь воздуха меньше требуемого объема, необходимого для обеспечения полного сгорания топлива;

уменьшение плотности воздуха приводит к ухудшению теплоемкости и теплопроводности, а, значит, уменьшению скорости остывания клинкера, вследствие чего воздух недостаточно прогревается в рекуператорах, и возникает необходимость его подогрева в печи, следовательно, увеличивается расход газа и уменьшается полнота его сгорания; уменьшение вязкости воздуха происходит из-за сухого климата, это ухудшает теплообмен и теплопроводность, а в общем случае, ухудшается теплосъем с клинкера; значительные перепады ночных и дневных температур в зимнее время приводят к появлению трещин в горячей части рекуператоров.

Предлагаемая модернизация печи должна была обеспечить: охлаждение клинкера до $90^{\circ} \dots 120^{\circ}\text{C}$; снижение вероятности разрушения транспортеров из-за высокой температуры клинкера; обеспечение оптимального контакта клинкера с воздухом, поступающим в рекуператоры; обеспечение прогрева воздуха с целью устранения дополнительного расхода газа; уменьшение расхода газа, необходимого для производства клинкера; устранение появления трещин на рекуператорах; увеличение производительности и объема выпуска продукции.

В процессе эксплуатации печного агрегата происходит искривление оси вращения корпуса. Это один из самых трудно устранимых дефектов, влияющих на работоспособность крупногабаритного вращающегося оборудования. В результате искривления оси вращения возникают колебания и вибрации не только корпуса печи, но и всего печного агрегата и бетонных опор, что приводит к разрушению футеровки, и как результат, продолжительным простоям печи в ремонте. Искривление оси вращения происходит в связи с неправильной установкой роликоопор, бандажей, а так же температурных перепадов внутри печи. Корпус печи легко подвергается деформациям, связи с тем, что при большой длине (до 250 м) и значительном диаметре (до 7 м), толщина обечайки находится в пределах до 100 мм. Установка корпуса на ось занимает продолжительное время и требует высокой квалификации специалистов. Существующий технологический процесс установки печного агрегата на ось не совершенен, так как печь должна устанавливаться на ось вращения в холодном состоянии, а при разогреве начинает деформироваться.

В виду того, что вращающиеся обжиговые и сушильные печи изготавливаются без учета климатических условий, слабым местом всех печей является возникновение биения из-за потери геометрической формы несущих и опорных узлов, большие проблемы создает искривление оси вращения агрегата и проблемы ее выравнивания, а так же отсутствие уплотнительных устройств, обеспечивающих в значительной мере экономию энергоресурсов [5, 17].

Вращающийся корпус цементного печного агрегата состоит из цилиндра, выполненного из стали с внутренней огнеупорной футеровкой, бандажей с подбандажными поясами и башмаками, венцовой шестерни, элементов уплотнений и других. В связи с внедрением в цементной промышленности вращающихся печных агрегатов диаметром до 7 м и более возросли требования, предъявляемые к металлу при их изготовлении. Оболочку вращающихся агрегатов сваривают из отдельных элементов - обечаек длиной 2...6 м и толщиной 20 ... 120 мм. Торцы обечаек предварительно чисто

отрезают газорезкой или обрабатывают на кромкострогальном станке. Для повышения жесткости, особенно у опор и в зоне возникновения высоких температур на оболочке с наибольшим тепловым зазором устанавливают кольца жесткости,

Обечайки, изготавливаемые из листовой стали ВМСтЗ и М16С, в процессе эксплуатации длительное время и непрерывно подвергаются циклическим знакопеременным (растягивающим и сжимающим) нагрузкам при температурах ниже -30°C (зимой при открытой установке печного агрегата) и выше $+350...+400^{\circ}\text{C}$ (на участке зоны спекания). При длительной эксплуатации обечайки, удерживающие хрупкую футеровку, должны иметь не только достаточную прочность, но и высокую жесткость, т.е. их кольцевые сечения не должны изменяться по всей длине.

Многие проблемы, возникающие при эксплуатации печи, можно решить путем установки печи на ось в горячем состоянии. В связи с этим возникает необходимость разработки новых принципов организации технического обслуживания и ремонта оборудования, которые позволят не только восстанавливать утраченную работоспособность, но и значительно повысить эффективность эксплуатации оборудования производства цемента, за счет увеличения межремонтного периода и сокращения времени простоев оборудования в ремонте, а также путем модернизации увеличить производительность и надежность.

При организации ремонта и модернизации оборудования для объективной оценки его технического состояния следует предусмотреть систематическую компьютерную диагностику действующего оборудования с использованием технических средств диагностирования. Применение прогрессивных методов восстановления изношенных поверхностей деталей и внедрение современных упрочняющих технологий позволит значительно сократить межремонтный период. Повышение эксплуатационных характеристик восстановленных деталей при организации ремонта возможно за счет применения различных покрытий и комбинированных методов обработки. Повышение работоспособности узлов и механизмов оборудования становится реальной на основе реализации эффективных конструкторско-технологических мероприятий и позволит не только осуществить качественный ремонт, но также провести экономически выгодную модернизацию оборудования с минимальными капиталовложениями и с учетом требований современной инфраструктуры.

Вращающиеся клинкерные печи относятся к крупногабаритному оборудованию, для надежной работы которого первоочередное значение имеет обеспечение пространственного положения исполнительных механизмов. Контроль надежности работы этого оборудования практически не производится, а все отклонения в работе оборудования устраняются оперативными мероприятиями во время остановки на плановый или неплановый ремонт. Отсутствует единая систематизация причин формирования отклонений и методов их компенсации.

Одной из проблем ремонта вращающегося оборудования производства цемента является то, что в его состав входит большое количество крупногабаритных деталей, которые во многих случаях нельзя восстановить в условиях эксплуатации, вследствие чего возникает необходимость их демонтировать и отправлять для ремонта на машиностроительное

предприятие. Однако слабая техническая оснащенность ремонтного производства сдерживает применение прогрессивных технологий ремонта оборудования. Поэтому требуется разработка эффективных конструкторско-технологических мероприятий по созданию оборудования, обеспечивающего восстановление деталей на месте их эксплуатации [7, 10, 12, 13, 18...21, 23].

Анализ технико-экономического состояния цементных заводов показал, что практически отсутствуют резервы для увеличения выпуска продукции. Один из способов – это модернизация оборудования, которая может ускорить технологический процесс, уменьшить расход энергоносителей, повысить надежность оборудования и позволит увеличить выпуск клинкера. Сущность данной модернизации – местное увеличение проходного сечения печи, т.е. ее расширение с целью интенсификации технологического процесса [6, 8, 9, 11, 15].

Исследования движения материала внутри печи показали, что скорость движения на различных ее участках переменная. Скорость движения материала зависит от конструкции печи и от количества оборотов. Время пребывания материалов в различных печах: от 1 часа 20 мин до 2 часов 52 мин, что соответствует скорости оборотов печи от 0,92 до 1,2 об/мин, а смещение материала на один оборот находится в пределах 1,16...1,93м. Движение материала во вращающихся печах характеризуется не только числом оборотов и наклоном печи, оно определяется физико-химическим состоянием материала гранулометрическим составом, влажностью материала, интенсивностью газовыделения, пиропластическим состоянием расплава и др. Значительное влияние на колебания скорости движения материала в печи оказывает не соблюдение технологических процессов обжига клинкера: изменения температур материала и газового потока, различие скорости вращения печи, количества и свойств подаваемого в печь шлама, а также физико-химических свойств обжигаемого материала. Изменение параметров процесса, в свою очередь, вызывает изменение скорости протекания процессов испарения, гранулообразования, разложения природных минералов, образования промежуточных и основных клинкерных материалов. Именно это, в первую очередь, определяет расположение технологических зон. Известно, что исходя из исследований скоростей движения материала по длине печи, местным изменением диаметра печи можно влиять на скорость протекания технологических процессов в определенных зонах, вследствие чего выравнивается скорость движения материала [14, 16, 24].

Увеличение диаметра корпуса вращающейся цементной печи приводит к увеличению внутренней поверхности и объема печи, повышая производительность по удельному съему клинкера с единицы поверхности. Удельный съем клинкера с 1 м³ объема печи незначительно снижается, но в целом производительность печи возрастает. Увеличение диаметра корпуса печи может производиться расширением зоны спекания, расширением загрузочного конца печи, расширением разгрузочного и загрузочного концов печи. Выбор оптимального варианта обуславливается рядом факторов и технологических особенностей в работе конкретной печи. Например, расширение разгрузочного конца печи должно сопровождаться оснасткой этой зоны эффективными теплообменными устройствами, которые могли бы обеспечить тепловую подготовку материала снижении

теплонапряженности зоны спекания, а так же принятия мер против пылеуноса и т.д. Таким образом, производительность печи увеличивается, а расход условного топлива на тонну клинкера уменьшается. Для расширения корпуса печи можно использовать бандаж, находящиеся в эксплуатации или из резерва запасных частей. Обечайка печного агрегата должна быть новой.

Известны несколько вариантов замены насадного бандаж на ввариваемый.

Вариант 1: проточка торцов бандаж и канавки под установку и варку новой обечайки на работающем бандаже; демонтаж подбандажной обечайки вместе с бандажом; снятие бандаж со старой обечайки печи; варка «крыльев» новой обечайки с обоих торцов бандаж; монтаж бандаж с новой обечайкой на опору и состыковка с корпусом печи.

Вариант 2: демонтаж старой обечайки вместе с бандажом и снятие бандаж со старой обечайки; механическая токарная обработка бандаж на стенде с целью получения канавок под сварку; варка «крыльев» новой обечайки с обоих торцов бандаж; монтаж бандаж с новой обечайкой на опору и сборка (состыковка) с корпусом печи.

Вариант 3: демонтаж подбандажной обечайки вместе с бандажом; монтаж бандаж с новой обечайкой на опору и состыковка с корпусом печи (обработка пазов и варка «крыльев» в бандаж должна производиться до остановки печи на модернизацию).

Вариант 4: типовой вариант замены бандаж с подбандажной обечайкой.

Естественно, что гораздо предпочтительней выглядят варианты 3 и 4. Кроме того, затраты времени на замену насадного насадного бандаж на вварной составляет соответственно 105,7 ч и 102,5 ч, против 203 ч и 215,7 ч для вариантов 1 и 2 [23].

На рис. 4, 5 приведены схемы соединения бандаж с обечайкой цементной печи. Схемы учитывают наличие бандажей и обечаек на предприятии. Известно, что на проведение технологических процессов сварки секций необходимо соблюдать следующие допуски:

- а) смещение кромок листов и местные выступы внутри корпуса до 0,1 толщины свариваемого материала, но не более 3мм;
- б) неперпендикулярность торцевых плоскостей секций (блоков) к оси до 2 мм;
- в) неплоскостность торцов обечаек до 2 мм на длине 15% и 3 мм на длине 10% окружности;
- г) непрямолинейность оси до 5 мм при длине секции 12 м и 8 мм при длине более 12 м.

Поэтому необходимо решить вопрос об обработке бандажей под варку обечайки.

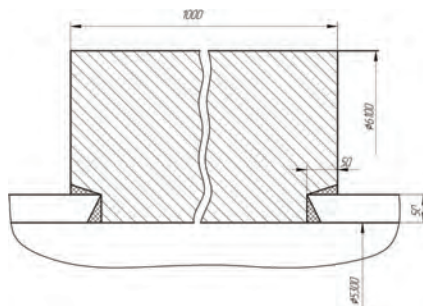


Рис. 4. Схема стыка бандаж – обечайка

Перед началом проведения работ следует провести контроль пригодности бандажа для обработки и дальнейшей эксплуатации.

Бандажи должны отвечать ТУ ОСТ 22-170-87 «Бандажи вращающихся печей» пункт 2.21. Этот пункт определяет критерии предельного состояния бандажей при замене при возникновении следующих дефектов:

- износ более 0,1 толщины тела бандажа в радиальном направлении;
- выкрашивание более 0,1 толщины тела бандажа в радиальном направлении;
- выкрашивание более 0,1 площади всей опорной поверхности;
- наличие трещин более 3 штук и глубиной более 0,25 радиального сечения тела бандажа каждая;
- расположение трещин на расстоянии менее 1000 мм друг от друга.

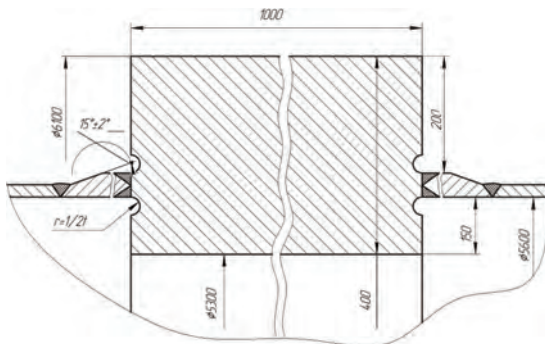


Рис. 5. Схема стыка бандаж – обечайка

В случае использования бандажей, находящихся в эксплуатации, т.е. на рабочей печи, которую планируют поставить на расширение, их обработку можно производить, не останавливая печь. После остановки печи на капитальный ремонт, бандаж снимают с печи и производят сварку новой обечайки.

Некоторые заводы имеют резервные бандажи, и поэтому обработку бандажей при их ремонте производят на специальном стенде с применением специальных станков. Для всех вариантов обработки в качестве режущего инструмента используют резцы с режущими пластинками из твердого сплава марки Т5К10. Поскольку, исходя из априорной информации, именно эти марки твердосплавных пластинок дают наибольшую стойкость режущего инструмента при прочих равных условиях. При этом наиболее оптимальными геометрическими параметрами режущей части с точки зрения стойкости режущего инструмента и шероховатости получаемой поверхности являются: главный угол плана $\varphi = 45^\circ$; передний угол $\gamma = -5^\circ \dots -15^\circ$; угол наклона главного лезвия $\lambda = 0^\circ \dots 5^\circ$; радиус при вершине $r = 3 \dots 4 \text{ мм}$. Обработка торцевой поверхности бандажа совершается левым или правым отогнутым резцом в следующей последовательности: удаление «гриба раскатки» на торцевой поверхности бандажа; обработка фасонной кольцевой канавки необходимого профиля; разделка кромок бандажа под сварку. Для обработки поверхности катания

бандажа следует переустановить суппорт с резцедержателем так, чтобы он оказался в подбандажном пространстве с проходным резцом расположенным вертикально. После этого устанавливается необходимая глубина резания, и выполняется обработка бандажа. Таким образом, частичное расширение корпуса печи, позволяет ускорить протекание технологических процессов обжига клинкера в зонах, которые сдерживают скорость процесса обжига. Известно специальное оборудование, которое позволяет обрабатывать бандажи под вставку корпуса печи в условиях эксплуатации без остановки процесса производства продукции.

Колоссальный объем внутреннего рынка России позволяет отнести промышленность производства строительных материалов, в особенности цементную промышленность к числу приоритетных отраслей. Производство цемента характеризуется значительным потреблением энергетических ресурсов. Как было показано выше, особенно чувствительными к внешним условиям являются печи с рекуператорными холодильниками, т.к. они не имеют механизмов воздействия на процессы, происходящие в тракте корпуса печи, в результате чего все технико-экономические показатели зависят от внешнего воздействия. На основании анализа особых климатических условий в зоне эксплуатации цементных печей было установлено, что основной причиной их низкой производительности является недостаток объема воздуха, обеспечивающего полное сгорание топлива. Быстрое прохождение по рекуператорам не обеспечивало охлаждение клинкера и прогрев воздуха, в итоге чего прогорали рекуператоры и транспортеры, а на подогрев воздуха требовался дополнительный газ [23].

Были проведены расчеты технических данных печей и установлено, что необходимо увеличить объем рекуператорных холодильников, длину корпуса печи в районе холодильников, и в связи с увеличением длины и массы печи поставить дополнительную опору и ввести дополнительное оборудование для обслуживания печи.

На рис. 6 показана часть печи (новая конструкция), которая по проекту должна была быть установлена с целью обеспечения работоспособности печи в условиях высокогорья.

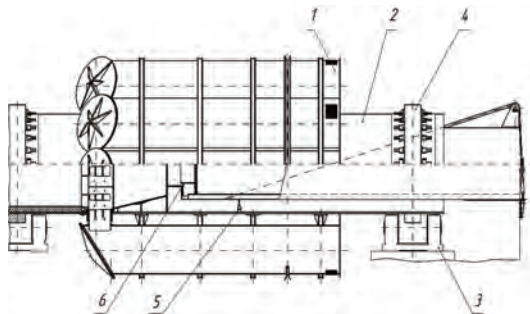


Рис. 6. Модернизированная печь с рекуператорами:

- 1 - рекуператор; 2 - удлиненный корпус печи; 3 – дополнительная опора;
- 4 - дополнительный бандаж; 5 – опора; 6 - уплотнительные устройства;
- 7 – коридор

Для достижения этой цели, в соответствии с теплотехническими и конструктивными расчетами, было необходимо увеличить диаметр и длину рекуператоров 1 (рис. 6) до размера 2х13, удлинить корпус печи 2 до 26м, установить дополнительную опору 3, состоящую из роlikоопоры и бандажа 4. Внутри корпуса следовало установить технологический коридор 7 для обслуживания печи, уплотнительные устройства 6 и опору 5, поддерживающую коридор.

Для обеспечения работоспособности такой конструкции цементной печи был проработан комплекс технологических вопросов. При комплектации сборки новой конструкции были использованы все узлы и детали, изготовленные по имеющимся технологиям и проверенные на точность и качество изготовления в условиях цементного завода. Была разработана технология сборки, с учетом составленных размерных цепей. Одним из значимых условий сборки является установка корпуса удлиненной части на теоретическую ось вращения. Были определены технологические цепи для выверки монтажа (рис. 7), в которых рассмотрены связи поверхностей вращения с теоретической и фактической осями вращения цементной печи, а также величины, определяющие поворот осей и поверхности качения бандажей и роликков, и отклонения от соосности бандажей [22]. Это позволило определить точность монтажа корпуса.

В связи с тем, что дополнительный корпус удлинен, он испытывает большие нагрузки от удлиненных рекуператоров, а опорные узлы соответственно удалены друг от друга, то возможно возникновение изгиба корпуса и смещение рекуператоров. Величины изгиба корпуса и смещение рекуператоров необходимо знать, чтобы определить работоспособность модернизации [2].

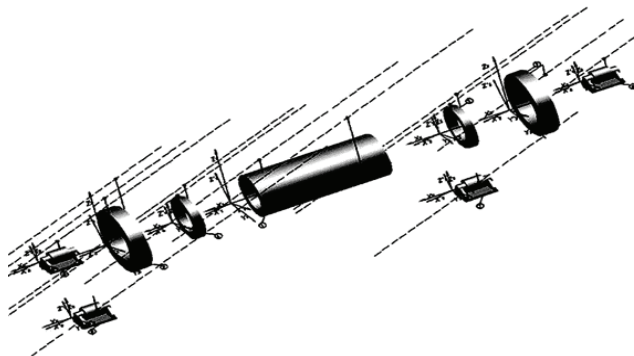


Рис. 7. Технологические цепи для монтажа печи

Определив величины погрешности углового смещения рекуператоров, можно установить центр тяжести системы и его влияние на корпус. Рекуператоры должны быть расположены на равном расстоянии от оси вращения (в горизонтальной плоскости), в вертикальной плоскости рекуператоры также должны быть установлен на одинаковом расстоянии друг от друга.

На рис. 8 приведена схема расчета погрешностей при монтаже рекуператоров на корпусе цементной печи. Расчет дает возможность определения положения рекуператоров для вычисления центра тяжести системы по нижеприведенным формулам:

- угловое положение рекуператора, от которого ведут отсчет:

$$\varepsilon_{\beta} = \arctg \frac{\Delta \sin \beta}{2R \sin \frac{\alpha}{2}},$$

- положение оси рекуператора относительно теоретического радиуса базирования на корпусе печи:

$$\varepsilon_R = \frac{\Delta D \cos \beta}{2 \sin \frac{\alpha}{2}},$$

- погрешность базирования рекуператоров относительно корпуса печи:

$$\varepsilon_l = \frac{\Delta D \cos \beta}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} + \frac{\Delta d}{2} + x,$$

- угловая погрешность базирования рекуператоров в зависимости от угла их расположения:

$$\varepsilon_{\Sigma\beta} = \arctg \frac{\Delta D \sin \Sigma\beta}{2R \sin \frac{\alpha}{2}}.$$

Удлиненный корпус набирается из шестиметровых секций (колец), которые предварительно сварены на стапелях, и один конец корпуса вставляется в обечайку, вваренную в бандаж с целью усиления сопряжения, т.е. если соединение рассматривать с точки зрения технологии сборки, оно сходно по базированию соединению втулки с валом, следовательно, можно использовать расчетную схему [3, 4].

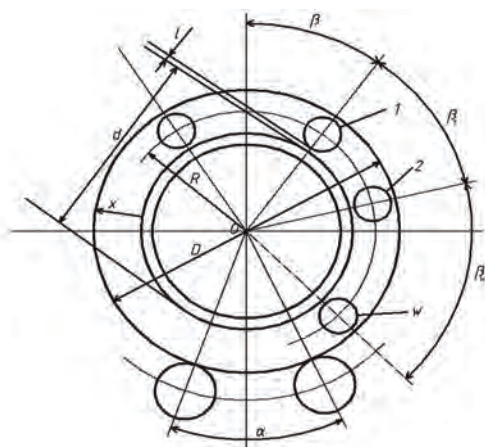


Рис. 8. Определение погрешности базирования рекуператоров

Для соединения модернизированных корпусов при движении в направлении A (рис. 9) необходимо, чтобы смещение ε оси и относительный поворот $\frac{a}{L}$ осей не препятствовали этому соединению. Следовательно, что условием собираемости корпусов следует считать неравенство:

$$\varepsilon_{\max} + a_{\max} \leq \Delta_{\min},$$

где $\Delta_{\min}$ - минимальный зазор между корпусами.

Требуемое положение соединяемых деталей обеспечивается их базированием. Базируем соединяемые конструкции в системе XOZ , как показано на рис. 9, считая, что в исходном положении конструкции находятся в состоянии покоя. Для сообщения модернизируемому корпусу движения в направлении A необходимо геометрическую связь, символизируемую опорной точкой 5, заменить кинематической связью. Выбор баз приводит к возникновению размерных связей соединяемых деталей с избранной системой координат отсчета, а требования к их относительному положению определяют значения параметров замыкающих звеньев соответствующих размерных цепей [3]. Применительно к корпусам рис. 9, б это будут размерные цепи A и β : $A_{\Delta} = 0$, $\delta_{A_{\Delta}} = \varepsilon_{\max}$, $\Delta_{O_{A_{\Delta}}} = 0$, и $\beta_{\Delta} = 0$, $\delta_{\beta_{\Delta \max}} = a_{\max} / L$, $\Delta_{O_{\beta_{\Delta}}} = 0$.

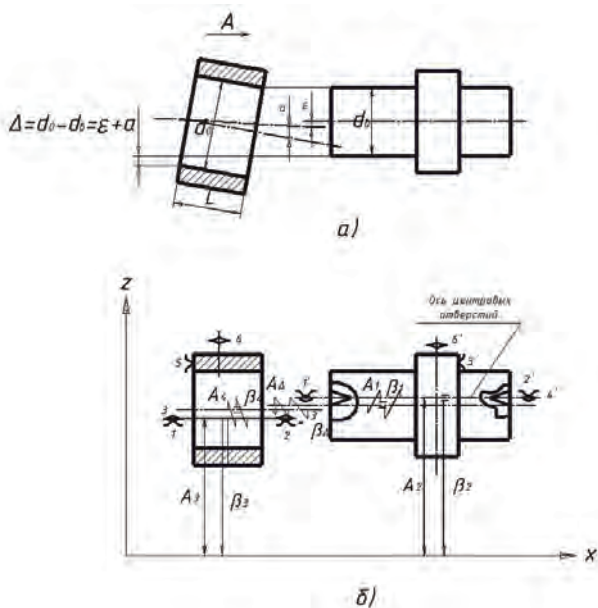


Рис. 9. Базирование корпуса при стыковке с бандажом

На примере соединения корпусов проанализируем физический смысл составляющих звеньев составленных размерных цепей.

Звенья A_1 , A_4 и β_1 , β_4 определяют точность базирования соединяемых деталей, которое необходимо осуществить с помощью устройств. Звенья A_2 , A_3 и β_2 , β_3 показывают, какое положение должны занимать базирующие устройства. Размерные цепи A и β устанавливают требования к точности соединяемых деталей, базирующих устройств. В большинстве случаев автоматическое соединение деталей невозможно без компенсации отклонений в их относительном положении, придаваемом им устройствами. Например, для соединения корпуса с валом без зазора при его движении только в направлении A потребовалось бы обеспечивать абсолютную соосность отверстия в корпусе с валом, что привело бы к невозможности выполнения условия $\varepsilon + a = 0$. Условия собираемости деталей могут быть оптимизированы, если в момент соединения деталей создать возможность регулирования их положения. Например, регулированию положения корпусов при установке на вал могли бы способствовать фаски, образующие в момент сопряжения деталей клиновую пару, обеспечивающую центрирование корпуса на валу. При ширине фасок b условие собираемости деталей расширится и будет представлено неравенством:

$$\varepsilon_{\max} + a_{\max} \leq \Delta_{\min} + b.$$

Однако при этом необходимо учесть, что для исключения возможности заклинивания соединяемых конструкций, угол поворота оси отверстия в корпусе относительно оси ступени вала не должен превышать значения γ . Допустимое значение угла γ зависит от соотношения параметров фасок и размеров поверхностей, по которым осуществляется сопряжение изделий. Формулы для определения угла γ известны [1].

Для хорошего перемешивания клинкера и контакта с проходящим через рекуператоры воздухом, внутри рекуператоров расположено большое количество пересыпающих полок (рис. 10), которые захватывают клинкер и поднимают вверх, после чего он осыпается вниз. Во время прохождения клинкера через рекуператор происходит теплоотдача от него не только в стены рекуператора, но и в проточный воздух при падении клинкера с полок, в результате длительного теплообмена клинкер – воздух – полки – стенка рекуператора осуществляется быстрое охлаждение клинкера и хороший прогрев воздуха. Быстрое охлаждение клинкера определяет большую начальную прочность цементов благодаря повышению содержания в них $3CaO - SiO_2$. Увеличение прочности при низком коэффициенте насыщения клинкеров больше, чем при высоком. Быстроохлажденный клинкер, содержащий стекло, более хрупок, чем кристаллический, и поэтому легче (примерно на 20...30%) поддается размолу. Клинкер, падая с верхних полок и ударяясь о нижние полки и корпус рекуператора, дополнительно растрескивается и, таким образом, уменьшается расход электроэнергии при помоле. В связи с изменением размеров рекуператоров, количество охлаждающего воздуха увеличилось в 5...6 раз, а расход дымососов остался прежний, следовательно, понизилась скорость прохождения воздуха через рекуператоры, увеличился его прогрев и уменьшился перепад температур воздух – стенка рекуператора, он практически остается постоянным, в результате чего прекращается растрескивание рекуператоров.

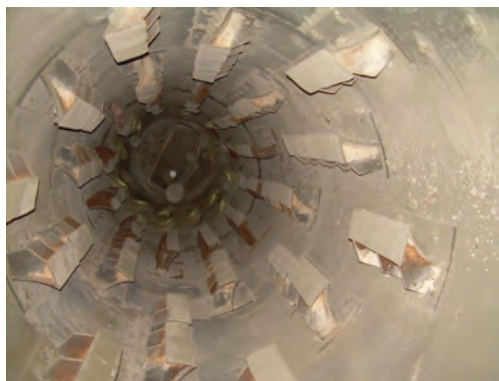


Рис. 10. Внутренний вид рекуператора

Увеличение размеров рекуператоров, размещение их на печи обусловило удлинение корпуса в районе расположения рекуператоров. Увеличение длины корпуса печи было произведено установкой усиленной обечайки и дополнительной опорой, на которую опирается бандаж модернизированной печи. В связи с удлинением корпуса печи на 23 м, внутри его сконструирован специальный подвесной металлический коридор на тросовой подвеске, который обеспечивает доступ машиниста в зону уплотнительного устройства и к смотровому окну для наблюдения за технологическим процессом, протекающим в печи.

Основные преимущества модификации печи следующие: клинкер производится абсолютно однородным за счет разлома гранул; разломанный клинкер быстрее охлаждается и, следовательно, повышается степень теплообмена; снизилась температура на выходе клинкера из рекуператоров до $90 \dots 100^{\circ}\text{C}$; повысилась температура воздуха за счет его медленного движения, в связи с этим уменьшился расход газа; разломанный клинкер имеет больше структурных дефектов, лучше разламывается, уменьшается расход электроэнергии на его помол. Внедрение данной конструкции вращающейся цементной печи с увеличенными размерами рекуператорных холодильников и удлиненным корпусом печи позволяет подавать в печь достаточно прогретый воздух, без наличия выгорания кислорода, а, следовательно, происходит экономия расхода газа на производство клинкера. Медленное движение воздуха (10 м/сек) в рекуператорах обеспечивает хороший отвод тепла от клинкера, чем обеспечивается необходимое его охлаждение и прогрев корпуса рекуператоров, в результате чего не разрушается цепной транспортер, т.к. температура клинкера низкая и предотвращается растрескивание рекуператоров вследствие их постоянного равномерного прогрева и как следствие увеличивается межремонтный период, а, следовательно, увеличивается производительность печи. Большие размеры рекуператоров позволяют механизировать работу по замене футеровки, в результате чего сокращается время простоя печи в ремонте.

Выявленные закономерности потери работоспособности печи с рекуператорами в зависимости от климатических зон, позволили разработать новую конструкцию печи, обеспечивающую высокие технико-экономические показатели.

Список использованной литературы:

1. Авдулов, А.Н. Построение среднеквадратической базовой поверхности для оценки погрешности формы поверхности произвольного вала./ А.Н. Авдулов, В.Г. Шустер//В кн.: Автоматическое управление точностью на металлорежущих станках. – Л.: ЛДНТП, 1981, С.19-24.
2. Беседин, П.В. Исследование и оптимизация процессов и технологии цементного клинкера [Текст]/ П.В. Беседин, П.А. Трубаев; Под общ. ред. П.В. Беседина – Белгород: Изд-во БелГТАСМ, БИЭИ, 2004.- 420 с.
3. Гусев, А.А. Технология машиностроения (специальная часть) [Текст]: учебник для машиностроит. специальностей вузов / А.А. Гусев, Е.Р. Ковальчук, И.М. Колесов и др. – М.: Машиностроение, 1986. – 480 с.
4. Гусев, А.А. Технология машиностроения (специальная часть) [Текст]/ Гусев А.А., Ковальчук Е.Р., Колесов И.М. и др. Учебник для машиностроительных специальностей вузов. – М.: Машиностроение, 1986. – 480 с.
5. Пат. 2346220 Российская Федерация, F27B 7/22. Способ обеспечения точности установки обжиговой печи относительно теоретической оси вращения / Федоренко М.А., Бондаренко Ю.А.; заявитель и патентообладатель: БГТУ им. В.Г. Шухова. - № 2007126138/03, заявл. 09.07.2007, опубл. 10.02.2009 г. Бюл. № 4.
6. Пат. 71745 Российская Федерация, МПК F27B 7/00. Цементная вращающаяся печь с рекуператорными холодильниками [Текст]/ М.А. Федоренко, Ю.А. Бондаренко; заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова.- № 2007115831/22; заявл. 25.04.2007, опубл. 20.03.2008 г. Бюл. № 8.
7. Пат. 96043 Российская Федерация, МПК B23B5/00. Передвижной фрезерный станок для обработки крупногабаритных деталей кольцевой формы / Федоренко М.А., Санина Т.М., Бондаренко Ю.А.; заявитель и патентообладатель: БГТУ им. В.Г. Шухова. - № 2010110755/22, заявл. 22.03.2010, опубл. 20.07.2010 г. Бюл. № 20.
8. Пат. 106344 Российская Федерация, МПК F27B 7/24. Вращающаяся цементная печь / Аулов В.Г., Федоренко М.А., Бондаренко Ю.А., Санина Т.М.; заявитель и патентообладатель: БГТУ им. В.Г. Шухова. - № 2010145601/02, заявл. 09.11.2010, опубл. 10.07.2011 г. Бюл. № 19.
9. Пат. 121561 Российская Федерация, МПК F 27 B 7/00. Вращающаяся цементная печь / Федоренко М.А., Бондаренко Ю.А., Санина Т.М., Маркова О.В.; заявитель и патентообладатель: БГТУ им. В.Г. Шухова. - № 2012110443/15, заявл. 19.03.2012, опубл. 27.10.12 г. Бюл. № 30.
10. Пат. 132367 Российская Федерация, МПК⁷ B23C 3/00. Передвижной фрезерный модуль для обработки крупногабаритных деталей кольцевого типа/ Федоренко М.А., Севрюгина Н.С., Бондаренко Ю.А., Санина Т.М., Афонин В.Г.; заявитель и патентообладатель: БГТУ им. В.Г. Шухова. - № 2013103949, заявл. 29.01.2013, опубл. 20.09.13 г. Бюл. № 26.
11. Пат. 148628 Российская Федерация, МПК F27B 7/22. Опора вращающейся обжиговой цементной печи / Федоренко М.А., Севрюгина Н.С., Бондаренко Ю.А., Санина

Т.М., Липчанская Ю.Г.; заявитель и патентообладатель: БГТУ им. В.Г. Шухова. - № 2014131652/02 заявл. 30.07.2014, опубл. 10.12.2014 г. Бюл. № 34.

12. Пат. 144693 Российская Федерация, МПК⁷ B23B5/00. Передвижной фрезерный станок для обработки торцов крупногабаритных деталей кольцевой формы / М.А. Федоренко, Ю.А. Бондаренко, Т.М. Санина, О.А. Алтунина // заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова. – № 2014117387/02; заявл. 29.04.2014, опубл. 27.08.2014 г. Бюл. № 24. – 1 с.

13. Федоренко, М.А. Бездемонтажное восстановление крупногабаритных агрегатов/ Федоренко М.А., Санина Т.М., Бондаренко Ю.А., Погонин А.А., Схиртладзе А.Г. - Ремонт, восстановление, модернизация, № 11, 2009 г. С. 11-14.

14. Федоренко, М.А. Исследование процессов выброса клинкерной пыли в атмосферу/ Федоренко М.А., Бондаренко Ю.А., Санина Т.М., Афонин В.Г., Аулов В.Г. - Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова, №5, 2013. с. 76-78.

15. Федоренко, М.А. Лепестковое уплотнительное устройство для цементных вращающихся печей [Текст]/ М.А. Федоренко// Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова, №3, Белгород, изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2007. С. 94-97.

16. Федоренко, М.А. Проблемы повышения эффективности и работоспособности вращающихся агрегатов непрерывного цикла / Федоренко М.А., Бондаренко Ю.А., Аулов В.Г., Маркова О.В., Антонов С.И. - Технология машиностроения, №11, 2014. с. 46-49.

17. Федоренко, М.А. Способ установки обжиговой печи или сушильных барабанов на ось вращения / Федоренко М.А., Бондаренко Ю.А., Санина Т.М., Маркова О.В. - Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова, №5, 2014. с. 110-111.

18. Федоренко, М.А. Станок для обработки торцов прямых и изогнутых труб под сварку / Федоренко М.А., Бондаренко Ю.А., Санина Т.М., Маркова О.В. - Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова, №1, 2015. с. 71-72.

19. Федоренко, М.А. Технология обработки торцов барабанов вращающегося оборудования / Федоренко М.А., Бондаренко Ю.А., Санина Т.М. Афонин В.Г., Антонов С.И. - Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова, № 4, Белгород, изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2013 г. С. 65-66.

20. Федоренко, М.А. Технология восстановления работоспособности опорных бандажей вращающихся цементных печей / Федоренко М.А., Бондаренко Ю.А., Санина Т.М., Маркова О.В. - Ремонт, восстановление, модернизация, №1, 2015. с. 13-15.

21. Федоренко, М.А. Технология ремонта наружных и внутренних поверхностей цилиндрических крупногабаритных деталей опорных узлов вращающегося оборудования/ Федоренко М.А., Бондаренко Ю.А. - В сборнике: Актуальные проблемы технических наук в России и за рубежом. Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. г. Новосибирск, 2015. С. 51-53.

22. Федоренко, М.А. Формирование отклонений пространственного положения рабочих органов вращающегося оборудования / Федоренко М.А. - Технология машиностроения, № 1, 2008. С. 46-48.

23. Федоренко, М.А. Энергосберегающие методы восстановления работоспособности оборудования промышленности строительных материалов / Федоренко М.А., Бондаренко Ю.А., Санина Т.М. - Белгород: Изд-во БГТУ, 2011 г., 162 с.

24. Fedorenko, M.A. Clinker Dust Emissions Elimination in Atmosphere печатная Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences/ M.A. Fedorenko, J.A. Bondarenko, T. M. Sanina, A. P. Smirnyk. - 2014. № 5(5). P. 1549-1554.

© М.А. Федоренко, Ю.А. Бондаренко, 2015

СОДЕРЖАНИЕ

Н.Д. Комарова МЕЛКОЗЕРНИСТЫЕ БЕТОНЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СТЕНОВЫХ КАМНЕЙ ЦЕМЕНТНЫХ	3
Ю.В. Литвинова, Н.Д. Комарова ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССОВ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ ПРИ ТВЕРДЕНИИ МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ БЕТОНОВ НА МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ВЯЖУЩИХ	20
Л.Г. Нигматов, В.Ю. Бибарсов, В.Е. Медведев РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ И ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ И ОТОПЛЕНИЯ В ПОДНАДЗОРНОМ КОРОВНИКЕ ФИРМЫ ООО «ЭНЕРГОАУДИТЭКСПЕРТ - ОГАУ»	34
В.Ю. Радоуцкий, Е.Г. Ковалева, Ю.В. Ветрова СИСТЕМА ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ПРЕДУПРЕЖДЕНИЮ, ЛОКАЛИЗАЦИИ И ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ	47
Т.М. Санина, М.А. Федоренко, Ю.А. Бондаренко ПРИСТАВНЫЕ И ПЕРЕДВИЖНЫЕ ФРЕЗЕРНЫЕ СТАНКИ ДЛЯ РЕМОНТНОЙ ОБРАБОТКИ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ИЗДЕЛИЙ	66
Р.А. Саркисян О ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ИНВАРИАНТАХ НЕСПЕЦИАЛЬНЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ СТРУКТУР	80
Г.Я. Суров, В.А. Барабанов, Д.А. Штаборов ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ	92
М.А. Федоренко, Ю.А. Бондаренко РАЗРАБОТКА РЕШЕНИЙ ИЗМЕНЕНИЯ КОНСТРУКЦИИ ПЕЧНЫХ АГРЕГАТОВ С ЦЕЛЬЮ УВЕЛИЧЕНИЯ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ	106



УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!

Приглашаем Вас принять участие в Международных научно-практических конференциях проводимых нашим центром.

Форма проведения конференций: заочная, без указания формы проведения в сборнике статей;

По итогам конференций издаются сборники статей конференций. Сборникам присваиваются соответствующие библиотечные индексы УДК, ББК и международный стандартный книжный номер (ISBN)

Всем участникам высылается индивидуальный сертификат участника, подтверждающий участие в конференции.

В течении 10 дней после проведения конференции сборники статей размещаются на сайте aeterna-ufa.ru а так же отправляются в почтовые отделения для осуществления рассылки. Рассылка сборников производится заказными бандеролями.

Сборники статей размещаются в научной электронной библиотеке elibrary.ru и регистрируются в наукометрической базе **РИНЦ (Российский индекс научного цитирования)**

Стоимость публикации от 130 руб. за 1 страницу. Минимальный объем-3 страницы

С информацией и полным списком конференций Вы можете ознакомиться на нашем сайте aeterna-ufa.ru

Научно-издательский центр «Аэтерна»

Aeterna-ufa.ru

+7 (347) 266 60 68

info@aeterna-ufa.ru



УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!

**Приглашаем Вас опубликовать результаты исследований в
Международном научном журнале «Инновационная наука»**

Журнал «Инновационная наука» является ежемесячным изданием. В нем публикуются статьи, обладающие научной новизной и представляющие собой результаты завершенных исследований, проблемного или научно-практического характера.

Журнал издается в печатном виде формата А4

Периодичность выхода: 1 раз месяц.

Статьи принимаются до 12 числа каждого месяца

В течении 20 дней после издания журнал направляется в почтовые отделения для осуществления рассылки.

Журнал размещён в научной электронной библиотеке elibrary.ru и зарегистрирован в наукометрической базе РИНЦ (Российский индекс научного цитирования)

Научно-издательский центр «Аэтерна»

Aeterna-ufa.ru

+7 (347) 266 60 68

science@aeterna-ufa.ru

Научное издание

**АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ
ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК:
ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ И ПРАКТИЧЕСКИЙ
АСПЕКТЫ**

КОЛЛЕКТИВНАЯ МОНОГРАФИЯ

В авторской редакции

Подписано в печать 23.09.2015 г. Формат 60х84/16.

Усл. печ. л. 6,30. Тираж 500. Заказ 306.

**Отпечатано в редакционно-издательском отделе
НАУЧНО-ИЗДАТЕЛЬСКОГО ЦЕНТРА «АЭТЕРНА»**

450076, г. Уфа, ул. М. Гафури 27/2

aeterna-ufa.ru

info@aeterna-ufa.ru

+7 (347) 266 60 68