

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Сибирский государственный индустриальный университет»
Архитектурно-строительный институт

**АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ
СОВРЕМЕННОГО СТРОИТЕЛЬСТВА
ПРОМЫШЛЕННЫХ РЕГИОНОВ РОССИИ**

*Труды Всероссийской научно-практической конференции
с международным участием*

18–20 октября 2016 г.

Выпуск 1

**Новокузнецк
2016**

УДК 69+624/628+66/67+72

А 437

А 437 Актуальные вопросы современного строительства промышленных регионов России : труды Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. / Сиб. гос. индустр. ун-т ; под общей редакцией И.В. Зоря, А.Ю. Столбоушкина, А.А. Оленникова. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2016. – 339 с.

ISBN 978-5-7806-0469-3

Материалы сборника подготовлены преподавателями, научными сотрудниками, аспирантами и студентами. Тематика публикаций распределена по четырем разделам: «Инновационные материалы и технологии в строительстве», «Теплогазоводоснабжение, водоотведение, вентиляция, кондиционирование», «Строительные конструкции», «Архитектурное наследие: вчера, сегодня, завтра». Представлены результаты научных исследований и практических работ в области строительства.

Ориентирован на инженерно-технических работников предприятий, научных работников, преподавателей вузов, аспирантов и студентов.

Редакционная коллегия:

д.т.н., проф. Е.В. Протопопов, д.т.н., проф. М.В. Темлянецв,
к.т.н., доц. А.В. Феоктистов, к.т.н., доц. И.В. Зоря,
д.т.н., доц. А.Ю. Столбоушкин, к.т.н., доц. А.А. Оленников

УДК 69+624/628+66/67+72

ISBN 978-5-7806-0469-3

© Сибирский государственный
индустриальный университет, 2016

СЕКЦИЯ 1. ИННОВАЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

УДК 961.42

ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЗОЛЫ УНОСА 9-ГО БЛОКА ФИЛИАЛА ПАО ОГК-2 НОВОЧЕРКАСКАЯ ГРЭС И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Козлов А.В., Захаров Д.А., Животков О.И., Борисенко Ю.В.

*Академия строительства и архитектуры
Донского государственного технического университета
г. Ростов-на-Дону, Россия*

***Аннотация.** В данной статье рассмотрена проблема образования и утилизации золошлаковых отходов ТЭС. Приведены данные об образующихся зольных отходах на 9-м энергоблоке Новочеркасской ГРЭС, рассмотрена возможность применения золы-уноса в области производства строительных материалов. Приведены результаты исследований по использованию сухой золы-уноса в качестве добавки в составе шихты для производства стеновой керамики.*

***Ключевые слова:** золошлаковые отходы, отходы ТЭС, зола-уноса, строительная керамика.*

Россия - один из самых крупных потребителей угля в мире, это связано с необходимостью формирования надежного энергетического баланса страны. Энергетический потенциал страны частично обеспечивается и за счет эксплуатации тепловых электростанций, которые вырабатывают тепловую и электрическую энергию путем сжигания твердых видов топлива, в основном каменный уголь. Существует различные типы тепловых электростанций, работающих на твердом топливе, отличающиеся способом сжигания топлива. На крупных ТЭС сжигание производится в камерных топках предварительно измельченного твердого топлива в пылевидное состояние. При этом по методу сжигания камерные топки бывают факельные и вихревые. По способу удаления образующегося шлака они подразделяются на два типа: с твердым и жидким шлакоудалением.

Новочеркасская ГРЭС вырабатывает тепловую и электрическую энергию за счет факельного сжигания предварительно измельченного твердого топлива в камерных топках. Удаление образующихся продуктов горения осуществляется жидким шлакоудалением. Очистка дымовых газов от твердых частиц (золы-уноса) на станции оснащаются сухим способом в золоуловителях. Собранная зола-уноса по трубопроводу транспортируется в силосные склады хранения.

В рамках программы модернизации энергетической промышленности в июле 2016 г. на станции запущен 9-й энергоблок, принципиально отличающийся от всех работающих. Отличительной особенностью, которой является используемый способ сжигания топлива, который предусматривает более полное выгорание угольных частиц. Образующиеся золошлаковые отходы содержат небольшое количество несгоревшего топлива, при их возвращении топку проходит более полное сжигание. Внешний вид образующихся отходов дают основания предполагать об отличиях их физико-химических свойств от золы, образующихся по традиционной технологии.

Технология сжигания твердого топлива на ТЭС влечет за собой ряд проблем связанных со сбором и складированием образующихся в большом количестве техногенных отходов, которые серьезно загрязняют окружающую среду.

В настоящее время, на территории России хранится в отвалах около 1,4млрд.т. золошлаковых отходов (ЗШО) и с каждым годом это число увеличивается на 26,6 млн. т в год [1]. В то же время утилизируется из них только порядка 18% от общего объема образующихся отходов. Поэтому вопрос утилизации ЗШО с каждым годом становится все бо-

лее острым, так как накопление их в отвалах создает угрозу экологической безопасности населению и стране в целом.

Одно из перспективных направлений утилизации золошлаковых отходов является использование их в производстве строительных материалов.

Накоплен опыт использования зол и шлаков ТЭЦ в производстве портландцемента, пористых заполнителей (керамзит, зольный гравий, аглопорит), золо- и шлакосодержащих бетонов и растворов, силикатных материалов, керамических и плавящихся материалов и других.

Однако, качественные характеристики, ряд из которых регламентируются нормативными документами, некоторые технологическими требованиями производства, определяют направления использования золошлаковых отходов. Поэтому выбор правильных направлений переработки отходов тепловых электростанций надо начинать с изучения их физико-химических свойств.

Изучение химического и минерального состава золы уноса образующейся при сжигании каменного угля в 9-м энергоблоке ПАО ОГК-2 Новочеркасская ГРЭС показало на их существенное отличие от золы уноса образующейся как на ранее эксплуатирующихся блоках этой станции так и на других крупных ТЭС использующих факельный способ сжигания измельченного топлива. Представленные в таблице 1 данные показывают на существенные отличия получаемой золы уноса. Во первых она имеет светло-коричневого цвет, в отличии от традиционного светло или темно серого. Во вторых обращает на себя ее чрезвычайно маленькая насыпная плотность 400 кг/м^3 , которая обычно колеблется в интервале $900 - 1100 \text{ кг/м}^3$. При этом истинная плотность золы находится в традиционном для таких материалов диапазоне $2400 - 2650 \text{ кг/м}^3$. [2] Это свидетельствует о высокой удельной поверхности материала и его развитой микропористой структуре, что чрезвычайно важно в технологии производства многих эффективных и теплоизоляционных строительных материалов. Химический состав мало чем отличается от традиционных зол уноса, разве что пониженным содержанием SiO_2 и повышенным содержанием SO_3 . Обращает на себя

внимание меньшее значение потерь при прокаливании по сравнению с золой получаемой от других энергоблоков.

Минералогический анализ золы показал на присутствие в ее составе кремнистой составляющей в количестве 47%, соединений железа до 10%, карбонатного материала около 2%, чешуек слюды до 1%, глинистого вещества порядка 12% и углистой составляющей около 28%.

Сравнение результатов испытаний с требованиями ГОСТ 25818 «Зола-уноса тепловых электростанций для бетона. Технические условия», ОДМ 218.2.031-2013. «Методические рекомендации по применению золы – уноса и золошлаковых смесей от сжигания угля на тепловых электростанциях в дорожном строительстве» и других нормативных документов показало на возможность ее использование в строительном производстве. Для оценки возможности использования золы уноса 9-го энергоблока ПАО ОГК-2 Новочеркасская ГРЭС в лаборатории керамики кафедры Строительные материалы Академии строительства и архитектуры Донского государственного технического университета были проведены работы по исследованию свойств керамического черепка получаемого из масс с различным ее содержанием. В работе использован суглинок Большелогского месторождения, который характеризуется повышенным значением общей усадки и высокой чувствительностью к сушке.

Таблица 1 – Физико - механические свойства золы уноса получаемой на тепловых электростанциях РФ

Показатели	Наименование станции						
	Новочеркас- ская ГРЭС 9 энергоблок	Новочеркасская ГРЭС 1-8 энергобло- ки	Красноярская ТЭЦ – 1	Гусиноозерская ГРЭС	Рефтинская ГРЭС	Новосибирская ТЭЦ – 5	Челябинская ТЭЦ – 2
	Величина, %						
SiO ₂	45,92	53,82	68,8	52,1	57,7	55,5-65,5	58,42
TiO ₂	0,87	0,91	-	-	-	0,7-0,9	1,73
Al ₂ O ₃	25,9	22,12	6,22	25,9	26,4	15,5-32,5	24,86
Fe ₂ O ₃	9,38	9,77	3,57	6,12	5,56	2-10	6,82
CaO	0,81	3,71	15,2	4,7	2,39	1-10	1,62
MgO	1,35	2,27	3,82	1,48	0,88	0,8-5	2,23
MnO	0,36	0,14	-	-	-	0,1-1	-
K ₂ O	5,29	4,59	0,45	1,34	0,47	2-5	2,50
Na ₂ O	0,93	1,26	0,18	0,75	0,34	1-3	1,09
SO ₃	1,28	0,35	0,93	1,1	0,23	0,7-5	0,30
P ₂ O ₅	0,15	0,23	-	-	-	0,1-3	0,43
п.п.п	7,37	22,8	<0,1	2,18	1,32	3-15	1,48
Истинная плотность кг/м ³	2600	-	2650	2410	1930	-	-
Насыпная плотность, кг/м ³	480	1050	1170	1000	800	750-1151	-
Влажность, %	Менее 1	Менее 1	-	-	-	Менее 1	-
Удельная поверхность, см ² /г	9200	-	2600	6000	2600	3000	-
Ост. на сите 008, %	5,7	7	8	8,7	34,3	Не более 15	-
Внешний вид	Порошок свет- ло-коричневого цвета	Порошок свет- ло- серого цве- та	Порошок светло-серого цвета	Порошок светло- серого цвета	Порошок темно- серого цве- та	-	-

Зола уноса вводилась в формовочные массы в количестве 10%, 20%, 40%, 60% по объему, получаемая шихта доводилась до нормальной формовочной влажности и после вылеживания в течение 48 часов из нее изготавливались лабораторные образцы в виде кубиков, кирпичиков и белочек. После сушки на образцах определялась воздушная усадка, а затем они обжигались по режиму рекомендуемому Методическими указаниями по испытанию глинистого сырья с максимальной температурой 980 °С.[3,4] Полученные после обжига образцы испытывались с целью определения огневой усадки, средней плотности, водопоглощения, прочности при сжатии и изгибе. Результаты определения физико-механических свойств приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты испытаний керамических образцов

Состав массы, % по объему		Формовочная влажность, %	Воздушная усадка, %	Общая усадка, %	Огневая усадка, %	Средняя плотность, г/см ³	Водопоглощение, %	Прочность при сжатии, МПа	Прочность при изгибе, МПа
Глинистое сырье	Добавка								
100	0	19,2	8,3	9,1	0,8	1,83	14,56	37,6	9,9
90	10	19,7	8,2	9,1	0,9	1,81	15,07	30,5	9,2
80	20	18,7	7,5	8,2	0,7	1,75	16,16	28,1	8,6
60	40	18,7	5,9	6,2	0,3	1,65	18,71	26,2	6,9
40	60	18,9	5,4	5,7	0,3	1,38	19,91	24,2	6,1

Полученные результаты показывают на возможность снизить воздушную и огневую усадку глинистого сырья за счет использования золы уноса в составе шихты и довести их значения до нормативных. Увеличение содержания золы уноса хотя и сопровождается снижением прочностных характеристик керамического черепка, но зато позволяет существенно снизить его среднюю плотность и получать условно-эффективную стеновую керамику. Увеличивающееся водопоглощение при использовании золы уноса остается в традиционном диапазоне для рядовых керамических изделий.

Библиографический список

1. Федеральная служба государственной статистики РФ, официальные данные за 2015 г.
2. Кизильштейн Л.Я., Дубов И.В., Шпицглюз А.Л., Парада С.Г Компоненты зол и Шлаков ТЭС - М.: Энергоатомиздат, 1995. 176 с.
3. Воробьев Х.С. Методические указания по испытанию глинистого сырья для производства обыкновенного и пустотелого кирпича, пустотелых керамических камней и дренажных труб: Метод. указан./ под общ. Ред. Х.С. Воробьева. – М.: Мин. пром. строй. мат. СССР., 1975. – 89 с.
4. К вопросу совершенствования технологии теплоизоляционных керамических материалов / Козлов А.В., Каклюгин А.В., Колдомасова И.В. // Строительство-2001: материалы междунар. науч.-практич. конф. Ростов н/Д: Изд-во Рост. гос. строит. ун-та, 2001. С. 30-31.

НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ ДИЛАТОМЕТРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КЕРАМИЧЕСКОГО ЧЕРЕПКА ИЗ КУЩЕВСКОГО СЫРЬЯ

Наумов А.А.

*Академия строительства и архитектуры ДГТУ,
г. Ростов-на-Дону, Россия*

Аннотация. Изложены результаты исследований, подтверждающие положительное влияние карбонатной модифицирующей добавки на морозостойкость обожженных керамических образцов из кущевского глинистого сырья. Проведенные эксперименты показали, что предлагаемая добавка способствует уменьшению дилатометрических скачков при замораживании и устранению остаточного удлинения после оттаивания. Это может косвенно свидетельствовать об уменьшении растягивающих напряжений при образовании льда в порах материала.

Ключевые слова: керамический черепок, модифицирующая добавка, морозостойкость, дилатометрический эффект.

Как известно, сроки эксплуатации построенных зданий до первого капитального ремонта стен будут зависеть от долговечности примененных при строительстве материалов, среди которых основную долю занимает керамический кирпич, отличающийся от других материалов сочетанием благоприятных свойств и архитектурной выразительностью. Так как часто одной из причин разрушения стеновых конструкций является совместное действие воды и мороза, то большое значение имеет решение вопросов, связанных с морозостойкостью используемых материалов.

Ранее проведенными исследованиями установлено, что повысить морозостойкость керамического черепка возможно при введении в состав глинистого сырья модифицирующей карбонатной добавки – отхода при производстве минеральных удобрений [1]. Экспериментальные работы показали, что введение добавки в количестве 5 % позволяет увеличить резервную пористость в обожженном керамическом материале, что и приводит к повышению морозостойкости.

Для более детального изучения влияния добавки на морозостойкость образцов были проведены дилатометрические исследования, позволяющие проследить за процессом изменения линейных размеров водонасыщенных образцов при замораживании и оттаивании. Испытания проводили на образцах пластического формования, изготовленных на основе легкоплавкого монтмориллонито-гидрослюдистого сырья Кущевского месторождения.

Характеристика пористо-капиллярной структуры исследованных образцов, обожженных при температуре 1000 °С, представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристика пористости обожженных образцов

Состав шихты, % по массе	Пористость, %				
	Общая	Открытая	Капиллярная	Резервная	Закрытая
Кущевское сырье - 84 Песок самарский - 16	30,9	29,6	25,9	3,7	1,3
Кущевское сырье - 80 Песок самарский - 15 Добавка - 5	31,4	30,0	23,6	6,4	1,4

Песок в состав обеих масс добавляли для улучшения сушильных свойств. Морозостойкость исследованных лабораторных образцов без введения добавки составляла 9 циклов, введение добавки увеличило этот показатель до 84. Столь существенная разница в показателях морозостойкости обожженных образцов, содержащих добавку и без нее,

может быть, в основном, связана с разным уровнем напряжений, возникающих при замерзании воды в порах изделий [2].

Для дилатометрических исследований из испытуемого материала выпиливали образцы размером 50x5x5 мм. Испытывали образцы в сухом виде и после водонасыщения в течение 48 часов. Образцы подвергали замораживанию и оттаиванию по методике, изложенной в [3]. Испытуемый образец устанавливали в дилатометр и замораживали до температуры $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Исследования проводили на серии из пяти образцов. Каждую серию испытывали (замораживали и оттаивали) три раза подряд. После первого и второго замораживания образцы погружали в воду на 24 часа. Графики деформаций при замораживании образцов представлены на рисунке 1.

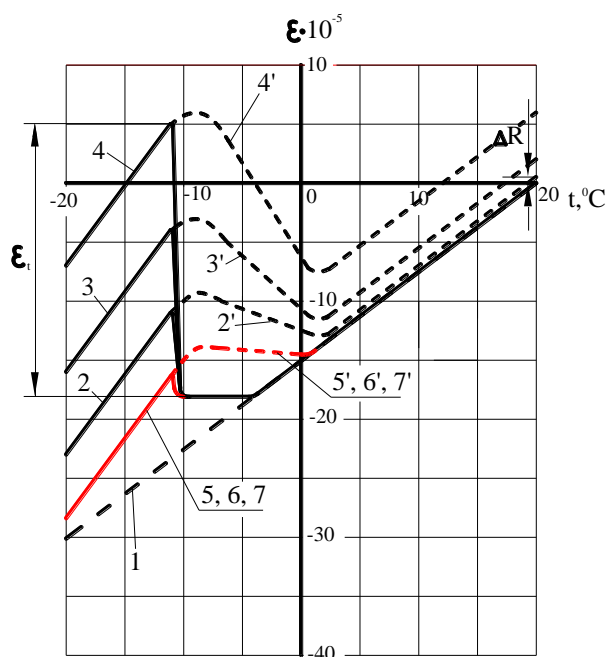


Рисунок 1 – Деформации образцов при повторных циклах замораживания и оттаивания

1 – сухие образцы; 2, 3, 4 – водонасыщенные образцы без добавки при охлаждении соответственно при 1-м, 2-м и 3-м замораживании; 2', 3', 4' – то же, при оттаивании; 5, 6, 7 – водонасыщенные образцы с добавкой при охлаждении при 1-м, 2-м и 3-м замораживании; 5', 6', 7' – то же, при оттаивании

Как видно из рисунка 1, деформация сухих образцов представляет собой прямую линию.

Насыщенные водой образцы вначале уменьшались в размерах так же, как и сухие, но при температуре $-3...-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ в момент начала образования льда в результате его расширения в образцах возникали напряжения растяжения, препятствующие усадке образцов, и при последующем охлаждении скорость деформации замедлялась. В температурном интервале $-10...-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ происходило резкое удлинение образцов, что определяется как дилатометрический эффект (ϵ_t) [4]. После перехода основной массы воды в лед, при дальнейшем снижении температуры, образцы вновь сжимались.

Кривые, обозначенные пунктирной линией, характеризуют деформации при оттаивании образцов. До температуры $-7...-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ замёрзшие водонасыщенные образцы удлинялись, дальнейшее повышение температуры приводит к быстрому сокращению размеров. Однако испытуемые образцы после оттаивания не восстановили прежних размеров, так как сохранили остаточное удлинение (ΔR).

Полное удлинение водонасыщенного образца без добавки при первом замораживании (кривая 2) составило $12 \cdot 10^{-5}$, при втором – $19 \cdot 10^{-5}$, при третьем – $28 \cdot 10^{-5}$. Остаточное удлинение после оттаивания составило $0,5 \cdot 10^{-5}$, $2,0 \cdot 10^{-5}$ и $6,0 \cdot 10^{-5}$, соответственно после первого, второго и третьего циклов замораживания.

Постепенное увеличение значений дилатометрических пиков и накопление остаточных деформаций с каждым последующим циклом свидетельствует о «расшатывании» структуры образцов без добавки при замораживании.

Анализируя кривые 5, 6 и 7, характеризующие деформации водонасыщенных образцов с минеральной добавкой при первых трех циклах замораживания, можно заметить, что ход кривых совпадает. Полное удлинение составляет $7,0 \cdot 10^{-5}$ при отсутствии остаточного удлинения. Это может косвенно свидетельствовать о рациональной пористо-капиллярной структуре модифицированных образцов и его повышенной морозостойкости в сравнении с образцами без добавки.

Результаты дилатометрических испытаний обожженных водонасыщенных образцов приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты дилатометрических испытаний водонасыщенных образцов

Вид образцов	Цикл замораживания	Дилатометрические характеристики		Морозостойкость, циклы
		ε_t	ΔR	
Образцы без добавки	Первый	$12 \cdot 10^{-5}$	$0,5 \cdot 10^{-5}$	9
	Второй	$19 \cdot 10^{-5}$	$2,0 \cdot 10^{-5}$	
	Третий	$28 \cdot 10^{-5}$	$6,0 \cdot 10^{-5}$	
Образцы с добавкой	Первый	$7 \cdot 10^{-5}$	0	84
	Второй	$7 \cdot 10^{-5}$	0	
	Третий	$7 \cdot 10^{-5}$	0	

Проведенные дилатометрические исследования показали, что введение модифицирующей добавки в состав керамической массы в количестве 5 % существенно влияет на поведение образцов при замораживании. Обожженные водонасыщенные образцы, модифицированные добавкой, имеют значительно меньший дилатометрический эффект при замораживании в сравнении с образцами без добавки и характеризуются отсутствием остаточного удлинения после оттаивания, что может косвенно свидетельствовать об уменьшении напряжений растяжения при льдообразовании в массиве изделия. Воспроизводимость дилатометрической кривой водонасыщенных образцов с добавкой при первом и последующем циклах замораживания указывает на их рациональное пористое строение, позволяющее сопротивляться многократным циклам замораживания и оттаивания.

Библиографический список

1. Наумов, А.А. Увеличение морозостойкости кирпича полусухого прессования минеральной модифицирующей добавкой [Текст] / А.А. Наумов, А.Н. Юндин // Известия вузов. Строительство. – 2011. - № 8-9. – С. 27-31.
2. Горчаков, Г.И. Коэффициенты температурного расширения и температурные деформации строительных материалов [Текст] / Г.И. Горчаков, И.И. Лифанов, Л.Н. Терехин. – М.: Стандартиз. – 1968. – 167 с.
3. Наумов, А.А. Дилатометрические характеристики при замораживании водонасыщенного модифицированного керамического черепка [Текст] / А.А. Наумов, А.Н. Юндин // Известия КГАСУ. – 2012. - № 4 (22). – С. 319-325.
4. Гиоргадзе, Н.Н. Дилатометрические исследования компонентов легкого бетона [Текст] / Н.Н. Гиоргадзе, Г.И. Горчаков // Строительные материалы. – 1983. – № 11. – С. 27 – 28.

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ КЕРАМИЧЕСКИХ СТЕНОВЫХ МАТЕРИАЛОВ КОМПРЕССИОННОГО ФОРМОВАНИЯ

Ашмарин А.Г., Илюхина Л.Г., Илюхин В.В., Курносков В.В., Синянский В.И.

ООО «ВНИИстром им. П.П.Будникова»,
п. Красково, Россия, ashmarin@list.ru

***Аннотация:** Разработаны инновационные проектные решения производства керамических изделий различного назначения и научные основы регулирования процесса сокращенного цикла термической обработки керамических стеновых изделий компрессионного формования. Разработана специальная туннельная печь-сушилка однорядного обжига кирпича непрерывного действия. Применены современные энерго- и ресурсосберегающие технологии как в производстве конструкционного и теплоэффективного кирпича, так и в производстве теплоэффективных блоков на основе местных кремнистых пород и вспенивающих добавок.*

***Ключевые слова:** керамические изделия компрессионного формования, сокращенный цикл термической обработки, туннельная печь-сушилка, энерго- и ресурсосберегающие технологии.*

Благодаря своим физико-механическим свойствам, в частности равновесной гигроскопической влажности, керамические стеновые материалы обеспечивают здоровый, комфортный климат в помещении. Невысокие эксплуатационные издержки, долговечность, высокая архитектурная выразительность являются убедительными аргументами в пользу указанных материалов.

Развитие рынка строительных материалов как в России, так и за рубежом диктует повышенные требования к качеству выпускаемой продукции, увеличивается спрос на лицевые изделия различной цветовой гаммы, крупноразмерные поризованно-пустотелые блоки с высокими теплоизоляционными свойствами. Это в свою очередь повышает требования к качеству сырьевых материалов и сегодня очевидной становится проблема запасов глинистого сырья как для действующих, так и вновь строящихся предприятий. Ресурсы традиционного керамического сырья истощаются, глин и суглинков, которые можно было использовать без корректировки состава в производстве керамических стеновых материалов, становится все меньше и меньше.

Поэтому производственники для удовлетворения требований рынка в лицевой продукции, как правило, используют тугоплавкие и огнеупорные светлоглазующие глины, запасов которых в России не так уж и много и есть опасность, что через некоторое время огнеупорная промышленность останется без отечественного сырья.

В связи с этим был сделан упор на разработку технологий получения керамических изделий из повсеместно распространенного сырья. Например, недостаточно используются кремнистые породы, запасы которых превышают 2.5 млрд. тонн. Еще большие запасы прогнозные. Запасы отходов угледобычи и углеобогащения огромны и их продолжают закапывать для предотвращения возгорания, неся огромные затраты. Доказано, что эти сырьевые материалы могут успешно использоваться для производства керамических изделий как по технологии пластического, так и компрессионного формования.

В настоящее время ВНИИстромом совместно с производственниками (ООО «Электроавтомат» и ООО «Стройкерамика»), конструкторами (ООО «АВИС-Н») и теплотехниками (ООО «КОМАС») разработан проект и начато строительство завода компрессионного формования мощностью первой очереди 40 млн. штук условного кирпича в год с использованием кремнистых пород в сочетании с глинами и отходами углеобогащения, в том числе с высоким содержанием углерода. Разработанные технологические решения позволяют использовать все разновидности глин, суглинков, опок, трепелов, диа-

томитов, сланцев, аргиллитов, всевозможные отходы промышленного производства, особенно отходы добычи и обогащения углей, отходы сельскохозяйственного производства.

Разработанные инновационные технические решения защищены патентами: № 2397068 «Технологическая линия для производства керамических строительных изделий методом компрессионного формования», № 2406049 «Туннельная печь-сушилка», № 2440946 «Сырьевая смесь для изготовления керамических теплоэффективных стеновых изделий», № 2442762 «Способ изготовления легковесного керамического теплоизоляционного и теплоизоляционно-конструкционного материала» и другие.

В последнее время появилось много конъюнктурных сообщений в интернете по вопросу теплотехнических характеристик кирпича пластического и полусухого формования и кладок из него. При этом допускают грубые искажения фактического положения, основываясь на искажении теплотехнических свойств, обосновывая это тем, что кирпич и блоки пластического формования могут иметь большую пустотность и тем самым обеспечивают нормативные требования строительных норм по теплозащите. Здесь кроется большое заблуждение. В настоящее время, действительно, требования по теплотехническим свойствам стен приравнены к европейским, и требования по теплозащитным свойствам кирпича и кладок ужесточены (см. приложение № 1 ГОСТа 530-2012 Теплотехнические характеристики сплошных кладок).

Эти заблуждения базируются на мнении, что теплотехнические свойства кирпича характеризуются в первую очередь его пустотностью, а это не так. В первую очередь это зависит от поризации кирпича. И это важное свойство надо всегда учитывать при разработке технологии как при модернизации старых и тем более при строительстве новых заводов компрессионного (полусухого) прессования, учитывая обязательное использование поризующих добавок – широко распространенных кремнистых пород, зол, шлаков, аргиллитов, туфоаргиллитов, отходов добычи и обогащения углей, всевозможных отходов сельскохозяйственного производства.

Особенности технологии:

- подготовка пресс-порошка заданной влажности и грансостава и прессование изделий с влажностью на 2-2,5% ниже критической влажности, что позволяет осуществлять термическую обработку изделия в одном агрегате – специальной печи-сушилке.

- туннельная печь-сушилка однорядного обжига кирпича непрерывного действия (в отличие от традиционных печей обжига с периодическим перемещением вагонеток) производительностью 40 млн.шт. кирпича 1НФ в год.

Режим работы печи – трехсменный, 365 рабочих дней в году.

Длина обжигового канала 176,4 м, ширина рабочего пространства печи 4,7 м, количество вагонеток 63 шт. Количество кирпичей 1НФ на вагонетке ~1155 шт. Скорость движения состава вагонеток ~120 мм/мин.

Контроль и управление процессом обжига полностью автоматизировано, характеризуется стабильными режимами температуры и топливопотребления. Температура обжига до 1200 °С. Расход природного газа ~500 м³/ч.

Размещение обжигаемых изделий в один ряд обеспечивает оптимальный характер теплообмена для каждого обжигаемого изделия – сырца, сокращает длительность обжига и гарантирует однородность и высокое качество продукции. Загрузка и выгрузка кирпича выполняется программируемым манипулятором.

Небольшая удельная нагрузка на под вагонетки уменьшает металлоемкость ее конструкции и требуемую мощность механизма перемещения. Конструкция корпуса печи модульная с широким применением современных волокнистых огнеупорных футеровочных материалов.

Глубокое использование тепла от сжигаемого топлива – природного газа за счет применения рекуперативных автоматизированных горелочных устройств, возврата части высокотемпературных дымовых газов в зону предварительного нагрева и рекуперация тепла отходящих дымовых газов в дымовой трубе особой конструкции гарантирует низ-

кий удельный расход тепла и вредных выбросов на проведение процесса обжига, тем самым исключить появления высолов серы на готовых изделиях.

Применение в технологии обжига керамических изделий рекуперативных горелок предусматривает производить эвакуацию сернистых газов из зоны их образования непосредственно в дымовую трубу. В результате этого в зону подготовки и сушки поступает «чистый» теплоноситель от горелок, установленных в зоне подготовки, и горячий воздух из зоны рекуперации, что позволяет получать высококачественную продукцию даже в случае применения высокосернистого сырья.

В проекте применены современные энерго- и ресурсосберегающие технологии не только по производству конструкционного и теплоэффективного кирпича, но и теплоэффективных блоков на основе местных кремнистых пород и вспенивающих добавок.

Для производства теплоэффективных пенокерамических блоков использовались кремнистые породы как карбонатистые так и безкарбонатистые, вспенивающие добавки и легкоплавкие компоненты шихты.

Кроме того ВНИИстромом разрабатываются технологии по выпуску импортозамещающей продукции, в частности клинкерного кирпича различной цветовой гаммы.

Библиографический список

1. Патент РФ 2397068. Технологическая линия для производства керамических строительных изделий методом компрессионного формования. Ашмарин Г.Д., Курносов В.В., Ласточкин В.Г. Б.И. №23 от 20.08.2010г.

2. Патент РФ 2406049. Туннельная печь-сушилка. Ашмарин Г.Д., Курносов В.В., Беляев С.Е., Ласточкин В.Г. Б.И. №34 от 10.12.2010г.

3. Патент РФ 2440946. Сырьевая смесь для изготовления керамических теплоэффективных стеновых изделий. Ашмарин Г.Д., Илюхин В.В., Илюхина Л.Г., Ашмарин Д.Г. Б.И. №3 от 27.01.2012г.

4. Патент РФ 2515107. Сырьевая смесь для изготовления керамических изделий. Ашмарин Г.Д., Илюхин В.В., Илюхина Л.Г., Ашмарин Д.Г. Б.И. №13 от 10.05.2014г.

5. Ласточкин В.Г., Ашмарин Г.Д., Курносов В.В., Беляев С.Е. Обоснование эффективности компрессионного формования керамических строительных материалов // Строительные материалы. 2011. №2. С. 8-9.

6. Ашмарин Г.Д., Ласточкин В.Г., Илюхин В.В., Татьяначиков А.В. Инновационные технологии высокоэффективных керамических строительных изделий на основе кремнистых пород // Строительные материалы. 2011. №7. С. 28-30.

7. Ласточкин В.Г., Илюхин В.В., Ашмарин Г.Д., Синянский В.И., Курносов В.В. Технология керамического кирпича компрессионного формования с сокращенным циклом термической обработки // Строительные материалы. 2013. №4. С. 42-43.

УДК 666.3

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ ОАО «РУСАЛ» ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Бурученко А.Е., Мушарапова С.И., Шелковников Р.А., Белов Ю.В., Сергеев А.А.

*Сибирский федеральный университет,
г. Красноярск, Россия, buruchenko.ae@mail.ru*

***Аннотация.** В данной работе приводятся результаты исследований о возможности использования шлама газоочистки ОАО «Русал» для производства изделий стеновой керамики на основе легкоплавких глин и фасадной керамики на основе тугоплавких глин с оптимальными температурами обжига 950-1000 °С и 1000-1050 °С соответственно.*

***Ключевые слова:** керамика, отходы производства, керамические массы, обжиг, свойства.*

Отходы промышленных предприятий находят все более широкое применение в изготовлении строительных материалов и изделий, в том числе и керамических [1,2]. Они могут выполнять функцию отощителя в керамических массах, расширять интервал спекания, снижать температуру обжига, способствовать более интенсивному прохождению реакций при обжиге и в целом предопределять физико-механические свойства изделий [3,4]. К числу таких относятся многотоннажные отходы цветной промышленности ОАО «Русал», которые к настоящему времени не нашли должного практического применения.

Нами была исследована возможность использования отходов ОАО «Русал» в виде шлама газоочистки для получения строительных материалов и изделий на основе тугоплавкой глины Кантатского месторождения и легкоплавкой глины Новосибирского месторождения.

Химический состав шлама газоочистки, глин Кантатского и Новосибирского месторождения представлен в таблице 1 и 2.

Таблица 1 – Химический состав шлама газоочистки ОАО «Русал»

Массовое содержание, %										
Na_3AlF_6	K_2NaAlF_6	NaAlCO_3	Al_2O_3	CaF_2	MgF_2	Fe_2O_3	SiO_2	Na_2SO_4	C	Смол.
34,97	1,83	2,87	22,67	1,07	1,05	1,64	0,35	6,56	21,46	5,53

Таблица 2 – Химический состав глины

Сырье	Массовое содержание оксидов, %								
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	п.п.п
Глина Кантатского месторождения	67,4	18,5	3,08	0,82	1,63	1,89	1,06	0,12	5,5
Глина Новосибирского месторождения	56,36	13,82	5,78	0,25	7,18	2,3	1,9	1,25	11,16

Для оценки возможности использования шлама в керамическом производстве были проведены рентгеноструктурные исследования отходов и отформованных из них образцов после обжига на температуры 300-1350 °С с интервалом 50 °С. Исследования проводились на установке "Дрон-3" порошковым методом, которые показали, что основными минералами, составляющими шлам газоочистки, являются криолит, оксид алюминия, углерод и сульфат натрия. В незначительном количестве фиксируются эльпазолит, фторид натрия, оксид железа и ряд других минералов (рисунок 1).

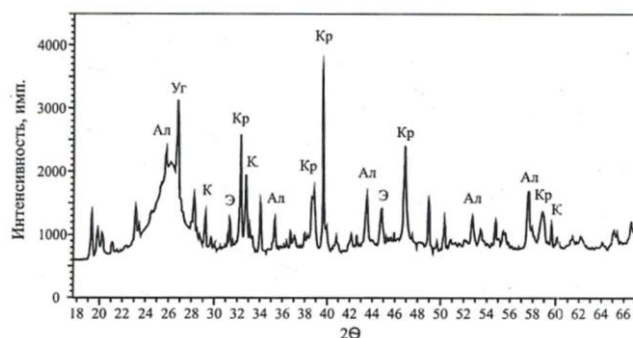


Рисунок 1 – Дифрактограмма шлама газоочистки ОАО "Русал": Ал- оксид алюминия, Уг- углерод, К- фтористый калий, Э- эльпазолит, КР- криолит

Из кривых изменения линий интенсивности рассматриваемых минералов видно, что в процессе термической обработки происходит разрушение их структур и тем самым обуславливаются реакции с другими минералами керамических масс (рисунок 2).

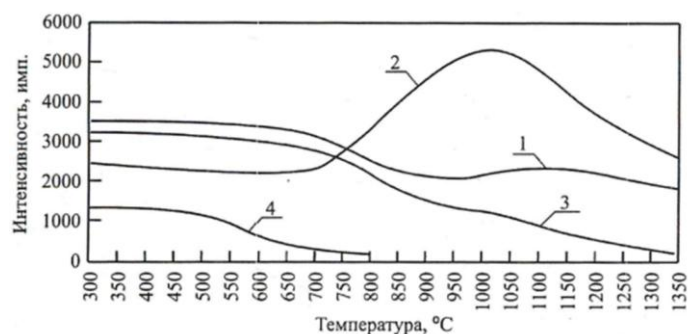


Рисунок 2 – График изменения линий интенсивности минералов шлама газоочистки в зависимости от температуры обжига: 1 – криолит, 2 – оксид алюминия, 3 – углерод, 4 – эльпазолит

Присутствие в шламе фтористого калия, эльпазолита и криолита способствует образованию в керамической массе жидкой фазы, которое обеспечивает хорошее спекание образцов и повышает физико-механические свойств изделий.

Основным глинистым минералом глины Кантатского месторождения является каолинит и монтмориллонит. Из неглинистых минералов присутствует кварц и полевой шпат в виде ортоклаза и альбита. Глина Новосибирского месторождения включает в себя такие глинистые минералы как каолинит, монтмориллонит и гидромусковит, содержащиеся примерно в равных количествах. Из неглинистых минералов присутствует кварц и полевой шпат в виде альбита. В небольшом количестве присутствует гематит.

Для решения поставленной задачи шлам вводили в тугоплавкую и легкоплавкую глины в количестве 10 и 20 %. Предварительно глину сушили и размалывали до остатка на сите 0,05 мм не более 5 %. После чего готовилась шихта из рассматриваемого сырья. Из данной шихты формовались образцы диаметром и высотой 2 см полусухим способом при давлении 20 МПа. Затем их сушили и обжигали при температуре 800-1150 °С, с интервалом 50 °С и выдержкой при конечной температуре 10 минут. После обжига, рассчитывали линейную огневую усадку (ΔL), водопоглощение (W), прочность на сжатие (σ) и проводили рентгенофазовый анализ. Результаты расчета огневой усадки, водопоглощения и прочности образцов из тугоплавкой глины представлены на рисунке 3. Как видно из графика, для образцов из чистой глины температура начала спекания соответствует 1150-1200 °С.

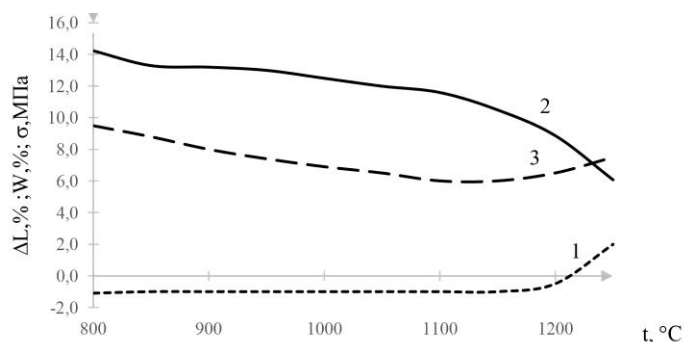


Рисунок 3 – График зависимости: 1 – линейной усадки ΔL , %; 2 – водопоглощения W , %; 3 – прочности σ , МПа образцов от температуры обжига для Кантатской глины

Для образцов с введением 10 % шлама усадка и водопоглощение начинают изменяться с 1000 °С, что приводит к возрастанию прочности и снижению температуры начала спекания к 1000-1050 °С (рисунок 4).

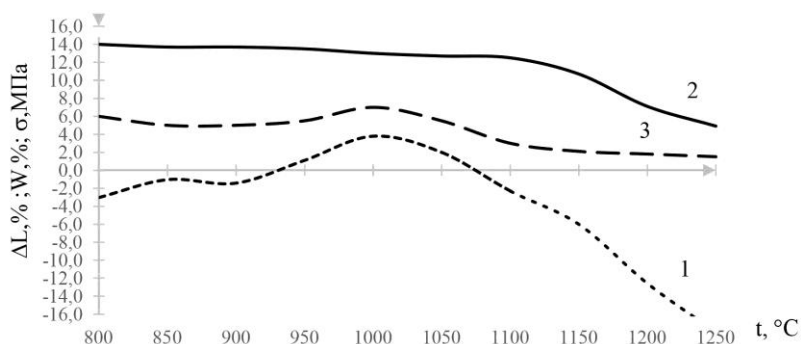


Рисунок 4 – График зависимости: 1 – линейной усадки ΔL , %; 2 – водопоглощения W , %; 3 – прочности σ , МПа образцов от температуры обжига для состава Кантатская глина 90 % + шлам газоочистки ОАО «Русал» 10 %.

При увеличении содержания шлама в керамической массе до 20 % начало изменения водопоглощения и увеличение прочности продолжает смещаться в область более низких температур (950-1000 °C). Прочностные свойства уменьшаются в пределах от 10 до 7 МПа. Линейная усадка образцов практически не изменяется (рисунок 5).

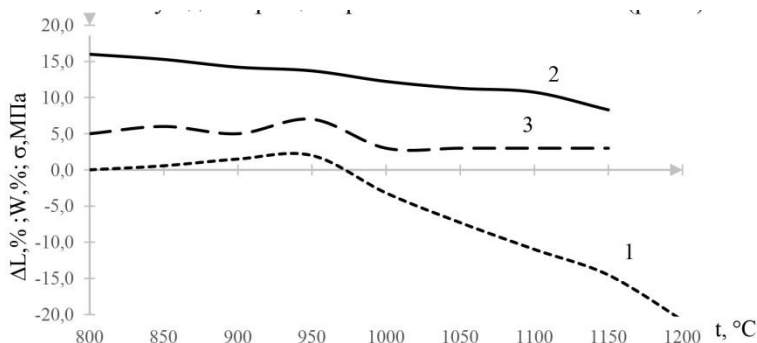


Рисунок 5 – График зависимости: 1 – линейной усадки ΔL , %; 2 – водопоглощения W , %; 3 – прочности σ , МПа образцов от температуры обжига для состава Кантатская глина 80 % + шлам газоочистки ОАО «Русал» 20 %

При внесении 10 % шлама в легкоплавкую глину Новосибирского месторождения усадка и водопоглощение начинают изменяться с 1000 °C, что обуславливает начало возрастания прочности (рисунок 6).

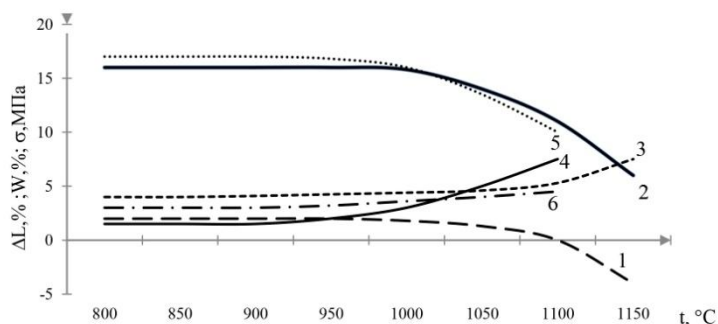


Рисунок 6 – График зависимости: 1 – линейной усадки ΔL , %; 2 – водопоглощения W , %; 3 – прочности σ , МПа образцов от температуры обжига для состава Кантатская глина 100 %; 4 – линейной усадки ΔL , %; 5 – водопоглощения W , %; 6 – прочности σ , МПа образцов от температуры обжига для состава Кантатская глина 90 % + шлам газоочистки ОАО «Русал» 10 %.

При увеличении содержания шлама до 20%, начало изменения усадки, водопоглощения и увеличения прочности смещается также в область более низких температур.

Таким образом, шлам газоочистки способствуют более интенсивному прохождению реакций в процессе обжига, и при этом температура обжига смещается в область более низких температур.

Изучения физико-механических свойств образцов показали, что наиболее качественными могут быть получены изделия, когда в керамические массы добавляют шлам в количестве 10-15 %.

Составы керамических масс на основе легкоплавких глин с введением 10-15 % шлама могут быть рекомендованы для облицовочных изделий стеновой керамики с оптимальной температурой обжига 950-1000 °С, а составы керамических масс на основе тугоплавкой глины для облицовочной керамической плитки с оптимальной температурой обжига 1000-1050 °С.

Библиографический список

1. Будников, П.П. Реакции в смесях твердых веществ / П.П. Будников, А.М. Гинстлинг. - М.: Стройиздат. - 1971 г. - 487 с.
2. Столбоушкин, А.Ю. Влияние добавки волластонита на формирование структуры стеновых керамических материалов из техногенного и природного сырья / А.Ю. Столбоушкин // Строительные материалы. - 2014. - № 8. - С. 13-17.
3. Ашмарин, Г.Д. Энерго- и ресурсосберегающие технологии керамических стеновых материалов / Г.Д. Ашмарин, В.В. Курносов, В.Г. Ласточкин // Строительные материалы. - 2010. - № 4. - С. 24-27.
4. Бурученко, А.Е. Исследование фазовых превращений в керамике при введении отходов цветной промышленности. / А.Е. Бурученко, С.И. Мушарапова // «Сборник научных трудов по материалам Международной конференции». - Новосибирск, НГАУ. - 2011. - С. 133-139.

УДК: 691.42

ИННОВАЦИОННЫЕ ДОБАВКИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СТЕНОВОЙ КЕРАМИКИ

Явруян Х. С., Гайшун Е.С., Мирина В. А.

*ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет»,
г. Ростов-на-Дону, Россия, subaru156@yandex.ru, mirina.v94@mail.ru*

***Аннотация.** Использование побочных продуктов угольной промышленности при производстве изделий стеновой керамики является достаточно актуальным. Отходы углеобогащения являются перспективной сырьевой базой для выработки керамических стеновых материалов. Угольные шламы в производстве глиняного кирпича широко применяются на заводах Урала и Казахстана. Наиболее освоена технология использования отходов углеобогащения в качестве добавки при производстве керамических изделий. Применение местных отходов позволяет максимально снизить сырьевые затраты.*

***Ключевые слова:** производство, сырье, техногенные отходы, технология, углеобогащение, добавки.*

В настоящее время актуально использование отходов углеобогащения в производстве строительных материалов. Используют их в качестве добавок: в цемент, керамические изделия; в производстве вяжущих веществ, а также в дорожном строительстве.

Научные исследования и производственный опыт многих предприятий показывают, что использование отходов углеобогащения в смеси с местными глинами позволяют корректировать физико-механические свойства керамических стеновых материалов [1]. В проектах некоторых предприятий по производству стеновых материалов предусматривается использовать техногенные отходы. Наибольшее распространение получило применение отходов углеобогащения в качестве добавок в сырье при производстве кирпича и керамических камней. С применением угольных шламов улучшается качество получае-

мой продукции, снижается расход технологического топлива. Применение в качестве добавок 1 т отходов гравитации при производстве кирпича сокращает расход топлива на их обжиг. При этом улучшается качество готовой продукции.

Анализ химического состава продуктов переработки углеобогажительных фабрик показал достаточную стабильность содержания окислов Al_2O_3 и SiO_2 , что позволяет применять эти продукты как керамическое сырье [2].

Экономическая эффективность использования отходов углеобогащения в производстве керамических стеновых изделий определяется снижением затрат на технологическое топливо, сырье, а также удаление и складирование этих отходов на углеобогажительных фабриках. Максимальный экономический эффект может быть достигнут при использовании отходов углеобогащения на месте их выхода [3].

Кирпичными заводами используются различные добавки из побочных продуктов угольной промышленности для производства керамической продукции. На основе исследований [4] было доказано, что более предпочтительно, для обогащения угольных шламов, является гравитационная сепарация, чем флотационная. Наиболее распространенным методом гравитационного обогащения является отсадка.

Отходы гравитации целесообразнее использовать для дорожного строительства. В этом случае содержание серы не является ограничивающим фактором. При фракции породы 0-25 мм и добавки к ней 10 % цемента этот материал применялся в качестве заменителя щебня. Более широко отходы гравитации могут быть использованы для отсыпки земляного полотна шоссейных дорог.

Один из отрицательных факторов использования угольных отходов в строительном производстве является высокое содержание серы (2-7 %). При производстве строительных материалов отходы термически обрабатываются, при этом значительная часть серы в виде окислов выбрасывается в атмосферу с отходящими газами, а очистка газов от серы - сложный и дорогостоящий процесс. Содержание оставшейся в огарке серы также должно быть минимальным, так как она отрицательно влияет на качество изделий. В связи с этим следует отдавать предпочтение не породным отходам, а отходам гравитации, в которых серы значительно меньше (не превышает 3 %).

Наиболее освоена технология использования отходов углеобогащения для производства добавки в керамические кирпичи из глиняной массы [5]. Отходы углеобогащения были применены в производстве кирпича марки 150, соответствующей ГОСТу. Произошла замена сырья: кирпич производили из углеотходов. Доставлялись отходы из фильтровального отделения углеобогажительной фабрики в цех, в приемные бункера ящичных питателей. Затем ленточным конвейером подавались в щековую и молотковую дробилки. Дробленая порода с размерами частиц 10 мм дозируется в необходимом количестве в шаровую мельницу, где происходит измельчение до размера в 0,5 мм в течение 30 с. Одновременно с измельчением осуществляется сушка породы углеобогащения. Поскольку она имеет повышенную влажность 25% по сравнению с требуемой в 18-20%, сушка производится теплом отходящих дымовых газов. После чего измельченная масса подается в формовочный ленточный безвакуумный пресс. Выходящий из пресса брус разрезается полуавтоматом на кирпичи, которые подают в камерные сушилки. Изделия сушат теплом отходящих дымовых газов, образующимся в результате обжига в напольных кольцевых печах, путем сгорания содержащегося в шахтной породе топлива. Полученного количества тепла достаточно для обжига и для сушки сырца. Следует отметить, что эти процессы длятся меньше чем при производстве кирпича из глины, так же при этом способе экономия топлива составляет 20%. При производстве партии 1000 шт. кирпичей из угольных отходов бездефектная продукция составляет 97% , и лишь 3% с незначительными дефектами. А при использовании глины на 1000 шт. кирпичей дефект составил 23%. Из этого можно сделать вывод, что производство кирпича из углеотходов хорошая замена глиняному сырью [5,6,7].

Заметна значительна экономия материальных затрат при использовании топливосодержащих промышленных отходов в качестве добавок в шихту. В кирпичной промышленности применяются отходы обогащения угля, шламы, золы и шлаки, получаемые на ТЭС при пылевидном сжигании топлива. Отходы углеобогащения в производстве глиняного кирпича широко применяются на заводах Украины, Урала и Казахстана.

Если брать Восточный Донбасс (Ростовская область), то на его территории, за более чем столетидесятилетнюю историю промышленного освоения образовалось 500 отвалов шахт, занимающих большие площади.

Применение отходов углеобогащения улучшает формовочные и сушильные свойства масс, повышает на 1-2 марки прочность обожженного кирпича и снижает расход условного топлива при обжиге на 16 кг на 1000 шт. условного кирпича.

Для производства стеновой керамики отходы углеобогащения являются перспективной сырьевой базой. Наибольший интерес представляют именно угольные шламы, т.к. они являются фактически готовой шихтой для производства керамических изделий. В районах Донбасса, Кузбасса, Карагандинского, Канско-Ачинского угольных бассейнов в местах размещения углеобогатительных фабрик металлургических заводов отходы углеобогащения могут быть использованы для изготовления высокоэффективных керамических изделий, полностью заменяя первичное сырье. Применение местных отходов позволит значительно снизить сырьевые затраты, а также даст возможность изготавливать изделия при незначительном дополнительном расходе топлива. Например, исследованиями, проведенными институтом ВНИИстром, установлено, что для изготовления керамических стеновых материалов из отходов углеобогатительной фабрики Череповецкого металлургического завода потребность в топливе на 1 тыс.шт. изделий составит всего 84 кг усл. топлива.

Проведенный нами анализ выявил какие исследования в области внедрения отходов углеобогащения в производство строительных материалов были проведены ранее. На основании этого сделан вывод, что в настоящее время актуальным является замена части глиняного сырья техногенными отходами угольного ряда. Главной целью для дальнейших исследований является поиск новых способов производства высокоэффективных керамических камней с использованием только техногенных отходов угольного ряда.

Библиографический список

1. Явруян Х. С. Структурообразование и свойства пористой строительной керамики на основе отходов углеобогащения :автореф. дис. ... доц. тех. наук : 05.23.05 / Х. С.Явруян.– Ростов-на-Дону: АСА ДГТУ (бывш. РГСУ), 2003. – 20с.;
2. Фадеева В.С. Технология керамических стеновых материалов на основе отходов углеобогащения / В. С. Фадеева, Г. П. Петрова, В. Н. Бурмистров // Строительные материалы. – 1975. - №6. – С. 8-10;
3. Производство кирпича полусухого прессования из отходов углеобогащения / В. Н. Бурмистров, [и др.]: // Строительные материалы. – 1986.- №12. – С.11-12;
4. Пилов П. И. Гравитационная сепарация угольных шламов как альтернатива флотации [Электронный ресурс]: научный журнал / авт.-сост. П. И. Пилов, С. А. Кирнарский, С. В. Артемов. – ГГАУ.: 1997. –88-91с. // НЭБ «Киберленинка»:[сайт]. – Режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/gravitatsionnaya-separatsiya-ugolnyh-shlamov-kak-alternativa-flotatsii>;
5. Аленцев Б. В. Кирпич из шахтных пород / Б. Н. Аленцев // Строительные материалы – 1977. - №7. – С. 24-25;
6. Бурмистров В. Н. Экономическая эффективность изготовления керамических стеновых изделий из пород углеобогащения / В. Н. Бурмистров, М. М. Богатырева, В. Т. Новинская // Строительные материалы. – 1978. - №6. – С.6-7;

7. Бурмистров В. Н. Отходы флотации углебогатительных фабрик в производстве кирпича / В. Н. Бурмистров, Б. Ф. Буданов, Т. И. Карпунина //Строительные материалы – 1982. - №6. – С. 7-8.

УДК 666.7-127

ТЕХНОЛОГИЯ И СВОЙСТВА ЭФФЕКТИВНОЙ СТЕНОВОЙ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ ПОРИСТОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ ПОЛУЧАЕМОГО ИЗ КРЕМНИСТЫХ ПОРОД

Козлов Г.А., Рубахин И.И., Проценко О.В.

*Академия строительства и архитектуры
Донского государственного технического университета
г. Ростов – на – Дону, Россия.*

***Аннотация.** В работе приводятся результаты исследований и опытно-промышленной апробации получения эффективной стеновой керамики за счет введения пористого компонента получаемого в процессе вспучивания силикат натриевых композиций. В работе применен одностадийный способ получения растворов щелочных силикатов предусматривающий растворение аморфного кремнезёма типичных разновидностей кремнистых пород в процессе их взаимодействия с раствором щелочи при повышенных температурах*

***Ключевые слова:** эффективная керамика, пористый компонент, силикат натриевая композиция, кремнистые породы.*

Необходимость снижения теплопроводности, а следовательно и средней плотности стеновых материалов и изделий с целью снижения затрат на отопление зданий и сооружений в процессе их эксплуатации подчёркивается в работах всех ведущих специалистов в области строительного материаловедения.[1-2] В соответствии с ГОСТ 530-2012 к эффективной стеновой керамике относятся изделия со средней плотностью до 1200 кг/м³ и коэффициентом теплопроводности не более 0,20 Вт/(м·°С). Однако достичь таких показателей для конструкционных материалов при требуемом уровне прочности не менее 10 МПа, традиционными способами весьма затруднительно.

В настоящее время снижение средней плотности стеновых керамических изделий в основном достигается двумя способами: первый за счет формирования пустот в изделиях; второй предусматривает увеличение пористости керамического черепка путем введения различных порообразующих компонентов. Литературный обзор и изучение пористых заполнителей используемых в производстве керамических изделий [3] было установлено, что для получения эффективной стеновой керамики необходимо применение порообразующего компонента сферической формы, максимальной крупностью зерен до 3 мм, насыпной плотностью до 450 кг/м³ и прочностью не менее 2,5 МПа.

Таблица 1 – Физико-химические свойства кремнистых пород

Месторождение.	Тип пород	Средняя плотность, в г/см ²	SiO ₂ растворённый в 5% КОН	Активность мг СаО	Пористость в %	Прочность на сжатие кг/см ²
Каменоломненское	Опока	0,8	12,8-21,3	73-378	39-53,5	136
Мальчевское	Диатомит	0,7-0,9	41,4	—	—	123-174
Успенское	Трепел	0,8-1,2	29.3-35,5	—	—	—

Получение такого компонента может быть осуществлено из силикат натриевых композиций. Традиционно, растворы щелочных силикатов (жидкие стекла) получают растворением силикат глыбы в автоклавных установках. Данный способ получения характеризуется высокой энергоемкостью, двухстадийностью производства, длительностью и трудоемкостью процесса. В настоящей работе применен одностадийный способ получения растворов щелочных силикатов предусматривающий прямое растворение кремнеземсодержащих компонентов в растворах едких щелочей. Данный «мокрый» способ основан на возможности аморфного кремнезёма взаимодействовать с раствором щелочи при повышенных температурах [4]. В качестве источника кремнезема в работе использованы широко распространенные на юге России типичные разности кремнистых пород, диатомит Мальчевского месторождения, трепел Успенского месторождения и опока Каменоломенского месторождения Ростовской области [5].

В результате исследований установлено, что в процессе гидротермальной обработке предварительно измельченной породы в растворе едкого натра получают силикат натриевых композиции с широким диапазоном свойств. Наибольший силикатный модуль 2,7 получен у композиции на основе Успенского трепела, что закономерно, учитывая высокое содержание в нем аморфного кремнезема.

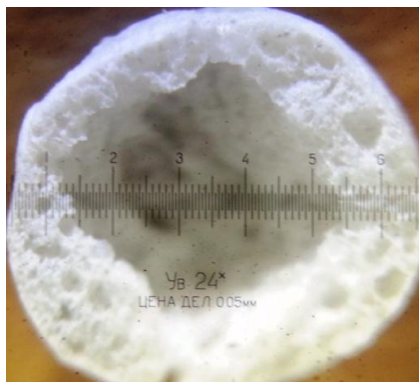


Рисунок 1 – Структура пористо-пустотелого заполнителя

Технология получения заполнителя сферической формы, осуществляется по запатентованному нами аэрационному способу грануляции получаемой силикат натриевых суспензии в среде хлористого кальция (коагулянта) с последующей подсушкой и термообработкой при температуре 400-600⁰С. Полученного заполнителя характеризуется пористо-пустотелая структурой и свойствами представленными в таблице 2.

Таблица 2 – Свойства пористого заполнителя полученных из силикат натриевых композиций

Свойства материала	Силикатный модуль								
	1,68			2,45			2,70		
Фракция, мм.	До 1	1-3	3-5	До 1	1-3	3-5	До 1	1-3	3-5
Насыпная плотность, кг/м ³	451,1	258,6	172,0	496,1	301,9	185,1	540,9	347,2	198,1
Прочность при сдавливании в цилиндре, МПа	2,8	1,2	0,51	3,2	1,9	0,69	3,8	2,4	0,88
Теплопроводность, Вт/м·К	-	0,076	-	0,093	-	0,064	-	0,079	-
Водопоглощение, % по массе	-	100	125	30	75	-	25	65	125

Лабораторно-технологические исследования по получению высокоэффективной керамики с использованием полученного заполнителя проводились с применением методов математического планирования эксперимента. В качестве сырьевых материалов были использованы: глина Владимирского месторождения, и заполнитель фр. 0-3 мм, полученный на основе трепела Успенского месторождения. При проектировании составов формовочных масс изучалось влияние фракционного состава пористого компонента, формовочной влажности смеси и давления вибропрессования на структурную прочность сырца, прочность и плотность обожженного при температуре 1000 °С материала.

В результате математической обработки экспериментальных данных получены полиномиальные модели, отражающие связи между исследуемыми свойствами и исходными факторами. Полученные уравнения регрессии обработаны с использованием программы MathCAD, которая позволяет получать графическую интерпретацию результатов эксперимента. Общий анализ изоповерхностей говорит о том, что изучаемые факторы оказывают нелинейный характер влияния на структурную прочность, среднюю плотность и предел прочности при сжатии керамического черепка.

Установлено, что основное влияние на структурную прочность сырца оказывает формовочная влажность. Максимальные значения $R_{стр}=2,1$ МПа достигаются при значении формовочной влажности 19-21%. К незначительному увеличению прочности сырца приводит увеличение значения коэффициента сбега пористого компонента. Повышение удельного давления вибро-прессования, приводит к росту $R_{стр}$, однако при использовании нагрузок свыше 300 г/см² происходит дробление заполнителя.

Средняя плотность керамического черепка в основном зависит от влажности и удельного давления вибропрессования, и в незначительной мере от коэффициенте сбега заполнителя. Представленные на рисунке 2 плоскости марочных плотностей 600, 700 и 800 кг/см³ показывают, что эти изменения в исследуемом диапазоне незначительны и находятся в пределах одной марки по плотности. По степени влияния варьируемых факторов на среднюю плотность их можно проранжировать следующим образом: X_3 удельное давление вибро-прессования $> X_2$ формовочная влажность $> X_1$ коэффициент сбега.

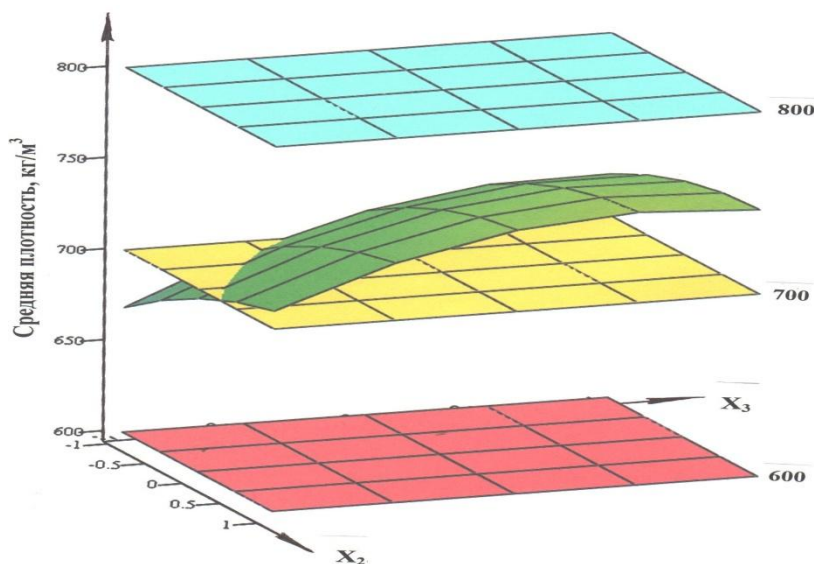


Рисунок 2 – Зависимость средней плотности керамического черепка от величины формовочной влажности (X_2) в % и удельного давления вибропрессования (X_3) в кг/см², при значении коэффициенте сбега заполнителя равном 0,8 ($X_1=+1$)

Анализ изменений прочности при сжатии керамического черепка показывает, что по мере увеличения значений факторов X_3 (формовочная влажность) и X_2 (удельное давление вибропрессования) происходит увеличение прочности при сжатии керамического

черепка, в то же время фактор X_1 (коэффициент сбега) практически не влияет на эти изменения.

Таким образом разработаны составы формовочных масс и определены технологические параметры получения керамики с плотностью 600-700 кг/м³, прочностью 2,5-10 МПа, теплопроводностью 0,118-0,224Вт/м⁰С и морозостойкостью до 35 циклов попеременного замораживания и оттаивания

Промышленная апробация полученных результатов лабораторных исследований была проведена на кирпичном заводе ООО «КЕСМА». В заводских условиях методом компрессионного формования на револьверном прессе были изготовлены облегченные рядовые стеновые изделия. Сушка изделий осуществлялась в камерных сушилах при температуре 80-120⁰С в течение 24 часов до остаточной влажности 2-4 %. Высушенные изделия обжигали в кольцевой печи по режиму принятому на заводе для обжига кирпича (в течение 48 часов) при максимальной температуре обжига 1000⁰С.

Результаты определения показателей качества полученных изделий эффективной стеновой керамики приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Физико-механические свойства опытных партий стеновых изделий

Наименование показателей	Результаты испытаний	Требования ГОСТ 530-2012
Средняя плотность, кг/м ³	от 600 до 650	Для класса средней плотности изделия 0,7 от 610 до 700 0,8 от 710 до 800
Предел прочности при сжатии, МПа	от 9,4 до 11,9	Для М50 не менее 5,0 Для М100 не менее 10,0
Предел прочности при изгибе, МПа	от 1,9 до 2,1	Для М100 не менее 2,2
Теплопроводность, Вт / м ⁰ С	от 0,15 до 0,18	Для группы изделий высокой эффективности до 0,20

Проведенные технико-экономические расчеты показатели на целесообразность организации производства таких стеновых материалов в рамках одного предприятия производства пористо-пустотелого заполнителя и изделий стеновой керамики.

Библиографический список

1. Акутин В.Ф. Современные стены зданий из керамического кирпича / В.Ф. Акутин, А.А. Асеев // Строительные материалы. – 2002. – № 8. – С.4–8.
2. Комов В.М. Эффективный стеновой материал – поризованная керамика / В.М. Комов // Строительные материалы. – 2001. – № 12. – С.14–15.
3. Шильцина А.Д. Закономерности формирования структуры и прогнозирование свойств строительной керамики из грубозернистых масс // Дисс. докт. техн. наук. – Абакан, 2004. – 373 с.
4. Григорьев П.Н., Матвеев М.А. Растворимое стекло.- М. Промстройиздат, 1956г. – С.443.
5. Козлов Г.А. Кремнистые породы нижнего Дона и перспективные пути их использования в производстве строительных материалов / Котляр В.Д., Талпа Б.В., Белодедов А.А. // Научная мысль Кавказа. – 2004. – № 6. – С. 97-104.
6. Крупноразмерные стеновые керамические изделия высокой эффективности с использованием силикат - натриевого заполнителя / Козлов Г.А.// Строительство-2013: материалы междунар. науч.-практич. конф. Ростов н/Д: Изд-во Рост. гос. строит. ун-та, 2013. С. 60-62.

ОБРАЗОВАНИЕ ЧЕРНОЙ СЕРДЦЕВИНЫ В КЕРАМИЧЕСКОМ КИРПИЧЕ НА ОСНОВЕ БУРОВОГО ШЛАМА

Гурьева В.А.¹, Дубинецкий В.В.², Вдовин К.М.¹

¹Оренбургский государственный университет, г. Оренбург.

²Бузулукский гуманитарно-технологический институт (филиал) ОГУ,
г. Бузулук, dubinetskiy@yandex.ru

Аннотация. Рассмотрена возможность утилизации техногенного продукта, получаемого в процессе бурения нефтяных скважин на объектах ПАО «Оренбургнефть», в производстве изделий строительной керамики, характеризующихся повышенным содержанием карбонатных соединений. Исследован процесс образования черной сердцевины в керамическом кирпиче в процессе обжига на основе бурового шлама, определены технологические способы ее устранения.

Ключевые слова: буровой шлам, строительная керамика, утилизация и переработка, промышленные отходы, стеклобой, выгорание, черная сердцевина.

Увеличение темпов роста производства в различных отраслях промышленности привело к накоплению огромного количества крупнотоннажных минеральных отходов. На их утилизацию затрачивается 8–10 % стоимости производимой продукции [1,2,3]. Производство строительных керамических материалов - одна из самых материалоемких отраслей промышленности, поэтому рациональное использование материальных ресурсов является основополагающим критерием ее успешного развития в условиях сложной экономической обстановки в стране. Актуальным является вовлечение в производство промышленных отходов, в частности при изготовлении строительной керамики [4].

Рассматривая буровой шлам как компонент шихты для производства керамического кирпича, необходимо учитывать и класс опасности которым обладает этот многотоннажный техногенный продукт (класс опасности III), однако после обжига класс опасности снижается до V и является безопасным для окружающей среды.

Цель настоящей работы заключалась в исследовании влияния физико-химических процессов при обжиге на образование черной сердцевины в керамическом кирпиче из бурового шлама с повышенным содержанием органических включений и карбонатов.

Причиной наличия черной сердцевины в кирпиче с буровым шламом в составе шихты кирпиче является невыгоревший углерод. При этом наличие остатков углерода после обжига может негативно сказаться на характеристиках кирпича: появление трещин, вспучивание.

В работах [5,6,7] была показана принципиальная возможность использования отходов промышленного производства с предотвращения процесса образования черноты в сердцевине керамического материала.

Исследования проводились на примере бурового шлама с объектов ПАО «Оренбургнефть» и глины Бузулукского месторождения с высоким содержанием карбонатов. В качестве корректирующей добавки-плавня был использован стеклобой. Химический состав компонентов представлено в таблице 1.

Для изучения процесса образования черной сердцевины в керамических изделиях, в зависимости от температуры обжига и времени изотермической выдержки, были изготовлены опытные образцы керамического кирпича формата 1 НФ (250 × 120 × 65 мм). Состав шихты масс. %.: глина – 50, буровой шлам - 45, стеклобой – 5 [8]. Сушка и обжиг проводились в соответствии с методикой эксперимента в муфельной печи при различной температуре.

Таблица 1 – Химический состав сырьевых материалов

Наименование сырья	Массовая доля компонентов, % (на абсолютно сухое вещество)										
	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MnO	CaO	MgO	R_2O	SO_3	P_2O_5	ППП П
Глина Бузулукского месторождения	41,7 1	0,23	3,92	2,1	0,01	25,6	0,37	1,12	-	0,12	23,0 5
Буровой шлам ПАО «Орбургнефть»	23,8 4	-	3,72	10,8	-	21,2 8	2,28	10,8 3	1,8 1	-	29,2 4

Исследуемые образцы керамического кирпича после обжига при температуре от 600 до 1000⁰С, с шагом 100⁰С, имели различный окрас сердцевины (таблица 2).

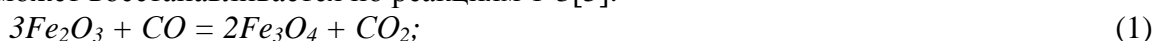
Таблица 2 – Изменение цвета кирпича при обжиге

Цвет кирпича	Время выдержки при данной температуре, мин.	Температура, ⁰ С	Ширина полос в середине образца в мм с цветом:		
			светло серый	темно серый	черный
Светло бежевый	30	600	3	-	-
Бежевый	40	800	2	3	-
Темно бежевый	50	1000	1	2	5

Установлено, что в процессе обжига происходит выгорание органики во внутренней области керамического черепка, при этом происходит расщепление органической части бурового шлама на летучие углеводороды и твердые углеродные остатки, выгорание которых затруднено. Чернение сердцевины аналогично обугливаю, которое происходит на начальной стадии сгорания углеводородного остатка при температуре 600-800⁰С., однако при обжиге керамики этот процесс сдвигается в интервал более высоких температур. Скорость протекания выгорания углеводорода определяется медленно нарастающим процессом диффузии кислорода через поверхность образца, при этом происходит соединение кислорода с углеродом.

Присутствие внутри кирпича органики при недостатке кислорода приводит к восстановлению углекислого газа, до монооксида углерода. В области температуры обжига более 1000 ⁰С, образуется только СО. Выгорание органики при обжиге затруднено протекающими процессами дегидратации происходящей при температуре 600 ⁰С. При этом проникновение кислорода значительно снижается, что напрямую влияет на выгорание органической части бурового шлама. Процент содержания органических составляющих обожженных в бескислородной среде в температурных интервалах 700-800 ⁰С, в 5-6 раз больше, чем у образцов, обожженных в окислительной среде.

При образовании жидкой фазы в процессе спекания керамики органическая часть будет изолирована от кислорода до момента полного окисления, а при температуре 1000-1100⁰С он будет воздействовать как восстановитель. При этом содержащееся железо в составе может восстанавливается по реакциям 1-3[5]:



Содержание Fe₂O₃ и FeO во внутренней части кирпича и на его поверхности значительно разнится. Средней части образца больше содержится FeO, а в наружных поверхностях преобладает Fe₂O₃.

Таким образом, процесс образования черной сердцевины в керамическом кирпиче на основе глины и бурового шлама можно разделить на три этапа:

- 1) при температуре 600°C происходит интенсивное образование, и начало процесса выгорания органической части;
- 2) при 600-800°C интенсивное выгорание органики, что ярко выражено в образовании черной сердцевины, при этом потеря массы составляет от 10 до 15%;
- 3) при 1000°C завершается процесс выгорания органики, черная сердцевина отсутствует, срез керамического образца имеет равномерный цвет по всей внутренней поверхности, что свидетельствует о полном выгорании органической части бурового шлама и увеличение содержания FeO (за счет Fe₂O₃).

Также установлено, что в увеличение изотермической выдержки до 3 часов при температуре 800°C, способствует выгоранию органики и исключению черной сердцевины в изделиях. Так же буровой шлам играет роль отошающей составляющей шихты, то керамический кирпич имеет повышенную газопроницаемость в тело кирпича, что позволяет обеспечить проникновение кислорода тем самым ускорить процесс выгорания органической части, а также создать благоприятную среду для исключения образования черной сердцевины.

Анализ результатов лабораторных исследований трёхкомпонентной шихты позволил установить, что образование черной сердцевины зависит не только от процентного содержания бурового шлама, но и от размера керамического кирпича. Предотвратить её образование можно соблюдая условия изотермической выдержки: обжиг в течение 3-х часов при температуре 850-950°C.

Библиографический список

1. www.orenburg-gov.ru/strateg/2030 - Портал Правительства Оренбургской области: План мероприятий Правительства Оренбургской области по реализации Стратегии социально-экономического развития ПФО на период до 2020 года на территории Оренбургской области.
2. Кувькин Н.А., Бубнов А.Г., Гриневич В.И. Опасные промышленные отходы. Иваново: Иван. гос. хим.-технол. ун-т. 2004. 148 с.
3. Жуков А.А. Результаты контрольно-надзорной деятельности в части обращения с отходами производства и потребления Управления Росприроднадзора по Оренбургской области по итогам 9 месяцев и задачи на IV квартал 2012 года. Оренбург: Управление Росприроднадзора. 2012. 26 с.
4. Кара-сал Б.К., Котельников В.И., Сапелкина Т.В. Получение керамического стенового материала из вскрышных пород углеобогащения // Естественные и технические науки. 2015. № 2. С.160-163.
5. Вдовина Е. В., Абдрахимова Е. С., Абдрахимов В. З. Определение черной сердцевины при обжиге кирпича из бейделлитовой глины и продукта сгорания базальтовой шихты // Башкирский химический журнал. 2007. Том 14. №2. С. 102-104.
6. Колпаков А. В., Денисов Д. Ю., Абдрахимов В. З. Процессы горения при обжиге пористых заполнителей на основе отходов горючих сланцев и продукта сепарации нефтешлама // Актуальные вопросы технических наук: материалы II междунар. науч. конф. (г. Пермь, февраль 2013 г.). – Пермь: Меркурий, 2013. – С. 70-74.
7. Абдрахимов, В. З. Теоретические и технологические аспекты использования техногенного сырья в производстве теплоизоляционных материалов / Абдрахимов В. З., Денисов Д. Ю. – Самара: Самарская академия государственного и муниципального управления. – 2010. – 72 с.
8. Гурьева В.А., Дубинецкий В.В., Вдовин К.М. Буровой шлам в производстве изделий строительной керамики // Строительные материалы. 2015. № 4. С. 75-77.

ПЕРСПЕКТИВНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ В ТЕХНОЛОГИИ ПОДГОТОВКИ ШИХТЫ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ КЕРАМИКИ

Женжурист И. А.

*Казанский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Казань, Россия, e-mail: ir.jenjur@yandex.ru*

Аннотация. Рассмотрены результаты обработки полев СВЧ силикатов (бентонитовой глины, кварцевого песка, диатомита, суглинков), влияние поля СВЧ на структуру и технологические характеристики водных суспензий, физико-механические показатели керамического материала, полученного на их основе. Исследована роль добавок (гидрозоля оксида алюминия и алюмосодержащего гальванического шлама) на структуру, технологические характеристики водных суспензий силикатов и физико-механические показатели керамического материала на их основе

Ключевые слова: поле СВЧ, природные силикаты, алюмооксидный модификатор, структура суспензий, прочность материала

Для создания керамических материалов с высокими эксплуатационными характеристиками таких, как клинкерные изделия, керамогранит, санитарно-технические и др., которые выпускаются на скоростных технологических линиях, необходимо высококачественное сырье и отлаженная технология. В строительной керамике с качественным сырьем во многих регионах страны возникают проблемы, а традиционные способы разработки состава и технологии получения материала не всегда приводят к желаемому результату из-за проблем при технологической переработке исходных компонентов шихты. Поэтому общепринятые в строительной отрасли материало- и энергоемкие технологии нуждаются в обновлении, но без глубокого изучения механизма образования структуры материала на микро- и нано-уровне, процессов, активизирующих эти преобразования, успех мало вероятен.

Анализ литературных источников и наши разработки последних лет показали, что использование высокоактивных добавок, прежде всего нанодисперсного уровня, энергетических импульсов, ускоряющих прохождение физико-химических процессов на стадии подготовки сырьевой композиции, позволяет прогнозировать структуру керамического материала и оказывать влияние на процесс ее формирования [1-3].

Важным условием получения керамического материала с высокими прочностными параметрами является подбор состава шихты и условий ее технологической переработки. Особое значение для каждой технологии имеет получение необходимой дисперсности компонентов и гомогенности массы. Причиной заниженной прочности материалов по сравнению с теоретически-возможной является дефектность структуры последних, которая связана с несовершенством технологии их получения. Эти проблемы возникают в процессе измельчения, смешения, формования и др. технологических операций. При выбранной технологии получения конкретного материала необходимая дисперсность компонентов достигается длительным размолотом в сухом или увлажненном состоянии с большими энергетическими затратами.

Имеются разнообразные способы интенсификации технологических процессов: использование различного по производительности и эффективности помольного и смесительного оборудования, применение физико-химических методов активизации компонентов шихты за счет введения в массу различных модификаторов, воздействие ультразвуком, высокочастотными электромагнитными полями и др.

Экспериментальная практика показала эффективность использования электромагнитного поля сверхвысоких частот (СВЧ) в качестве источника энергии в различных областях техники. Применение электромагнитного излучения диапазона миллиметровых длин волн открывает возможности создания перспективной энергосберегающей техноло-

гии, которая наряду с ускорением физико-химических процессов обеспечивают сохранение и улучшение их свойств. Нагрев, сушка, и обжиг полем СВЧ используется в технологии различных диэлектрических и полупроводниковых материалов, к которым относятся оксиды кремния и алюминия, составляющие основу глинистой керамики, изменяется протекание химических реакций, открываются широкие перспективы для управления и стимулирования структурообразования, процессов сушки и спекания материала [4-5].

Активация компонентов шихты различными способами, усиливающая адгезионное взаимодействие компонентов до хемосорбционного уровня может быть новым технологическим приемом повышения качества материала. Учитывая то, что формирование структуры материала начинается на межмолекулярном, наноразмерном уровне, надо попытаться повлиять на процессы формирования будущей структуры материала на этом уровне дисперсности. Это возможно сделать при одновременном внедрении в систему химически-активного, по составу необходимого для каждого конкретного случая модификатора, и, одновременно, стимулировать процесс энергетическим импульсом в атомно-молекулярном диапазоне волн.

Эффект микроволнового нагрева основан на поглощении электромагнитной энергии. Поле СВЧ проникает на значительную глубину, взаимодействует с веществом на атомном и молекулярном уровне, влияет на движение электронов, что приводит к преобразованию СВЧ-энергии в тепло, изменяется обычное протекание химических реакций, открываются широкие перспективы для управления и стимулирования структурообразования. Это позволяет значительно интенсифицировать технологический процесс; повысить качество готовых изделий и экономические показатели процесса. Кроме этого, СВЧ-энергия – очень удобный источник тепла, обладающий в ряде применений несомненными преимуществами перед другими источниками. Он не вносит загрязнений при нагреве, при его использовании отсутствуют какие-либо продукты сгорания. Кроме того, легкость, с которой СВЧ-энергия преобразуется в тепло, позволяет получить очень высокие скорости нагрева, при этом в материале не возникает разрушающих термомеханических напряжений. Оборудование полностью электронное и работает практически безинерционно, что позволит автоматизировать процесс. Это особенно актуально в условиях роста стоимости энергии[6].

Работы по синтезу глинистых частиц и исследованию реакции глинистых композиций на поле СВЧ показали [7], что в результате формируются частицы наноразмерного уровня и увеличивается общая площадь реакционной поверхности частиц. Были проведены исследования влияния поля СВЧ на композиции, в основе которых выбирали местные суглинки, диатомиты с различными добавками.

Работы по модификации глин гидрозолью оксида алюминия с целью улучшения технологических характеристик низкосортного глинистого сырья показали, что после облучения модифицированной глинистой композиции полем СВЧ, наблюдается изменение технологических параметров водных шликеров (меняется структура глиняных зольей, приращение и текучесть суспензий), повышается прочность обожженных образцов [1-3]. Проводили исследования по модификации глинистых композиций производными оксида алюминия (гальваническим шламом) и его комбинации с соединениями, входящими в состав высококачественных глин и керамических масс, влияние на них электромагнитных полей. При этом важно было исследовать возможность интенсификации процесса фазообразования при облучении композиций полем СВЧ.

В общем случае операции подготовки полуфабриката основаны на создании и сохранении в системе аккумулирующих структур, энергия которых будет использована на последующей стадии термообработки и формировании структуры материала. Глинисто-песчаные формовочные смеси представляют собой композиции различной влажности, суспензии дисперсных частиц, прежде всего на основе бентонитовых глин и кварцевых песков в водном связующем, строение которых определяет основные технологические свойства формовочных масс.

Влияние алюмооксидной добавки на гидросиликатную систему под действием поля СВЧ посмотрели на примере бентонитовой глины Нурлатского месторождения, кварцевого песка Люберецкого месторождения и добавок гальванического шлама ГШ-1 фирмы «Росла» Набережные Челны, представляющий собой пастообразный отход, получаемый в результате обработки алюминиевых профилей методом анодирования. В качестве нанодисперсного модификатора использовали гидрозоль оксида алюминия ОАО «КазхимНИИ» со структурой типа бемита размером 3,5-4 нм.

Из рисунка 1 видно, что обработка глины и песка полем СВЧ приводит к формированию ассоциатов. Добавление в суспензию силикатов гальванического шлама меняет структуру золя. Для бентонитовой глины с гальваническим шламом АЛшл (рисунок 1, в) формируется мелкозернистая структура без четко выраженных образований, а у кварцевого песка формируются разветвленные образования (рисунок 1, ж).

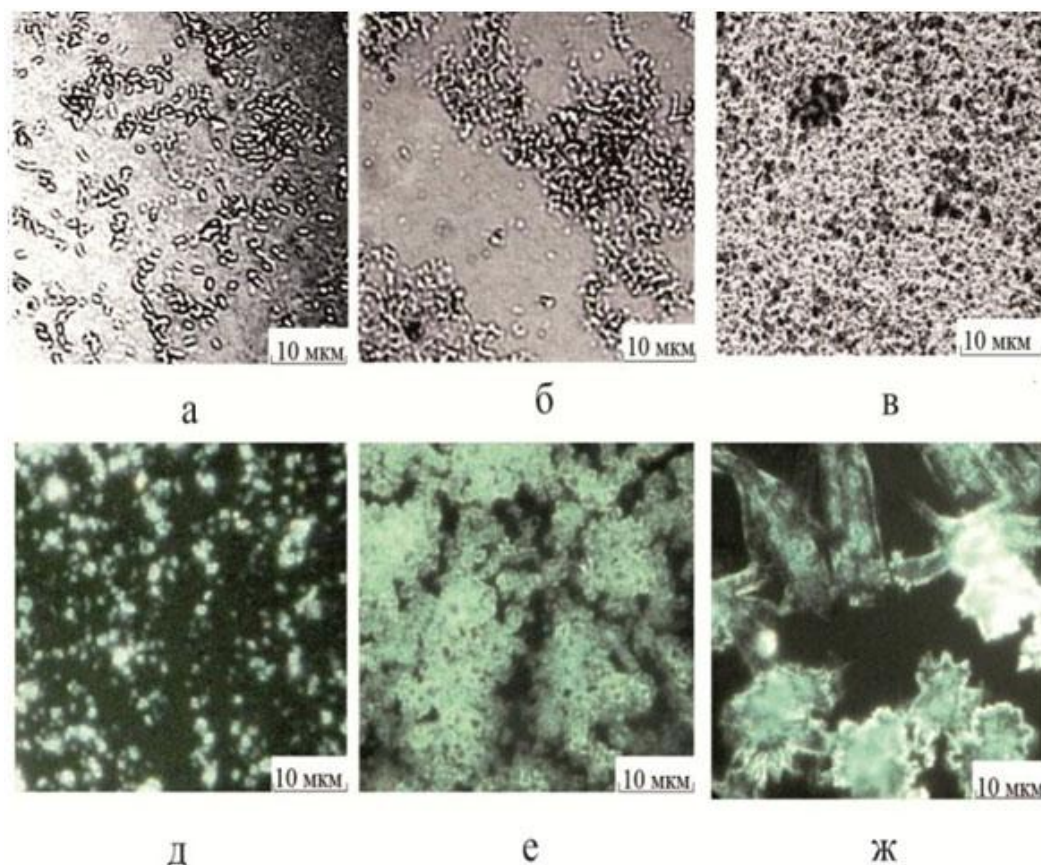


Рисунок 1 – Микроструктуры зольей: 10% водных суспензий: бентонитовой глины (а), бентонитовой глины + СВЧ (б), бентонитовой глины + СВЧ + 10% АЛшл (в, кварцевого песка (д), кварцевого песка + СВЧ (е), кварцевого песка + СВЧ + 10% АЛшл х 1000. Свет отраженный

Водные золи силикатов исследовали методом ИК-спектроскопии. Исследования проводили на Фурье-спектрометре Spectrum 65 фирмы Parken Elmer области длин волн $4000-650\text{ см}^{-1}$. Результаты исследований представлены на наиболее характерном фрагменте общего спектра (рисунок 2). Наибольшие изменения наблюдаются для масс на основе кварцевого песка. Видно, что для составов зольей на основе кварцевого песка наблюдаются наиболее четкие линии в области поглощения 1098 см^{-1} , которые можно отнести к валентным и деформационным колебаниям связей кремне- и алюмоокислотодных каркасов (Si-O-Si , Al-O-Si). На увеличенном фрагменте области поглощения $1000 - 1200\text{ см}^{-1}$ (рисунок 2) видно, что для образца кварцевого песка, обработанного полем СВЧ, интенсивность максимума поглощения незначительно увеличивается по сравнению с необработанным кварцем. При добавлении гидрозоля оксида алюминия и гальванического шлама

интенсивность полосы 1098 см^{-1} увеличивается значительно, особенно для состава с гидрозолем оксида алюминия (рисунок 2, з). Можно предположить, что при обработке полем СВЧ и добавлении модифицирующих добавок на основе Al_2O_3 активизируются процессы на границе раздела Al-SiO_2 , особенно при добавлении гидрозоля оксида алюминия. При этом может происходить деформация поверхностных силоксановых групп кварца, переориентация зарядов, что способствует образованию ассоциатов (рисунок 1, е) и после добавления модификатора – характерных структур (рисунок 1, ж, в).

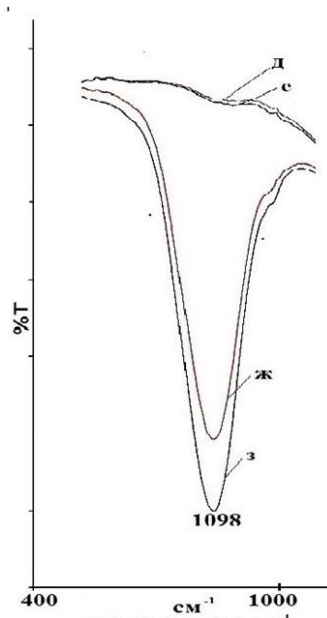


Рисунок 2 – ИК-спектры зольей: кварцевого песка (д), кварцевого песка + СВЧ (е), кварцевого песка + СВЧ + 10% АЛшл(ж), кварцевого песка + СВЧ + 0,1% АЗ-1 (з).

При добавлении в суспензии обработанных СВЧ силикатов алюмозоля (АЗ-1) значительно меняется структура зольей, особенно у кварцевого песка и бентонитовой глины (рисунок 3).

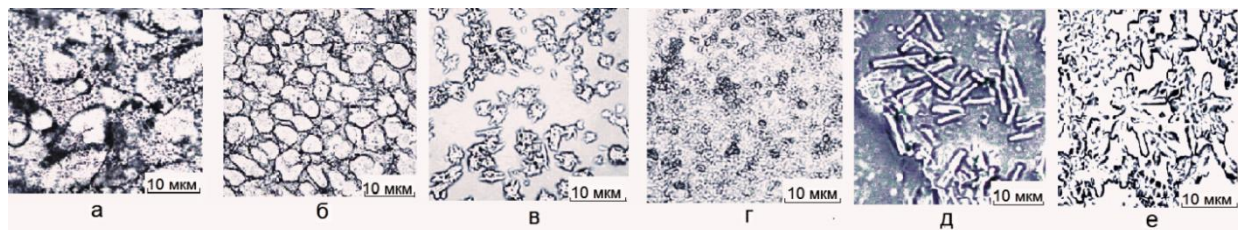


Рисунок 3 – Микроструктура зольей 10% водных суспензий: а – кварцевого песка с добавкой 0,1% АЗ -1; б – кварцевого песка (3 мин СВЧ) с добавкой 0,1% АЗ -1; в – диатомита с добавкой 0,1% АЗ -1; г – диатомита (3 мин СВЧ) с добавкой 0,1% АЗ -1; д – бентонитовой глины с добавкой 0,1% АЗ -1; е – бентонитовой глины (3 мин СВЧ) с добавкой 0,1% АЗ -1.

Обнаружено, что при обработке массы полем СВЧ наблюдаются деформационные явления в химических связях (Si-O-Si , Al-O-Si). Данные дифференциально-термического и рентгенофазового анализов показали, что фазовые превращения происходят при более низких температурах и связаны с повышенной дисперсностью образующегося алюмосиликата, размерность которого лежит в диапазоне 20-30 нм против более 200 нм для необработанной СВЧ массы [3].

Технология была проверена на местных монтмориллонит-гидрослюдистых суглинках с композиционной полифункциональной добавкой на основе гидропроизводных оксида алюминия (алюмозоль, алюмооксидный гальванический шлам ГЛШ и шлам произ-

водства жирных спиртов КИ-14,) и компонента, содержащего высокодисперсный карбонат кальция (мел, КЕК-отход содового производства).

Отмечена идентичная с массами на бентонитовой глине закономерность изменения свойств, а обработка сырьевой композиции полем СВЧ повышает эффективность добавки и является перспективным способом активации массы (рисунок 3).

Прочность на сжатие образцов с алюмооксидными добавками возрастает особенно значительно в присутствии карбонатов кальция и особенно поля СВЧ (рисунок 4, 5).

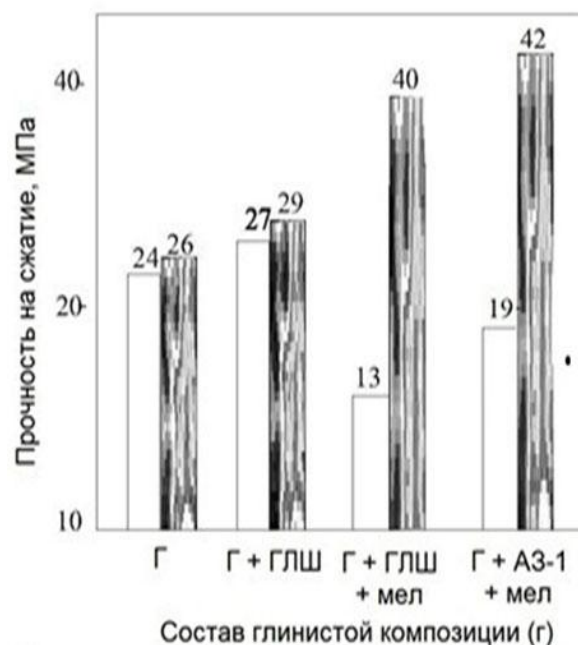


Рисунок 4 – Прочность на сжатие обожженных при 1000 °С образцов из масс на Калининском суглинке (Г) с 20% крмпозиционныфй добавкой при соотношении ГЛШ/мел=1, АЗ-1/мел=1: □ – без обработки СВЧ, ■ – с обработкой СВЧ.

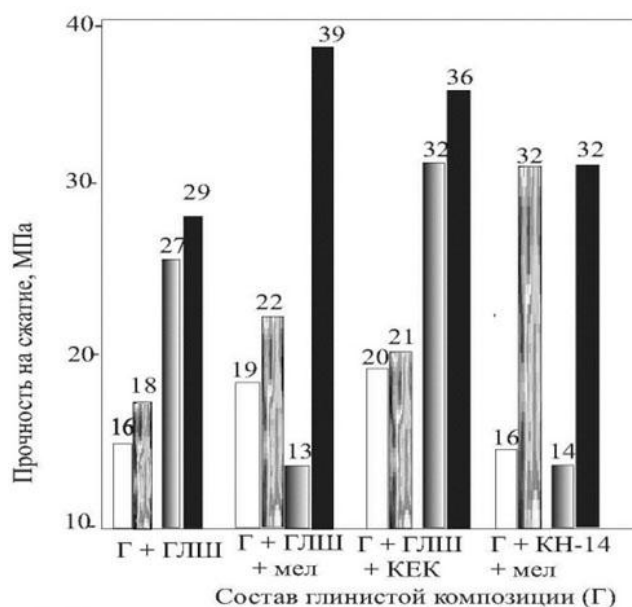


Рисунок 5 – Прочность на сжатие обожженных при 1000 °С образцов из глин с композиционной добавкой при соотношении: мел/ГЛШ =1, КЕК/ГЛШ=1, КН-14/мел=1
 □ – Хлыстовская без обработки СВЧ, ■ – Хлыстовская с обработкой СВЧ,
 ■ – Калининская без обработки СВЧ, ■ – Калининская с обработкой СВЧ.

Было отмечено, что лучшие показатели прочности получены для каждого состава шихты в зависимости от напряжения поля и время выдержки в нем (рисунок 6, 7), которые имеют значение для каждого состава и требуют анализа при разработке состава шихты и технологии ее переработки.

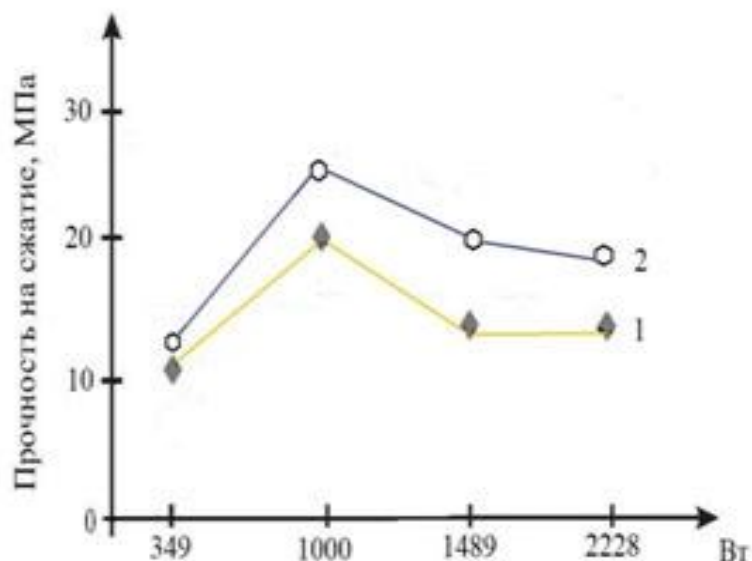


Рисунок 6 – Зависимости на сжатие обожженных при 1000 °С образцов из Хлыстовской глины, обработанных полем СВЧ 2 мин. от напряжения поля в Вт. 1 – Сухая глина (4%), 2 – Влажная глина (10%).

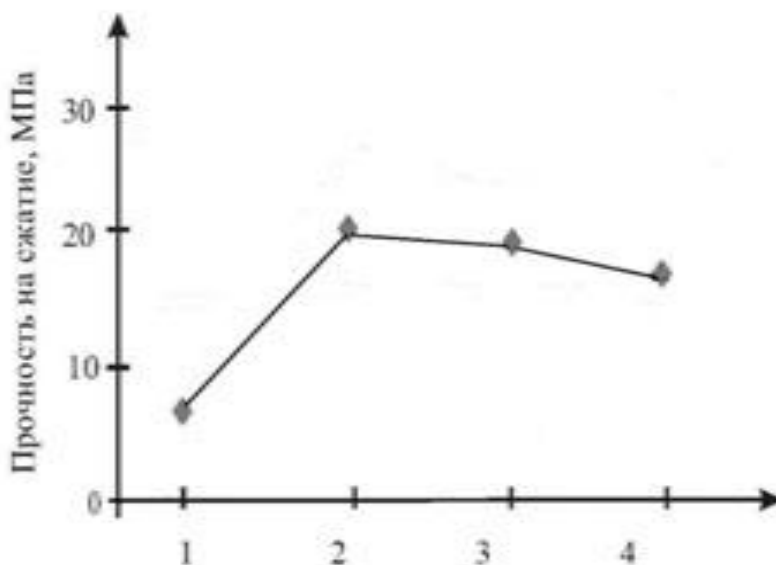


Рисунок 7 – Зависимости на сжатие обожженных при 1000 °С образцов из Калининской глины, обработанных полем СВЧ (800 Вт, частотой 2450 МГц) от времени выдержки в печи.

Работы в этом направлении выполняется в рамках проектной части государственного задания № 7.1955.2014/К в сфере научной деятельности по теме: Разработка научно-технологических основ малотоннажной строительной химии – как отрасли строительной индустрии России (эффективной отрасли национальной экономики России).

Библиографический список

1. Женжурист И.А. Перспективные направления наномодифицирования в строительной керамике // Строительные материалы. 2014. №4. С. 36-39.
2. Zhenzhurist J.A. Microwave processing of silicates by a microwave field with aluminum oxide based modifiers // Glass and Ceramics, Vol. 72, Nos 7-8, November, 2015, P.262 – 265. - DOI 10.1007/s10717-015-9769-4.
3. Женжурист И.А. Эффективность микроволновой обработки глинистых композиций при подборе шихты в технологии керамики // Строительные материалы. 2015. №4. С. 60-63.
4. Филиппов В.А., Филиппов Б.В. Перспективные технологии обработки материалов сверхвысокочастотными электромагнитными колебаниями // Вестник ЧГПУ им. И.Я. Яковлева. 2012. № 4 (76). С. 181–184.
5. Пушкарев О.И., Шумячер В.М., Мальгинова Г.М. Микроволновая обработка порошков тугоплавких соединений электромагнитным полем СВЧ // Огнеупоры и техническая керамика. 2005. № 1. С. 7–9.
6. Морозов О., Каргин А., Савенко Г., Требух В., Воробьев И. Промышленное применение СВЧ-нагрева // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. 2010. № 3. С. 2-6.
7. Прохина А.В., Шаповалов Н.А., Латыпова М.М. Модификация поверхности глинистых минералов с высоким содержанием монтмориллонита в электромагнитном поле высокой частоты // Современные наукоемкие технологии. 2011. № 1. С. 135-136.

УДК [666.9:658.567]:691.4

УСКОРЕННАЯ ОЦЕНКА МИНЕРАЛЬНЫХ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ КАК СЫРЬЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Панов С.А., Панова В.Ф., Камбалина И.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия, panov-kps@yandex.ru*

Аннотация. В работе показана оценка породы как сырья для производства строительных материалов по коэффициенту основности ($K_{осн}$) определяемого по ее химическому составу. Определены области значения $K_{осн}$ сырья для различных видов изделий. Рассмотрена методика расчета состава бесклинкерного цемента на основе значений $K_{осн}$ из «основных» и «кислых» активированных продуктов. Приведена методика исследования как природного сырья, так и вторичных минеральных ресурсов (ВМР) с целью применения их как заполнителя. Разработана модель исследования ВМР.

Ключевые слова: порода, сырье, химический состав, коэффициент основности, цемент, заполнитель, строительные материалы, модель исследования, вторичные минеральные ресурсы

Наряду с природным сырьем необходимо решение проблемы по использованию многотоннажных минеральных техногенных отходов [1].

По характеру и свойствам промышленные отходы подразделяются на «кислые», «основные» и «нейтральные», «активные» и «неактивные», что оценивается известными модулем основности и модулем активности.

Модуль основности M_o определяется отношением содержащихся основных оксидов к общей сумме кислотных окислов, %:

$$M_o = \frac{\%(CaO + MgO)}{\%(Al_2O_3 + SiO_2)}$$

По модулю основности породы делятся на: «кислые» $M_o < 1$; «нейтральные» $M_o = 1$; «основные» $M_o > 1$.

Модуль активности M_a характеризуется отношением, %, глинозема к содержанию кремнезема:

$$M_a = \frac{\%(Al_2O_3)}{\%(SiO_2)}$$

При $M_a < 2,5$ сырье относится к малоактивному, для производства вяжущих веществ требуется введение активизирующих добавок [2,3].

Для характеристики сырья используются также коэффициент качества и другие показатели, однако все они не дают полной картины для определения использования той или иной породы, особенно это касается техногенных продуктов.

Для оценки техногенных продуктов на применение в производстве строительных материалов предложен коэффициент основности силикатов ($K_{осн}$), который аналогичен коэффициенту насыщения (КН) Кинда [4].

Коэффициент насыщения применяется в расчете состава сырья для получения цементного клинкера и колеблется в пределах 0,82-0,96.

Недостаток КН в том, что он учитывает только содержание CaO, исключает содержание MgO, R₂O и других оксидов и не дает визуального представления о составе силикатов кальция. Для исключения этих недостатков предложено ввести коэффициент основности ($K_{осн}$), который можно использовать для характеристики различных промышленных отходов, которые целенаправленно рекомендовать использовать для производства различных строительных материалов и изделий.

В общем виде $K_{осн}$ определяется по формуле:

$$K_{осн} = \frac{(CaO + 0,93MgO + 0,6R_2O) - (0,55Al_2O_3 + 0,35Fe_2O_3 + 0,7SO_3 + xB_nO_m)}{(0,93SiO_2 - yR_nO_m)}$$

В формуле $K_{осн}$ выражение в числителе (CaO+0,93MgO+0,6R₂O) показывает общее (валовое) содержание (в %) «условной CaO». Чем ее больше, тем активнее материал. Вычитаемое – (0,55Al₂O₃+0,35 Fe₂O₃+0,7SO₃) определяет количество (в %) CaO, связываемой соответствующими оксидами и не участвующей в образовании силикатов. При слишком большом содержании этих оксидов можно получить отрицательное значение. Это показывает недостаток щелочных компонентов, в частности извести (CaO). Знаменатель показывает, сколько CaO необходимо для образования моносилката кальция. Если $K_{осн} = 1$, образуется CS, при $K_{осн} = 2$ образуется C₂S, при $K_{осн} = 1,5$ следует ожидать образования и CS, и C₂S. Количественное значение $K_{осн}$ характеризует основность сырья. $K_{осн}$ теоретически может изменяться от $+\infty$ до $-\infty$.

Все минеральные строительные материалы и сырье для их производства (природное и техногенное) можно разделить на 5 групп по величине коэффициента основности:

- ультраосновные $K_{осн}$ от 1,6 до $+\infty$;
- основные – 1,2...1,6;
- средние – 0,8...1,2;
- кислые – 0,0...0,8;
- ультракислые – менее 0,0 до $-\infty$.

Установлено, что вяжущие вещества: цементы, гипсы, жидкое стекло-отличаются высоким содержанием оксидов первой и второй групп периодической системы элементов и $K_{осн} \geq 1,6$. Для их производства необходимо сырье с соответствующими характеристиками.

Известно, что полиминеральные попутные продукты с $K_{осн} > 1,2$ (шлаки, шламы, золы), прошедшие соответствующую тепловую обработку, обладают вяжущими свойствами, которые увеличиваются с ростом значения $K_{осн}$ [1].

Для керамики, автоклавных материалов, стекла, минеральной ваты и др. характерно значение $K_{осн} < 1,2$ до ультракислого включительно.

Формула $K_{осн}$ позволяет без сложных экспериментов, только по валовому химиче-

скому анализу путем вычислений определить путь исследования и дальнейшего использования техногенного продукта (рисунок 1). Центральная линия на рисунке показывает области значений $K_{осн}$. Над чертой дано направление использования породы для тех или иных строительных материалов, характерных для каждой области значений $K_{осн}$. Под чертой указаны виды ВМР, химический состав которых имеет соответствующий $K_{осн}$.

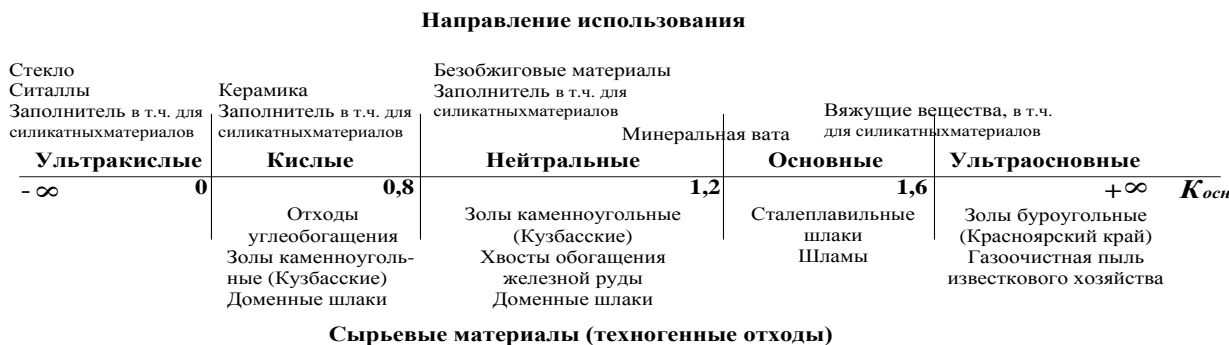


Рисунок 1 – Направление использования техногенных продуктов в зависимости от $K_{осн}$

Зная $K_{осн}$ можно не только характеризовать исходное сырье, но и рассчитать состав шихты, например, для получения вяжущего, с учетом направленного процесса минералообразования в конечном продукте.

Предлагается методика расчёта состава сырьевой смеси для бесклинкерного цемента по заданному значению коэффициента основности ($K_{осн}$).

Для расчета состава цемента, берется один компонент «основный» ($K_{осн} > 1$), второй – «кислый» ($K_{осн} < 1$). Для нахождения соотношения компонентов решается уравнение:

Сырьё с $K_{осн} > 1$ / Сырьё с $K_{осн} < 1$ и полученное уравнение приравнивается к единице –

$$\frac{[(CaO + 0,93 \cdot MgO + 0,6 \cdot R_2O) - (n \cdot 0,93 \cdot SiO_2 + 0,55 \cdot Al_2O_3 + 0,35 \cdot Fe_2O_3 + 0,7 \cdot SO_3)] \cdot X}{(n \cdot 0,9 \cdot SiO_2 + 0,55 \cdot Al_2O_3 + 0,35 \cdot Fe_2O_3 + 0,7 \cdot SO_3) - (CaO + 0,93 \cdot MgO + 0,6 \cdot R_2O)} = 1$$

где n – заданное для шихты значение $K_{осн}$; X – количество массовых частей «основного» сырья с $K_{осн} > 1$; на одну весовую часть «кислого» сырья с $K_{осн} < 1$.

Решив уравнение, определяется значение X , в частях и далее в процентах.

Установлено, что максимальную прочность обеспечивают бесклинкерные цементы, имеющие $K_{осн} = 1,2 \dots 1,6$, при меньшем его значении необходимо добавление высококальциевого компонента (известки), а при более высоком – «кислого», высококремнистого компонента (активная минеральная порода) [1].

Известно, что для регулирования схватывания и повышения качества цемента в его состав рекомендовано вводить сульфатный активизатор [4]. В качестве его чаще всего выступает гипсовый камень ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$). Содержание гипса допускается в пределах до 5% в расчете на SO_3 . Более высокое содержание SO_3 может вызвать неравномерное изменение объема цементного камня. Гипс (Γ) реагирует с алюминатами, и способствует получению новообразования – этtringита (гидросульфатоалюмината кальция):



Образовавшийся этtringит приводит к уплотнению смеси и повышению ее прочности. При этом идет увеличение объема новообразования по сравнению с исходными компонентами. Содержание сульфатного активизатора (Γ) в зависимости от содержания Al_2O_3 в цементе можно рассчитать по формуле:

$$\Gamma = \frac{0,48 \cdot \sum Al_2O_3}{\alpha_{\Gamma}}$$

$$\sum Al_2O_3 = Al_2O_3^{1ком} \cdot \frac{b_1}{100} + Al_2O_3^{2ком} \cdot \frac{b_2}{100},$$

где α_{Γ} – содержание чистого гипса в камне %; $\sum Al_2O_3$ – содержание в шихте общего Al_2O_3 ; b_1 и b_2 – процентное содержание Al_2O_3 в первом и втором компонентах; коэффициент 0,478 получаем из формулы:

$$\frac{0,75 \cdot M_{CaSO_4 \cdot 2H_2O}}{M_{C_3A}} = 0,478$$

где $M_{CaSO_4 \cdot 2H_2O}$, M_{C_3A} – молекулярные массы; 0,75 – оптимальная дозировка активизатора.

При расчёте необходимо проверить, будет ли содержание сульфатного компонента (Γ) соответствовать содержанию SO_3 по ГОСТ 10178 – 85. Данное условие проверяется по формулам:

$$SO_3^u = SO_3^{\Gamma} + SO_3^{1ком} + SO_3^{2ком},$$

где SO_3^u ; SO_3^{Γ} ; $SO_3^{1ком}$; $SO_3^{2ком}$ – содержание SO_3 соответственно в вяжущем, сульфатном активизаторе (гипсе), компонентах сырьевой шихты (1,2ком).

Содержание сульфатов в гипсе определяется по формуле:

$$SO_3^{\Gamma} = \frac{\Gamma}{M_{CaSO_4 \cdot H_2O} / M_{SO_3}} \cdot \frac{M_{CaSO_4 \cdot 2H_2O}}{M_{so_3}} = 2,15$$

Если содержание SO_3^u будет больше допустимых пределов (до 5% в пересчете на SO_3), то необходимо сделать корректировку расхода сульфатного активизатора.

При определении пригодности вторичного минерального ресурса (ВМР) в качестве заполнителя его необходимо проверить на стойкость к распадам: силикатному, известковому, железистому.

Силикатный распад. Известно, что с повышением содержания CaO (более 40%) техногенные отходы склонны к силикатному распаду. Происходит это потому, что находящийся в отходе минерал – двухкальциевый силикат из неустойчивой формы ($\gamma 2CaO \cdot SiO_2$) при $675^{\circ}C$ переходит в стабильное состояние ($2CaO \cdot SiO_2$), что сопровождается увеличением его объема на 10%, в результате порода растрескивается и рассыпается. Установлено, что особенно нестойки к распаду, например, сталеплавильные шлаки. Влияние на это явление оказывает температура охлаждения расплава. Предотвратить силикатный распад ВМР возможно его быстрым охлаждением и грануляцией. При использовании саморассыпающихся отходов в производстве в качестве заполнителя требуется их стабилизация, т.е. изменение химического и минералогического составов для получения устойчивой кристаллической структуры (вылеживание, полив водой в течение месяца) или запрет на применение в виде заполнителя.

Для лабораторной проверки стойкости ВМР к силикатному распаду пробу одной фракции испытывают пропариванием над кипящей водой или в автоклаве в среде насыщенного водяного пара при давлении 0,2 МПа (ГОСТ 9758-86). Таким образом, процессы распада силиката кальция нестабильной формы интенсифицируются и проявляются в измельчении зерен. Техногенный отход считается устойчивым к силикатному распаду, если в результате испытания потеря в массе данной фракции, т.е. отсеяв мелочи на сите, не превышает 5%.

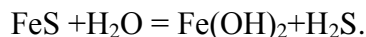
Для оценки распада породы можно использовать формулы:

$$SiO_{2\min} = \frac{100 - \sum RO}{2,5} \quad CaO_{\max} = \frac{100 - \sum RO}{1,8}$$

где RO – сумма всех оксидов техногенного отхода, за исключением CaO и SiO₂, %.

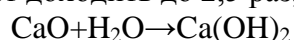
Отход считается распадающимся, если содержание SiO₂ меньше, а CaO больше, чем их количество, определённое расчётом по выше приведенным формулам.

Металлический (железистый) распад. Распад породы (продукта) происходит вследствие гидратации сульфидов железа FeS, а также MnS, MeS (сернистые соединения металлов) под влиянием атмосферной влаги.. В результате этой реакции объем увеличивается на 38%:



В лабораторных условиях исследование на стойкость к данному виду распада осуществляется выдерживанием пробы одной фракции в дистиллированной воде в течение 30 суток, после просушивания и просеивания количество рассыпавшихся фракций должно быть не более 5%, что свидетельствует о стойкости и возможности применения породы в качестве заполнителя.

Известковый и магнезиальный распад. Известковый распад характерен для ВМР, содержащих повышенное количество свободного оксида кальция (CaO), при гидратации которого увеличение объема может достигать до 2,5 раз, идет реакция:



Возможен *магнезиальный распад*, в результате гидратации MgO. В лабораторных условиях определение стойкости к данному виду распада определяется путем выдерживания определенной фракции и навески исследуемого сырья в воде или в условиях водонасыщенного пара, кипячение не менее 4-х часов.

На качественные характеристики искусственного строительного камня конгломератной структуры влияет множество технологических факторов: соотношение исходных материалов, их дисперсность, степень кристаллизации, минералогический состав, влажность, надежность дозирования и перемешивания компонентов; условия формования изделий; режим тепловой обработки; условия хранения и обработки изделий; состояние транспортных путей и условия транспортирования полуфабрикатов и готовых изделий и многие другие производственные факторы, которые иногда решающим образом сказываются на технико-экономических показателях производства в целом.

Можно ли в таких условиях, опираясь только на один показатель – K_{осн}, правильно выбрать исходное сырьё и прогнозировать качество товарной продукции. Положительный ответ на этот вопрос обуславливается следующим.

Производство строительных материалов базируется на законах химической технологии. При этом определяющим фактором является правильный расчет шихты, контроль химического состава которой возможен в заводских условиях. Коэффициент основности обеспечивает выполнение этих требований.

На действующих предприятиях основное технологическое оборудование обладает определёнными характеристиками и работает в заданном режиме. Следовательно, после определения состава шихты технологу остаётся отработать режимы тепловой обработки, поскольку значительных отклонений в режимах других переделов при определившейся схеме производства не должно быть. К настоящему времени накоплен солидный производственный и научный опыт, позволяющий с достаточной уверенностью выбирать измельчающее, дозирующее, смесительное, формующее и другое технологическое оборудование, чтобы не допустить грубых ошибок.

Модель, поэтапность исследования ВМР представлена на рисунке 2. Примеры расчета состава бесклинкерного цемента, результаты исследования техногенных отходов на экологичность, радиоактивность, разные виды распадов, а также разработанные технологические регламенты на получение различных видов изделий из ВМР приведены в библиографическом списке [2,3,5].



Рисунок 2 – Модель, поэтапность исследования ВМР для получения строительных материалов и изделий

Библиографический список

1. Боженков П.И. Комплексное использование минерального сырья и экология: учеб. пособие / П.И. Боженков. – М.: Изд. АСВ, 1994. – 264 с.
2. Панова В.Ф. Техногенные продукты как сырье для стройиндустрии: монография / В.Ф. Панова; СибГИУ, – Новокузнецк: 2009. – 288с., ил.
3. Панов С.А. Декоративные строительные материалы из отбеленного и активированного шлака: Монография / С.А. Панов, В.Ф.Панова / СибГИУ. – Новокузнецк, 2010. – 215 с.
4. Волженский А.В. Минеральные вяжущие вещества: Учеб. для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1986. – 464 с.
5. Панова В. Ф. Разработка технологических регламентов на производство строительных материалов и изделий из вторичных минеральных ресурсов (ВМР): учебное пособие / В. Ф. Панова, С. А. Панов; Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк : СибГИУ, 2015. – 201 с.

УДК 691.42

ВЛИЯНИЕ АПАТИТОВОГО КОНЦЕНТРАТА НА СПЕКАЕМОСТЬ АРГИЛЛИТОПОДОБНЫХ ГЛИН И АРГИЛЛИТОВ

Котляр А.В.

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет»,
г. Ростов-на-Дону, Россия, toss871@yandex.ru

Аннотация. Показана актуальность использования камневидного литифицированного глинистого сырья – аргиллитоподобных глин и аргиллитов, для производства изделий грубой строительной керамики с повышенной спекаемостью и прочностью – дорожный и строительный клинкерный кирпич, черепица, фасадные плиты. Приведены результаты по технологическим свойствам камневидного глинистого сырья и влияния на спекаемость апатитового концентрата, вводимого в сырьевые массы в небольшом количестве.

Ключевые слова: керамика, клинкерный кирпич, аргиллит, аргиллитоподобная глина, спекаемость, апатит, обжиг.

Повышенный спрос и ускоренный рост производства дорожного и строительного клинкерного кирпича в нынешних экономических условиях выдвигает особые требования к сырьевой базе для его производства. Согласно требованиям, ГОСТ 530-2012 «Кирпич и камень керамические. Общие технические условия» строительный клинкерный кирпич должен иметь водопоглощение менее 6 %, предел прочности при сжатии 30-100 МПа и морозостойкость более F75. Согласно ГОСТ 32311-2012 «Кирпич керамический клинкерный для мощения» дорожный клинкерный кирпич должен иметь водопоглощение менее 2,5 %, предел прочности при изгибе более 7,5 МПа, истираемость менее 1,5 г/см² и морозостойкость более F200. Исходя из этого, можно утверждать, для производства клинкерного кирпича требуется спекающееся глинистое сырьё и весьма желательно низкотемпературного (менее 1100 °С) или среднетемпературного (1100-1300 °С) спекания.

Условно говоря, клинкерный кирпич может быть изготовлен и из неспекающегося сырья, путём тщательного подбора сырьевых масс и технологических параметров производства, однако это влечёт за собой существенное повышение себестоимости. Проведя анализ литературных источников, нормативных и рекомендательных документов, можно обозначить основные рекомендательные требования к глинистому сырью для производства клинкерного кирпича [1-3]. В химическом отношении для производства клинкерного кирпича наиболее пригодными считаются глины с кремнезёмистым модулем ($(\text{SiO}_2 / \text{R}_2\text{O}_3 + \text{RO} + \text{RO}_2)$ 3-4,5. В натуральном выражении это содержание SiO_2 от 52 % до 68 %, со-

держание Al_2O_3 от 16 до 24 % (полукислые глины). Оксид алюминия повышает вязкость расплава и позволяет уменьшить деформации кирпича при обжиге. Повышенное содержание кремнезёма предопределяет получение хрупких изделий. Повышенное содержание оксида кальция нежелательно, т.к. он уменьшает интервал спекания, а выделяемый углекислый газ может увеличивать пористость изделий. Однако известны примеры получения клинкера из глин, содержащихся до 16 % $CaCO_3$, т.е. 8-9 % CaO . Клинкерный кирпич из таких глин получается весьма прочным и износостойким. Оксид кальция делает черепок более светлым. Содержание оксида магния не должно превышать 3-4 %. Глины с высоким содержанием магния дают значительную огнеую усадку. При этом небольшая доля оксида магния в сочетании с оксидом кальция увеличивает интервал спекания. Сумма оксидов железа для производства клинкерного кирпича не должна превышать 8 %. Это связано с тем, что при обжиге выше 1100 °С Fe_2O_3 может восстанавливаться до FeO , который вступает в реакцию с оксидом кремния, образуя фаялит (Fe_2SiO_4), который формирует на поверхности кирпича легкоплавкий расплав, что препятствует отведению и удалению газов. При быстром обжиге это может привести к вспучиванию изделий. Содержание железа определяет цвет кирпича, который варьирует от красного, красно-коричневого, вишнево-красного до тёмно-фиолетового. Немаловажное значение для спекания глины имеет степень дисперсности содержащегося в глине оксида и гидроксида железа. Сумма соединений серы в пересчете на SO_3 не должна быть больше 1,0 %, в том числе сульфидной серы не более 0,3 %. Сумма оксидов калия и натрия (K_2O+Na_2O) – не должна превышать 7 %. Этот показатель для глин очень редко превышает. Предпочтительно большее содержание оксида калия, т.к. он способствует расширению интервала спекания.

Традиционное спекающееся глинистое сырьё в России является достаточно дефицитным и дорогим. С учётом транспортировочных расходов его стоимость может достигать 2-3 тыс. рублей за тонну, что для клинкерного кирпича не приемлемо. Поэтому поиск новых сырьевых источников для клинкерного кирпича является достаточно актуальной задачей. Проведённый нами анализ сырьевой базы строительной керамики юга России показал, что для производства клинкерного кирпича весьма перспективными являются аргиллитоподобные глины и аргиллиты. До настоящего времени нет чётких общепринятых «узаконенных» определений данных горных, хотя эти термины широко применяются в геологической и инженерно-геологической литературе. В основном нормативном документе, регламентирующем геологические работы по глинистому сырью, названия пород даны достаточно неопределённо [4]:

– глины – несцементированные связные пластичные осадочные породы, обладающие свойством образовывать с водой вязкую массу, способную формоваться и сохранять приданную ей форму. Обожженная в огне – приобретает каменную твердость и крепость;

– аргиллиты – камнеподобные породы, не размокающие в воде, образующиеся в результате уплотнения и эпигенеза глин. По минеральному составу аргиллиты практически не отличаются от глин;

– глинистые сланцы – метаморфические плотные сланцеватые породы, состоящие из гидрослюд, хлорита, иногда каолинита, реликтов других глинистых минералов, кварца, полевого шпата и других неглинистых минералов.

Большая переходная группа глинистых пород между глинами и не размокающими аргиллитами, которые согласно ГОСТ 21216-2014 «Сырьё глинистое. Методы испытаний» являются плохо размокающими в воде, никак не обозначены. Они и являются по технологическим признакам аргиллитоподобными глинами. Под термином «плохо размокающие в воде» следует понимать – размокают очень медленно, размокают при механическом воздействии и при многократном увлажнении и высыхании. Это подтверждается литературными данными, многочисленными испытаниями и указывалось в наших публикациях и публикациях других авторов [5-8].

Аргиллитоподобные глины и аргиллиты, имеют широкое распространение во многих регионах России – это все угледобывающие регионы, Урал, Сибирь, Дальний Восток, юг России. Запасы их огромны и составляют сотни миллиардов тонн. К сожалению, данное сырьё практически не применяются для производства стеновой керамики. Работают лишь единичные заводы по устаревшим технологиям. Следует отметить, что вовлечение в производство керамики камнеподобного глинистого сырья – аргиллитоподобных глин, аргиллитов, глинистых сланцев, алевролитов и переходных разновидностей между этими видами пород, является общемировой тенденцией. Особенно интенсивно эти работы проводятся в США и Китае.

Что касается юга России, аргиллитоподобные глины и аргиллиты широко распространены в Восточном Донбассе и практически по всему Предкавказью и Кавказу. Площади распространения достаточно обширны. В Ростовской области они генетически связаны с месторождениями угля, песчаников, алевролитов. На Кавказе, в силу особенностей тектонических структур, выходы данного сырья прослеживаются в субширотном направлении. Мощности выходов на дневную поверхность достигают десятков и сотен метров.

В минеральном составе аргиллитоподобных глин и аргиллитов преобладают гидрослюдистые минералы, хотя он достаточно разнообразен. Почти всегда присутствует каолинит, хлорит и может присутствовать в небольшом количестве монтмориллонит. По минералогическому составу можно выделить гидрослюдистые аргиллитоподобные глины, гидрослюдисто-каолинитовые и полиминеральные. Наибольшим распространением пользуются первые и вторые. Связано это условиями образования – воздействием высоких давлений и повышенных температур на первичные глины, в результате чего происходит иллитизация (гидрослюдизация) смектитов – переход монтмориллонитового компонента глин в гидрослюдистый. Они литифицируются и полностью или частично теряют пластичность. В целом, глинистая составляющая аргиллитоподобных глин представлена в большей мере гидрослюдами (в среднем 50-70 %), каолинитом (20-30 %), хлоритом (5-15 %) и в небольшом количестве смешаннослойными глинистыми минералами и монтмориллонитом.

В технологическом плане аргиллитоподобные глины и аргиллиты являются малопластичным и умереннопластичным сырьём. Особенностью является увеличение их пластичности при увеличении диспергации в отличие от обычных глин у которых пластичность практически не изменяется. Также они отличаются небольшой воздушной усадкой (2,5-6,0 %) и низкой чувствительностью к сушке. Особенности дообжиговых свойств данного сырья определяют, что на его основе можно формовать изделия различными способами – пластическим, компрессионным (полусухое прессование), а также способом жёсткой или полужёсткой экструзии. Однако следует иметь в виду, что способ компрессионного формования позволяет достичь большей плотности сырца, а соответственно плотности и прочности обожжённых изделий, и это многократно подтверждено нами и другими исследователями [6,7,9,10]. Кроме того, эта технология имеет ряд преимуществ в сравнении с пластическим способом и является более простой и экономичной.

Особенностью аргиллитоподобных глин и аргиллитов является то, что их многие технологические свойства зависят от степени измельчения и черепок отличается повышенной прочностью и особенно на изгиб. В большинстве случаев они являются спекающимся сырьём. На рисунках 1-3 показано влияние степени измельчения на водопоглощение, предел прочности при сжатии и изгибе обожжённых образцов на примере аргиллитоподобных глин Горняцкого месторождения.

Свойства аргиллитов и аргиллитоподобных глин делают их весьма перспективным сырьём для производства дорожного и строительного клинкерного кирпича, черепицы, фасадных керамических плит, клинкерной плитки, кислотоупоров и других изделий для которых требуется высокая прочность, стойкость к агрессивным средам и долговечность. Однако данное сырьё имеет один недостаток – склонность к вспучиванию при быстром обжиге. Обусловлено это во многом повышенным содержанием оксидов железа, которое

складывается в основном из их содержания в связанном состоянии в структуре глинистых минералов (глауконит, иллит, нонтронит и др.) и в виде примесей оксидов и гидроксидов железа. Это предопределяет более внимательное отношение к режиму обжига. При температурах 1100-1150 °С частично происходит удаление кислорода:



При этом черепок уже в значительной степени уплотнен, поэтому кислород не может свободно удалиться и содействует вспучиванию. Содержащаяся органика способствует образованию восстановительных условий обжига как во внешней среде, так и внутри изделий. Восстановление Fe_2O_3 происходит согласно уравнению:



В период восстановления, пока черепок еще пористый, CO «забирает» у Fe_2O_3 кислород, который позднее сам может стать причиной вспучивания, также как и органика. Образующийся при восстановлении FeO улучшает условия спекания черепка и ускоряет его уплотнение. Поэтому для данного сырья период спекания при конечных температурах должен проходить достаточно продолжительное время, а это влечёт за собой увеличение размеров печей, повышенный расход топлива на обжиг, количества обжиговых вагонеток и т.д., что экономически не целесообразно. Поэтому обжиг желательнее проводить при температурах не выше 1100 °С.

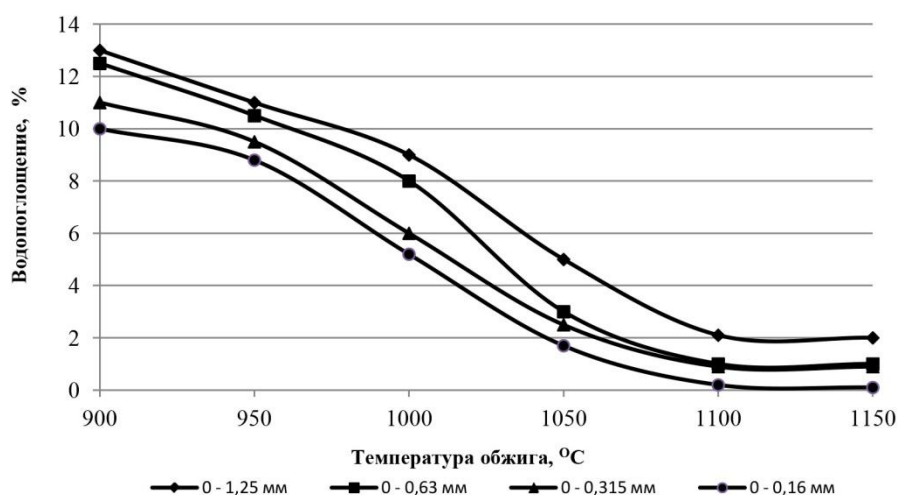


Рисунок 1 – Зависимость водопоглощения обожженных образцов от температуры обжига и степени измельчения

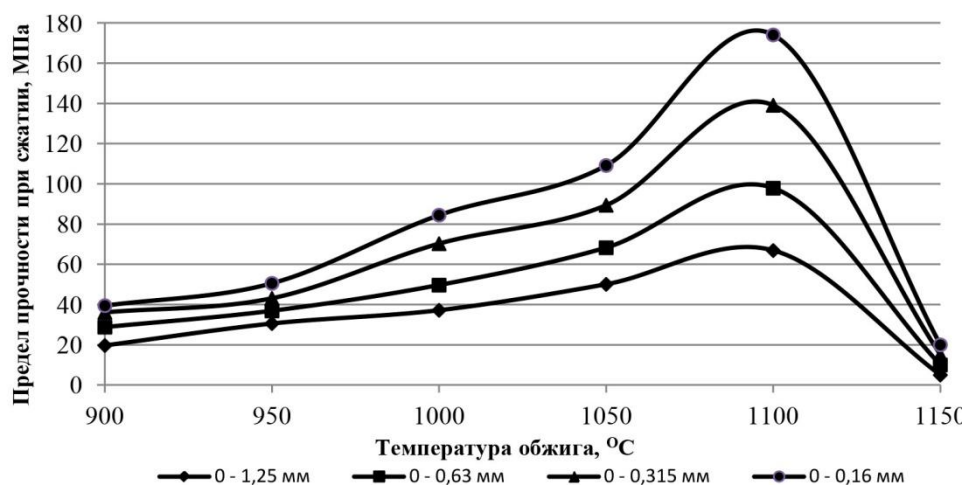


Рисунок 2 – Зависимость предела прочности при сжатии обожженных образцов от температуры обжига и степени измельчения

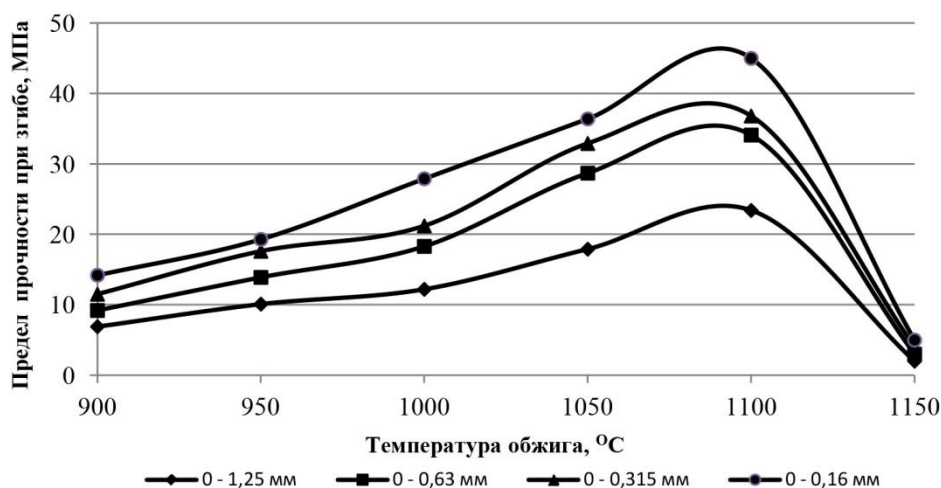


Рисунок 3 – Зависимость предела прочности при изгибе обожжённых образцов от температуры обжига и степени измельчения

Задачей является достижение необходимой степени спекания при пониженных температурах обжига – до 1050-1080 °С. Применительно к клинкерному дорожному кирпичу это водопоглощение менее 2,5 % при соответствующих требуемых других показателях. Немаловажным фактором для снижения температуры обжига клинкерного кирпича на основе аргиллитов и аргиллитоподобных глин, является то, что это даст возможность обжигать его в существующих печах для обжига стеновой керамики. Температуры обжига выше 1100 °С требуют использования огнеупоров более высокого класса, что требует реконструкции печей. На существующем стандартном оборудовании для производства стеновой керамики степень измельчения, без существенного увеличения затрат, достигается в среднем до фракции 0,0 – 0,6-0,8 мм эта фракция с технико-экономической точки зрения является наиболее приемлемой для дорожного клинкерного кирпича. Более тонкий помол требует оборудование другого типа и существенное увеличение затрат, хотя степень измельчения и является важнейшим фактором спекания. В нашем случае для данного сырья при температуре обжига 1050 °С водопоглощение составляет 3,0 % при необходимом максимуме 2,5 %, хотя прочностные и другие показатели соответствуют требованиям.

Проведённый нами анализ показал, что эффективным способом увеличить степень спекания и снизить температуру обжига может стать ввод в сырьевую массу минерализаторов. Минерализаторы – это вещества, вводимые в сырьевую смесь в небольшом количестве (от долей %) и активно участвующие в спекании и образовании новых минеральных фаз.

Наиболее часто в качестве минерализаторов в керамике и производстве цемента используют фтористые и кремнефтористые соединения: плавиковый шпат (флюорит) – CaF_2 , кремнефтористый натрий – Na_2SiF_6 , апатит – $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH}, \text{F}, \text{Cl})_2$, соединения бария, цинка, лития, бора и др. Нами по технико-экономическим соображениям для экспериментов выбран апатит в виде тонкоизмельчённого (менее 0,1 мм) апатитового концентрата с содержанием полезного вещества около 80 % и примесью нефелина. Апатитовый концентрат вводился в сырьевые смеси в количестве до 6 % с интервалом 2 %. На рисунках 4 и 5 показано влияние апатитового концентрата на водопоглощение и предел прочности при изгибе при различных температурах обжига.

Как видно, апатит оказывает существенное влияние на спекание. Особенно процесс спекания с добавкой апатита интенсифицируется с температуры около 1000 °С. Приемлемые показатели для дорожного клинкера по водопоглощению достигаются при температуре обжига 1050 °С. Если без добавки водопоглощение при температуре обжига 1050 °С составляет 3 %, то при содержании добавки 2 % – 2,1 %, при 4 % – 1,7 % и при 6

% – 1 %. Также при вводе апатитового концентрата существенно возрастает и прочность. При этом вспучивания образцов не наблюдается.

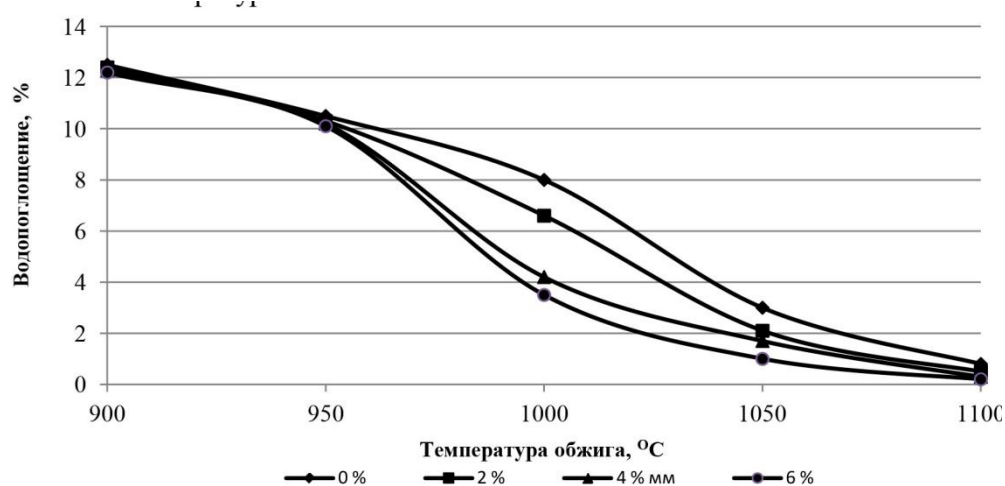


Рисунок 4 – Влияние содержания апатита и температуры обжига на водопоглощение

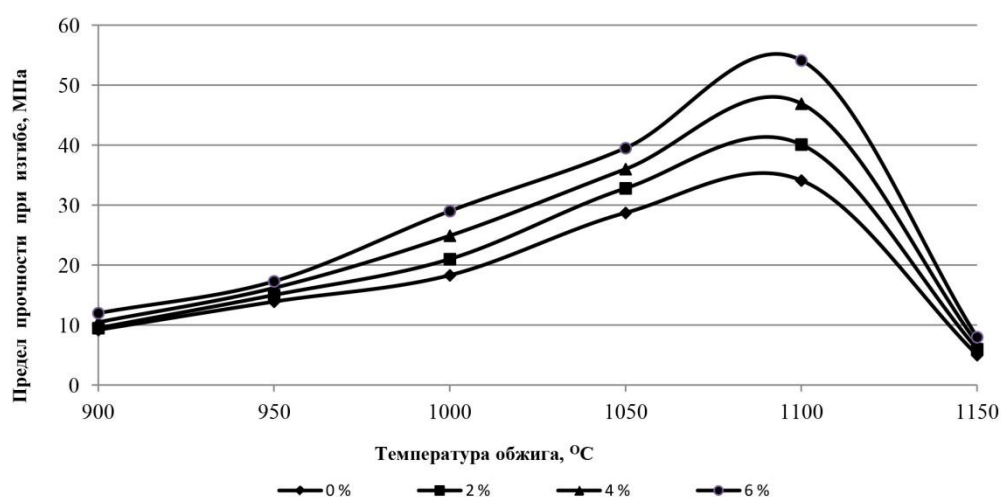


Рисунок 5 – Влияние содержания апатита и температуры обжига на предел прочности при изгибе

Таким образом, результаты проведённых экспериментов позволяют утверждать, апатит является перспективной добавкой для производства дорожного клинкерного кирпича на основе аргиллитов и аргиллитоподобных глин, который может вводиться в сырьевые массы в различном виде – апатитового концентрата, химического соединения, фосфоритовой муки и т.д. Его ввод в небольшом количестве позволяет увеличить степень спекания данного сырья, что актуально при производстве дорожного клинкерного кирпича.

Библиографический список

1. Езерский В. А. Клинкер. Технология и свойства // Строительные материалы. 2011. № 4. С. 79-81.
2. Августиник А.И. Керамика. Л.: Стройиздат, 1975. 592 с.
3. Гузман П.Я. Химическая технология керамики. М.: ООО РИФ «Стройматериалы», 2003. 496 с.
4. Методические рекомендации по применению Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Глинистые породы. М., 2007. 38 с. Утверждены распоряжением МПР России от 05.06.2007 г. № 37-р.

5. Талпа Б.В., Котляр А.В. Минерально-сырьевая база литифицированных глинистых пород Юга России для производства строительной керамики // Строительные материалы. 2015. № 4. С. 31-33.

6. Котляр В.Д., Терёхина Ю.В., Котляр А.В. Методика испытаний камневидного сырья для производства стеновых изделий компрессионного формования // Строительные материалы. 2014. № 4. С. 24-27.

7. Котляр В.Д., Козлов А.В., Котляр А.В., Терёхина Ю.В. Особенности камневидных глинистых пород Восточного Донбасса как сырья для производства стеновой керамики // Вестник МГСУ. 2014. № 10. С. 95-105.

8. Котляр А.В., Талпа Б.В., Лазарева Я.В. Особенности химического состава аргиллитоподобных глин и аргиллитов // Строительные материалы. 2016. № 4. С. 10-14.

9. Столбоушкин А.Ю. Стеновые керамические материалы матричной структуры на основе обогащения отходов углистых аргиллитов // Известия вузов. Строительство. 2013. № 2-3. С. 28-36.

10. Столбоушкин А.Ю., Стороженко Г.И. Отходы углеобогащения как сырьевая и энергетическая база заводов керамических стеновых материалов // Строительные материалы. 2011. № 4. С. 43-46.

УДК 691.42

ВЛИЯНИЕ ВЛАЖНОСТИ ПРЕСС-ПОРОШКА И ДАВЛЕНИЯ ПРЕССОВАНИЯ НА ПРОЧНОСТЬ ОТФОРМОВАННЫХ ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ ОПОКОВИДНЫХ ПОРОД

Котляр В.Д., Лапунова К.А., Лазарева Я.В., Козлов Г.А.

*ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет»,
г. Ростов-на-Дону, Россия, diatomit_kvd@mail.ru*

***Аннотация.** Показана актуальность использования кремнистых опоковидных пород для производства стеновой керамики. Приведены результаты исследований о влиянии влажности пресс-порошков, удельного давления прессования и зернового состава исходного сырья на прочность свежесформованных образцов. Приведено теоретическое обоснование установленным закономерностям. Даны технологические рекомендации по получению сырцовых изделий с необходимой прочностью.*

***Ключевые слова:** стеновая керамика, опоковидные породы, влажность, прессование, прочность.*

Одним из важных технологических свойств сырья при производстве изделий стеновой керамики по технологии компрессионного формования является их изначальная прочность. В процессе пакетировки, транспортировки, садки изделия подвергаются различным механическим воздействиям. При этом они не должны разрушаться, не должно быть повреждений граней, отбитостей углов, трещин, сколов и т.д. Также в сформированных пакетах кирпич нижних рядов испытывает нагрузку от вышележащих рядов и теоретически нагрузка на отдельный кирпич нижнего ряда может составлять до 0,5 кгс/см². Однако в процессе транспортировки пакета могут возникать нагрузки, которые усиливают давление на нижние ряды кирпича в несколько раз. Специальных требований к прочностным свойствам свежесформованных изделий нет. Однако, как показывает практический опыт, при компрессионном формовании изделий к сырцу предъявляются определённые требования. Если отпрессованные изделия сразу с помощью толкателя подаются на ленточный транспортёр и далее подаются к месту пакетировки (обычно это система конвейеров) предел прочности при сжатии изделий должен быть не менее 2 МПа. Если же кирпич пакетируется сразу после пресса, его прочность может быть снижена до 1 МПа. К примеру, прочность полуфабриката кирпича на основе различных цементно-минеральных композиций и силикатного кирпича должна быть не менее 0,8-1,0 МПа.

Особенно это актуальным является для кремнистых опоковидных пород и глинистого камневидного сырья (аргиллитоподобные глины, аргиллиты, глинистые сланцы и др.), так как в виду меньшего содержания глинистых минералов и камневидной структуры, прочность сырца у них меньше в сравнении с мягкими глинами [1-9]. Опыт показал, при испытаниях опоковидных и камневидных глинистых пород как сырья для стеновой керамики необходимо ориентироваться на минимальный предел прочности при сжатии сырца при компрессионном способе формования 2 МПа. Кроме того, в условиях стабильного производства в определённой степени по прочности сырца можно судить и о прочности обожжённых изделий и достаточно достоверно прогнозировать марку обожжённых изделий.

Как показали результаты проведённых исследований, на прочность сырца оказывают существенное влияние различные факторы – вещественный состав сырья, формовочная влажность, степень их измельчения и давление прессования. На рисунках 1-5 в качестве примера представлены графики зависимости предела прочности при сжатии образцов от давления прессования и влажности пресс-порошка для некоторых из изученных разновидностей опоковидных пород, относящимся к различным литологическим разновидностям [2,3,10]. Зерновой состав измельчённого сырья характеризовался наибольшей крупностью зёрен 2,5 мм. Гранулометрический состав увлажнённого пресс-порошка приближался к рекомендуемому.

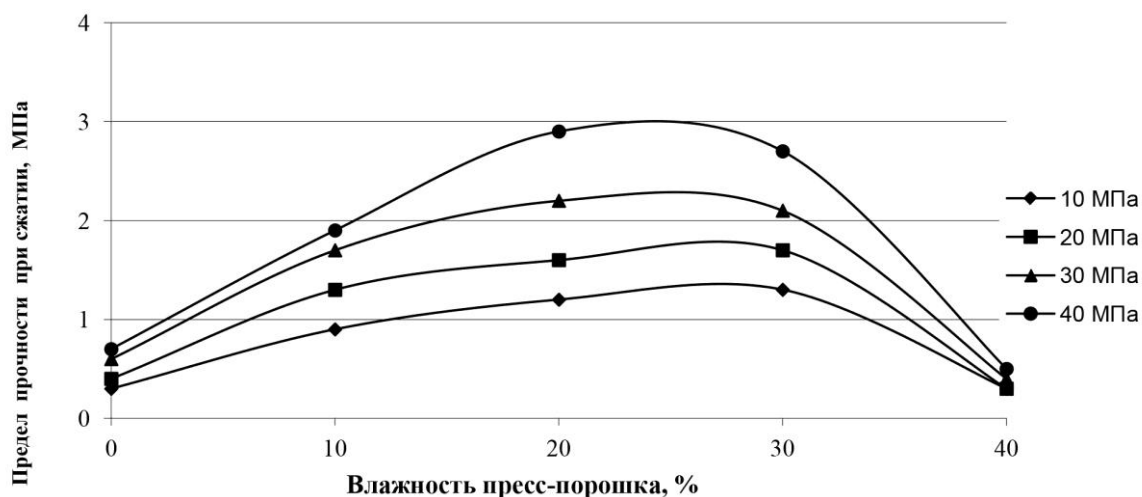


Рисунок 1 – Влияние влажности пресс-порошка и давления прессования на прочность образцов на основе опоки Вольского месторождения

Как видно, с увеличением удельного давления прессования значительно возрастает и прочность прессовок. При увеличении удельного давления от 10 до 40 МПа прочность в зависимости от влажности увеличивается до 2,5 раз. При этом наибольший прирост прочности отмечается при средних значениях влажности, которые близки к оптимальным. Стоит отметить, что давление прессования в 10 МПа является в большинстве случаев недостаточным, так как необходимая прочность образцов при оптимальной влажности достигается только у глинистых разновидностей опок. У многих образцов, отпрессованных при давлении выше 40-50 МПа, начинают проявляться признаки перепрессовки. В большей мере это выражено у опок «нормальных» и глинистых, в меньшей – у глинисто-карбонатных и карбонатных. Более тонкое измельчение обычных «нормальных» опок также способствует перепрессовке. В целом же, можно говорить, что для получения достаточно прочного сырца на основе малоглинистых опок необходимы удельные давления прессования 15-30 МПа, однако на практике этот интервал может изменяться в зависимости от ступенчатости прессования, скорости нарастания давления, продолжительности выдержки и т.д. Значительное влияние на прочностные свойства сырца оказывает и веще-

ственный состав опок. Прежде всего, прочность обусловлена содержанием глинистого вещества, представленного в основном гидрослюдистыми минералами.

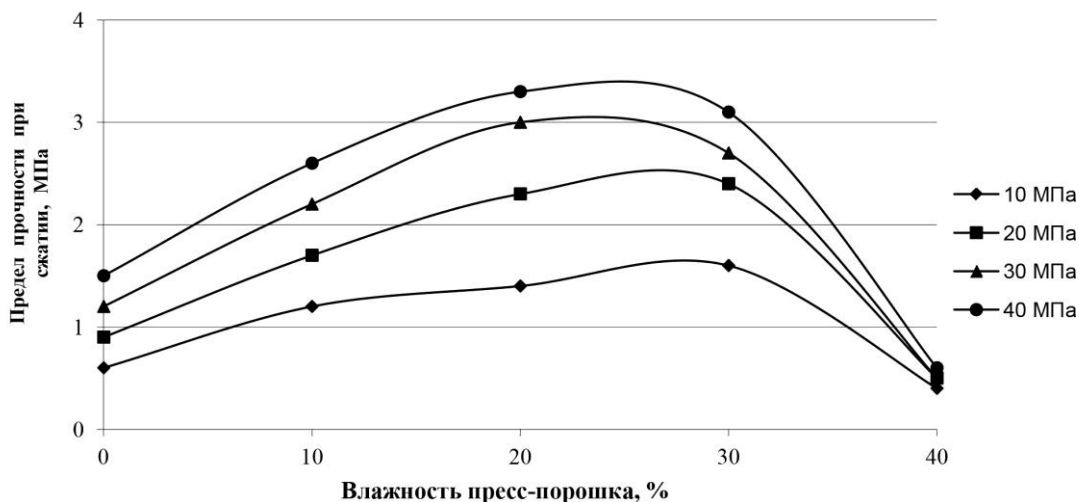


Рисунок 2 – Влияние влажности пресс-порошка и давления прессования на прочность образцов на основе опоки Авило-Фёдоровского месторождения

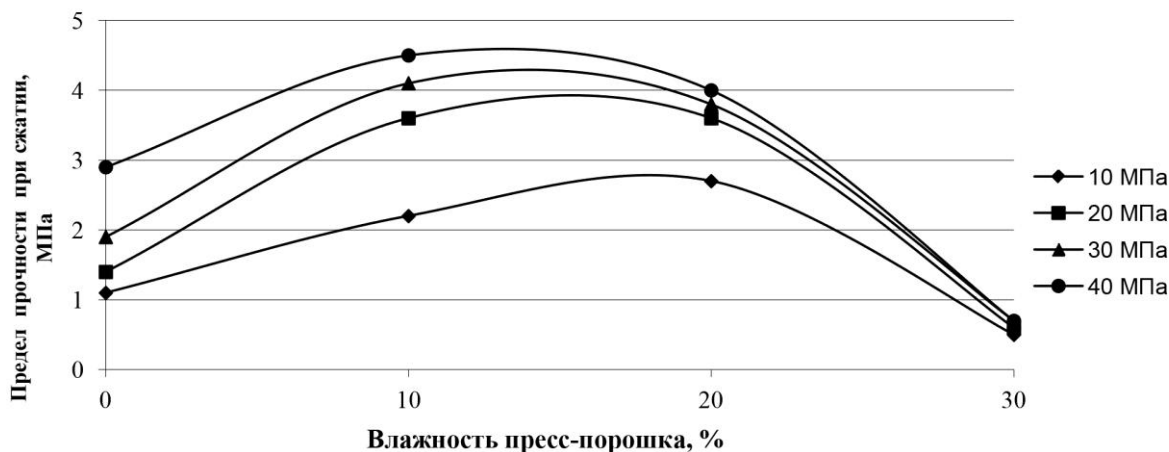


Рисунок 3 – Влияние влажности пресс-порошка и давления прессования на прочность образцов на основе опоки Шевченковского месторождения

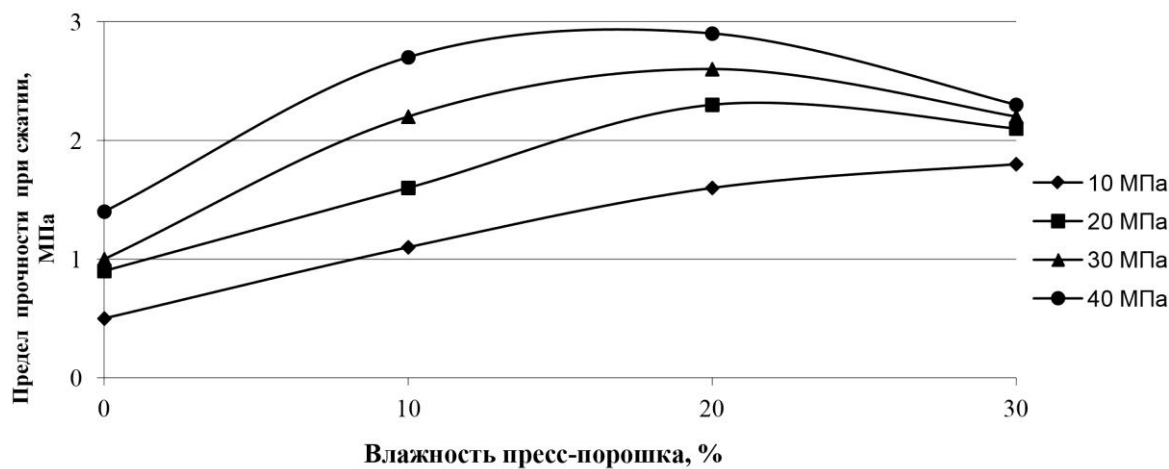


Рисунок 4 – Влияние влажности пресс-порошка и давления прессования на прочность образцов на основе опоки Баканского месторождения

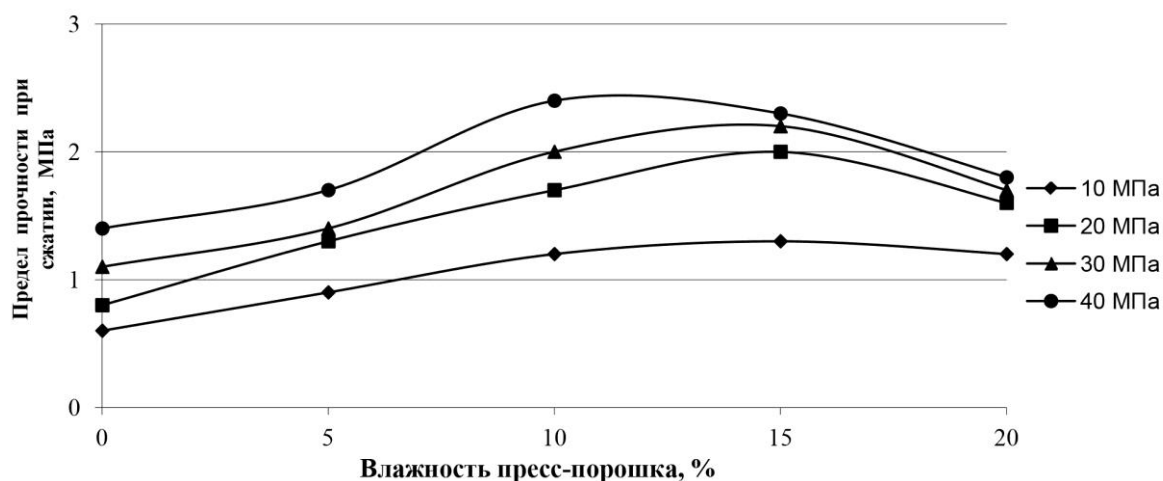


Рисунок 5 – Влияние влажности пресс-порошка и давления прессования на прочность образцов на основе опоки Нагольновского месторождения

Так, наибольшая прочность наблюдается у глинистых и глинисто-карбонатных разновидностей, наименьшая – у карбонатных и «нормальных». Объясняется это тем, что именно глинистые минералы обладают наибольшими значениями сил поверхностного взаимодействия между частицами.

Как уже говорилось, у керамических пресс-порошков на основе опок, формовочная влажность изменяется в сравнении с суглинками в более широких пределах. Как видно из полученных результатов, для опок оптимальные значения влажности для получения наиболее прочного сырца находятся в достаточно широких интервалах. Более широкими интервалами влажности отличаются малоглинистые высокопористые опоки. Оказывает влияние на прочность и степень измельчения сырья. На рисунках 6 и 7 приведены графики зависимости прочности прессовок при оптимальных значениях влажности пресс-порошка и удельного давления прессования от степени измельчения для опок Авило-Фёдоровского и Нагольновского месторождения. В общем плане, такие же зависимости характерны и для других литологических разновидностей опок, однако оптимум влажности в зависимости от вещественного состава и структурных особенностей может смещаться.

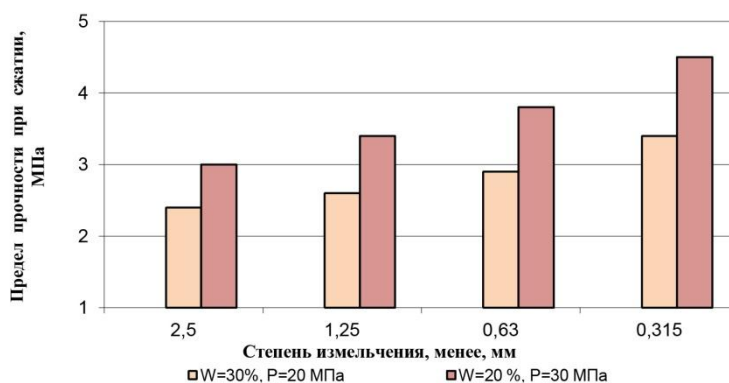


Рисунок 6 – Зависимость прочности отпрессованных образцов от степени измельчения опоки Авило-Фёдоровского месторождения

Для всех изученных литологических разновидностей опок независимо от вещественного состава, удельного давления прессования и степени измельчения отмечаются общие закономерности: с увеличением влажности пресс-порошка прочность сырца плавно возрастает, достигая своего максимума, а затем более резко снижается. Объясняется это тем, что с увеличением влажности до условного оптимума внутреннее и внешнее трение при прессовании уменьшается, частицы сближаются, плотность прессовки в пере-

счёте на сухое вещество увеличивается, и сила сцепления частиц между собой возрастает. При влажности больше оптимальной плотность прессовки может увеличиваться, однако избыточная влага образует вокруг частиц плёнки, снижающие силы поверхностного взаимодействия между ними и вода действует уже как «смазка» при разрушении.

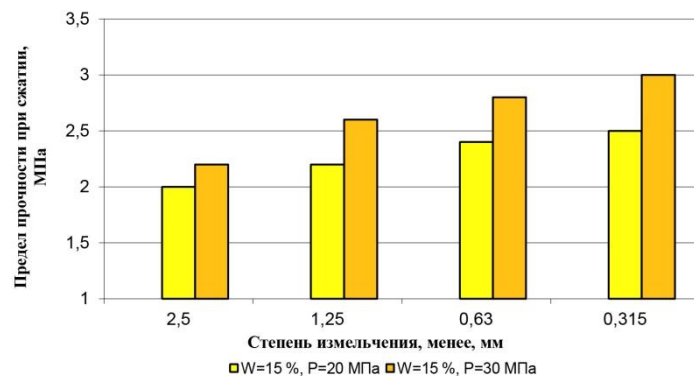


Рисунок 7 – Зависимость прочности отпрессованных образцов от степени измельчения опоки Нагольновского месторождения

С увеличением степени измельчения опок в изученных пределах прочность прессовок возрастает в 1,2-2,0 раза между порошками с наибольшей крупностью зёрен 0,315 и 2,5 мм. Объяснением этому является увеличение общей поверхности зёрен, рост свободной поверхностной энергии и площади взаимных контактов зёрен. Это не противоречит многим ранее проведенным исследованиям и практическим данным. Безусловно, увеличению прочности сырца с увеличением степени измельчения наступит предел. Однако для этого нужен достаточно тонкий помол, неприемлемый для технологии грубой керамики.

Подводя итог, можно констатировать, что на основе опок вполне возможно получение прессовок необходимой прочности, хотя в целом прочность прессовок на основе суглинков и глин выше, чем на основе опок. После подсушки прочность образцов существенно возрастает. Особенно резкий рост прочности наблюдается после подсушки образцов с высокой формовочной влажностью, и чем лучше высушены образцы, тем выше их прочность. Данный аспект необходимо учитывать при разработке технологических схем производства, так как для некоторых видов опок более приемлемыми параметрами формования изделий являются повышенная влажность пресс-порошка и невысокое удельное давление прессования.

Библиографический список

1. Котляр В.Д. Особенности прессования керамических порошков на основе опок при производстве стеновой керамики // Строительные материалы. 2009. № 12. С. 28-32.
2. Котляр В.Д. Лапунова К.А. Технологические особенности опок как сырья для стеновой керамики // Известия вузов. Строительство. «НГАСУ». 2009. № 11–12. С. 25-31.
3. Котляр В.Д., Терёхина Ю.В. Методика испытания кремнистых пород для производства кирпича способом полусухого прессования // Материалы XV Академических чтений РААСН «Достижения и проблемы материаловедения и модернизации строительной индустрии». КГАСУ, 2010. С. 461-464.
4. Котляр В.Д., Терёхина Ю.В. Методика оценки качества кремнистых пород при организации производства кирпича керамического // Вестник МГСУ. 2010. № 2. С. 237-241.
5. Талпа Б.В., Котляр А.В. Минерально-сырьевая база литифицированных глинистых пород Юга России для производства строительной керамики // Строительные материалы. 2015. № 4. С. 31-33.

6. Столбоушкин А.Ю. Стеновые керамические материалы матричной структуры на основе обогащения отходов углистых аргиллитов // Известия вузов. Строительство. 2013. № 2-3. С. 28-36.

7. Котляр А.В., Талпа Б.В., Лазарева Я.В. Особенности химического состава аргиллитоподобных глин и аргиллитов // Строительные материалы. 2016. № 4. С. 10-14.

8. Столбоушкин А.Ю., Стороженко Г.И. Отходы углеобогащения как сырьевая и энергетическая база заводов керамических стеновых материалов // Строительные материалы. 2011. № 4. С. 43-46.

9. Кара-сал Б.К., Котельников В.И., Сапелкина Т.В. Получение керамического стенового материала из вскрышных пород углеобогащения // Естественные и технические науки. 2015. № 2. С. 160-163.

10. Котляр В.Д. Классификация кремнистых опоковидных пород как сырья для производства стеновой керамики // Строительные материалы. 2009. № 3. С. 36-39.

УДК 691.175: 628.938

АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ КОЛОРИМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИТОВ РАЗЛИЧНЫХ ЦВЕТОВ В ПРОЦЕССЕ НАТУРНОГО ЭКСПОНИРОВАНИЯ*

Низина Т.А., Чернов А.Н., Низин Д.Р., Попова А.И.

*ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарёва»
г. Саранск, Россия, nizinata@yandex.ru*

***Аннотация.** Представлены результаты натуральных испытаний эпоксидных композитов различных цветов. Приведен анализ изменения колориметрических характеристик в процессе натурального экспонирования в зависимости от цвета эпоксидных композитов. Предложена математическая модель, описывающая изменение насыщенности цвета полимерных композитов в зависимости от длительности экспонирования, суммарной солнечной радиации и ультрафиолетового излучения диапазонов А и В. Установлено повышение надежности аппроксимации при использовании в качестве варьируемых факторов актинометрических параметров.*

***Ключевые слова:** защитно-декоративные покрытия, эпоксидные композиты, суммарная солнечная радиация, ультрафиолетовое излучение, цветовая насыщенность.*

В последние десятилетия произошли значительные качественные изменения в сфере материаловедения. Во многих отраслях происходит активное вытеснение традиционных материалов и замена их на полимерные композиционные материалы [1]. Это способствует появлению новых видов полимерных связующих и совершенствованию технологий их производства [2 – 4]. В строительстве наиболее широкое применение получили композиционные материалы на основе эпоксидных смол. Благодаря высокой стойкости к воздействию различных агрессивных факторов, эпоксидные композиты эффективно используются в качестве защитных покрытий строительных конструкций [4, 5]. Вместе с тем, эпоксидные композиционные материалы обладают низкой стойкостью к воздействию климатических факторов [6 – 9], что требует проведения дополнительных натуральных испытаний.

В процессе эксплуатации полимерные композиты подвергаются воздействию переменных температур, влажности, ультрафиолетового излучения и других агрессивных факторов, инициирующих процессы старения. При этом в процессе натурального экспонирования наблюдается изменение не только физико-механических, но и декоративных показателей защитных покрытий, активное изменение которых (выгорание, потемнение, образование пятен и потеков и т.д.) приводит к потере первоначального облика, а также, как правило, свидетельствует об активном протекании процессов деструкции [6 – 9].

Известно, что изменение колориметрических характеристик при натурном экспонировании в большей степени вызвано протеканием фотохимических реакций под воздействием солнечного света. Однако, степень и характер изменений может существенно различаться в зависимости от длины волны попадающего на композит излучения [6]. Наиболее разрушительное воздействие на полимеры оказывает ультрафиолетовое излучение (300 ÷ 400 нм), длительное воздействие которого способно вызвать разрыв многих молекулярных связей [9].

На базе климатической площадки эколого-метеорологической лаборатории Мордовского государственного университета им. Н.П. Огарёва проводились исследования изменения колориметрических характеристик четырех групп эпоксидных композитов различных цветов, экспонированных в течение 10 месяцев с апреля 2015 года по февраль 2016 года (таблица 1). Исследуемые составы представляли собой композиты на основе низковязкой эпоксидной смолы Этал-247. В зависимости от вида отвердителей – Этал-1472, Этал-45 TZ2 и Этал-2МК, формировались покрытия, соответственно, черного, коричневого и прозрачного цвета. Покрытие серого цвета имел композит на основе двухкомпонентного полимерного напольного покрытия «Полидек ЭП-500».

Таблица 1 – Составы исследуемых полимерных композитов

Номер состава	Цвет композита	Вид эпоксидного связующего	Вид отвердителя
1	Черный	Этал-247	Этал-1472
2	Коричневый	Этал-247	Этал-45TZ2
3	Серый	Полидек ЭП-500	
4	Прозрачный	Этал-247	Этал-2МК

При помощи автоматической станции контроля загрязнения атмосферного воздуха (АСК) производился круглосуточный мониторинг метеорологических параметров. В состав станции входит актинометрический комплекс, позволяющий оценивать интенсивность воздействия ультрафиолетового излучения А, В и суммарной солнечной радиации. В таблице 2 представлены значения суммарных показателей актинометрических характеристик за каждый месяц рассматриваемого периода.

Таблица 2 – Значения актинометрических показателей* в зависимости месяца года (с апреля 2015 по январь 2016 включительно)

Актинометрические параметры	Номер месяца года									
	2015									2016
	04	05	06	07	08	09	10	11	12	01
Q, МДж/м ²	336,9	497,2	495,3	491,1	380,7	300,5	135,8	47,2	35,7	54,8
U _A , МДж/м ²	17,9	25,6	25,9	25,6	18,8	13,2	6,0	2,5	1,8	2,8
U _B , кДж/м ²	227,8	462,0	537,2	525,5	365,6	221,0	62,7	11,5	0,9	7,9

* Q – суммарная солнечная радиация, U_A и U_B – суммарные ультрафиолетовые излучения диапазона А и В.

Количественная оценка декоративных характеристик производилась с использованием программного комплекса «Статистический анализ цветowych составляющих лакокрасочных покрытий» [10]. Для сканирования образцов использовался полноцветного планшетного сканера Epson Perfection V330 разрешением 2400 dpi; площадь сканируемой поверхности составляла 80×100 мм, что соответствовало анализу более 71 млн. пикселей.

Количественное описание цвета производилось с использованием субтрактивной цветовой модели СМУК, позволяющей оценить отражаемое световое излучение и яркость. Цветовая насыщенность и полная цветовая насыщенность (с учетом яркости) определялись по формулам:

$$E_{\text{СМУК}} = \sqrt{S_C^2 + S_M^2 + S_Y^2 + S_K^2}, \quad (1)$$

$$E_{\text{СМУКН}} = \sqrt{S_C^2 + S_M^2 + S_Y^2 + S_K^2 + S_H^2}, \quad (2)$$

где S_C , S_M , S_Y , S_K и S_H – цветовое различие по насыщенности голубой, пурпурной, желтой, черной составляющих и яркости.

Цветовые различия по насыщенности находились путем сравнения исследуемого состава с абсолютно белым с максимальной плотностью распределения ($f(X) = 100\%$) при $X = 255$ [4]:

$$S_p = \frac{\sum_{i=0}^{255} (255 - X_{pi}) \cdot f(X_{pi})}{(255 \cdot 100)} \quad (3)$$

где X_{pi} – уровень цветовой составляющей, изменяющийся от 0 до 255;

$f(X_{pi})$ – плотность распределения.

На основании полученных данных были построены графики изменения цветовой насыщенности, определенных по формулам (1) и (2), в зависимости от длительности экспонирования (T , рисунок 1), суммарной солнечной радиации (Q , рисунок 2), ультрафиолетовых излучений диапазона А и В (U_A , U_B). Для описания изменений исследуемых параметров были построены аппроксимирующие зависимости с использованием экспоненциальной модели следующего вида:

$$E_t^X = E_0 \cdot \exp(\alpha_X \cdot X^{\beta_X}), \quad (4)$$

где E_0 , α_X , β_X – коэффициенты, зависящие от вида исследуемого материала и переменного фактора X .

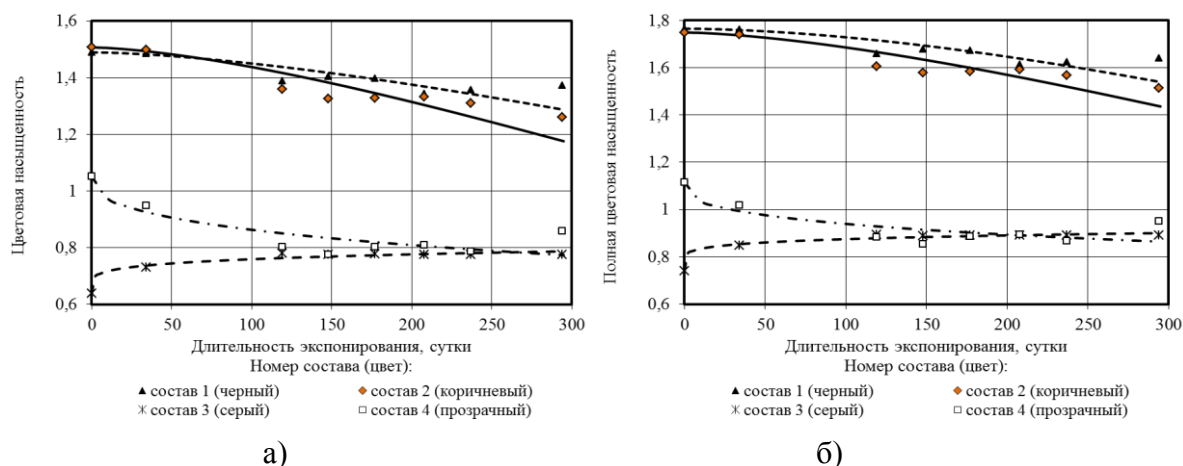


Рисунок 1 – Изменение цветовой насыщенности (а) и полной цветовой насыщенности (б) эпоксидных композитов в зависимости от длительности экспонирования в условиях воздействия климатических факторов

Числовые значения коэффициентов уравнения (4), определенные методом наименьших квадратов, приведены в таблице 3. Полученные коэффициенты детерминации для кривых, построенных в зависимости от длительности экспонирования, значительно ниже аналогичных показателей для актинометрических параметров. Полученные результаты свидетельствуют о большем значении воздействия климатических факторов на изменение декоративных характеристик, нежели длительности экспонирования, что подтверждает актуальность количественного определения актинометрических параметров при натурном экспонировании.

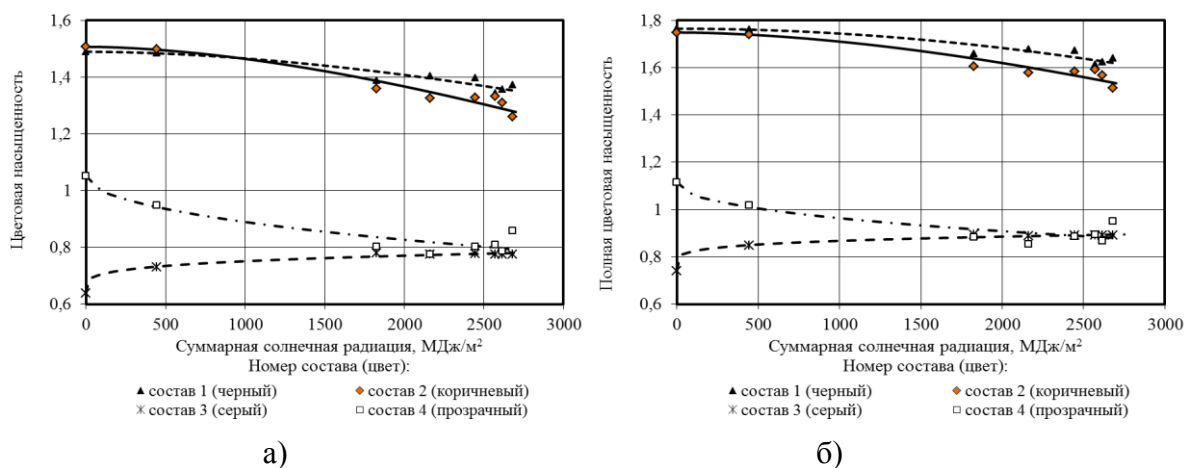


Рисунок 2 – Изменение цветовой насыщенности (а) и полной цветовой насыщенности (б) эпоксидных композитов в зависимости от суммарной солнечной радиации в условиях воздействия климатических факторов

Таблица 3 – Значения коэффициентов уравнения (4), описывающего влияние длительности экспонирования (Т) и актинометрических показателей на насыщенность цвета эпоксидных композитов в натуральных условиях

Номер состава	Вид эпоксидного композита (цвет)	Переменный фактор	Коэффициенты уравнения (4)			R^2
			E_0	α_x	β_x	
Цветовая насыщенность (без учета яркости)						
1	Этал-247 + Этал-1472 (черный)	Т, сутки	1,489	$-19,68 \times 10^{-6}$	1,567	0,880
		Q, МДж/м ²		$-5,63 \times 10^{-8}$	1,818	0,969
		U _A , МДж/м ²		$-10,40 \times 10^{-6}$	1,860	0,972
		U _B , кДж/м ²		$-26,83 \times 10^{-8}$	1,632	0,976
2	Этал-247 + Этал-45TZ2 (коричневый)	Т, сутки	1,507	$-3,99 \times 10^{-5}$	1,536	0,907
		Q, МДж/м ²		$-1,45 \times 10^{-7}$	1,765	0,982
		U _A , МДж/м ²		$-2,29 \times 10^{-5}$	1,807	0,985
		U _B , кДж/м ²		$-6,62 \times 10^{-7}$	1,585	0,988
3	Полидек ЭП-500 (серый)	Т, сутки	0,638	$7,88 \times 10^{-2}$	0,173	0,768
		Q, МДж/м ²		$3,88 \times 10^{-2}$	0,209	0,919
		U _A , МДж/м ²		$7,04 \times 10^{-2}$	0,214	0,928
		U _B , кДж/м ²		$4,55 \times 10^{-2}$	0,190	0,951
4	Этал 247 + Этал-2МК (прозрачный)	Т, сутки	1,051	$-3,01 \times 10^{-2}$	0,408	0,588
		Q, МДж/м ²		$-4,47 \times 10^{-3}$	0,524	0,795
		U _A , МДж/м ²		$-1,99 \times 10^{-2}$	0,538	0,804
		U _B , кДж/м ²		$-6,45 \times 10^{-3}$	0,482	0,839
Полная цветовая насыщенность (с учетом яркости)						
1	Этал-247 + Этал-1472 (черный)	Т, сутки	1,765	$-6,70 \times 10^{-6}$	1,745	0,881
		Q, МДж/м ²		$-1,00 \times 10^{-8}$	2,022	0,969
		U _A , МДж/м ²		$-3,32 \times 10^{-6}$	2,068	0,971
		U _B , кДж/м ²		$-5,67 \times 10^{-8}$	1,816	0,976
2	Этал-247 + Этал-45TZ2 (коричневый)	Т, сутки	1,749	$-2,94 \times 10^{-5}$	1,549	0,900
		Q, МДж/м ²		$-1,00 \times 10^{-7}$	1,783	0,976
		U _A , МДж/м ²		$-1,66 \times 10^{-5}$	1,825	0,980
		U _B , кДж/м ²		$-4,59 \times 10^{-7}$	1,602	0,984
3	Полидек ЭП-500	Т, сутки	0,741	$8,38 \times 10^{-2}$	0,148	0,819

	(серый)	Q, МДж/м ²		4,68×10 ⁻²	0,176	0,945
		U _A , МДж/м ²		7,73×10 ⁻²	0,180	0,951
		U _B , кДж/м ²		5,39×10 ⁻²	0,159	0,966
4	Этал 247 + Этал-2МК (прозрачный)	T, сутки	1,115	-3,16×10 ⁻²	0,367	0,490
		Q, МДж/м ²		-5,07×10 ⁻³	0,486	0,707
		U _A , МДж/м ²		-2,02×10 ⁻²	0,501	0,718
		U _B , кДж/м ²		-6,96×10 ⁻³	0,451	0,758

* Q – суммарная солнечная радиация, U_A и U_B – суммарные ультрафиолетовые излучения диапазона А и В.

Представленные данные свидетельствуют о снижении цветовой насыщенности для всех составов за исключением состава 3 с серым цветом покрытия (рисунок 1, 2). В первый месяц экспонирования происходит резкое изменение декоративных характеристик составов с серым и прозрачным покрытием, характеризующихся низкими исходными значениями цветовой насыщенности, с последующей стабилизацией на последующем временном интервале. Составы 1 и 2 с высокими исходными значениями цветовой насыщенности, напротив, показали высокую стойкость в первый месяц экспонирования, сохранив показатели цветовой насыщенности практически на исходном уровне и демонстрируя более плавные изменения декоративных характеристик в последующие 9 месяцев.

Из анализа изменений декоративных характеристик за весь период экспонирования выявлено, что изменение цветовой насыщенности в абсолютных величинах для составов 1 и 3 не превысило 0,14÷0,15, а для составов 2 и 4 – 0,23÷0,28. Однако, учитывая исходные значения колориметрических характеристик, следует отметить, что величина изменений цветовой насыщенности относительно начальных значений всегда выше для составов с меньшей интенсивностью окраски.

В результате проведенных исследований установлено влияние цвета эпоксидных композитов на интенсивность изменений декоративных характеристик при натурном экспонировании. Полученная математическая модель, описывающая изменения колориметрических характеристик исследуемых составов в зависимости от солнечной радиации и ультрафиолета диапазона А и В, характеризуется более высокими коэффициентами детерминации, что подтверждает необходимость оценки не только длительности экспонирования, но и интенсивности воздействия актинометрических параметров.

Библиографический список

1. Каблов Е.Н. Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года //Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 7–17.
2. Говарикер В.Р., Висванатхан Н.В., Шридхар Дж. Полимеры: Научное издание. М.: Наука, 1990. 396 с.
3. Селяев В.П., Иващенко Ю.Г., Низина Т.А. Полимербетоны. Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2016. 284 с.
4. Низина Т. А. Защитно-декоративные покрытия на основе эпоксидных и акриловых связующих. Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2007. 258с.
5. Соломатов В. И., Селяев В.П., Соколова Ю.А. Химическое сопротивление материалов. 2-е изд., перераб. и доп. М., 2001. 384 с.
6. Мелкумов А. Н., Татевосьян Г.О. Старение изделий из пластмасс в климатических условиях Узбекистана. Т. : Узбекистан, 1975. 177 с.
7. Каблов Е.Н., Старцев О.В., Кротов А.С., Кириллов В.Н. Климатическое старение композиционных материалов авиационного назначения. III. Значимые факторы старения //Деформация и разрушение материалов. 2011. №1. С. 34–40.

8. Старцев В.О., Низина Т.А., О.В. Старцев Цветовой критерий климатического старения эпоксидного полимера // Пластические массы, 2015. №7-8. С. 45 – 48.

9. Низина Т.А., Селяев В.П., Низин Д.Р., Чернов А.Н. Моделирование влияния актинометрических параметров на изменение декоративных характеристик эпоксидных композитов, экспонированных в натуральных условиях // Региональная архитектура и строительство. 2015. №2 . С. 27 – 36.

10. Селяев В. П., Низина Т.А., Зубанкова Н.О. Использование метода прямого сканирования для оценки изменения цветовых характеристик лакокрасочного покрытия под действием климатических факторов // Вестник отделения строительных наук, выпуск 8. Москва, 2004. С. 355–361.

УДК 666.3.016

ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ НА РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СУГЛИНИСТЫХ ШИХТ

Шахов С.А., Николаев Н.Ю.

ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»,
г.Новосибирск, Россия, sashakhov@mail.ru, nikolaevh13@mail.ru

Аннотация. В условиях недостатка качественного алюмосиликатного сырья во многих регионах России, широкое распространение приобретает использование в качестве основного компонента керамической шихты низкокачественных пылеватых суглинков. Поэтому, оптимизация характеристик керамической шихты, обеспечивающих требуемые для пластического формования технологические и формовочные свойства, приобретает особую значимость. Цель исследования заключается в оценке влияния минеральных добавок разного генезиса и морфологии на структурно-механические свойства и реологическое поведение формовочных масс на основе низкосортного глинистого сырья.

Ключевые слова: структурно-механические характеристики, пластическое формование, суглинки, приведенные деформации, оптимальная формовочная влажность.

На стадии пластического формования изделий с применением промышленных экструдеров керамическая масса подвержена механическим воздействиям. В свою очередь деформативные характеристики шихт зависят от свойств образованной коагуляционной структуры. Степень развития такой структуры можно оценить через способность формовочной массы к пластическим и упругим деформациям, путем построения реологических кривых, выражающих зависимость деформации шихты от напряжения сдвига [1,2].

Управление реологическим поведением и структурно-механическими характеристиками дисперсных систем возможно не только за счет использования ПАВ, но и путем подбора корректирующих минеральных добавок различного генезиса и морфологии [2,4,7].

Цель работы заключается в оценке влияния минеральных добавок различного генезиса и морфологии на структурно-механические свойства и реологическое поведение формовочных масс на основе низкосортного глинистого сырья.

Материалы и методы.

В качестве алюмосиликатного сырья использовался суглинок Камышенского месторождения Новосибирской области. Анализ гранулометрического состава показал, что суглинки относятся к пылеватым, а по содержанию глинистых частиц (менее 20 масс. %) классифицируются как грубодисперсное сырье. Природный волластонит Синоухинского месторождения Алтайского края, гранулированный доменный шлак Кузнецкого металлургического комбината, речной песок (с модулем крупности 0,7-1,0) и осадок водоподготовки, образующийся при очистке речной воды, использовались в качестве модифицирующих добавок. Последний, представляет собой смесь минеральных и органических веществ, в коллоидном растворе с влажностью 95-97% в процессе отстаивания и отитки

вод на водоочистной станции №5 МУП Горводоканал г. Новосибирск. Минеральная часть осадка водоочистки включает в себя: оксид кремния (58,8%), оксид алюминия (4,2%), железа (16,8%), магния (13,1%) и кальция (7,1%). В составе органической части осадка преобладают белки, углеводы и жиры (составляют до 45% массы) [5].

Особенность частиц порошка волластонита заключается в иглоподобной форме частиц, что позволяет использовать его не только в качестве армирующей добавки, но и модификатора свойств коагуляционной структуры, за счет образования значительного количества точечных контактов по торцам и ребрам частиц [7]. Волластонит механически активировали в планетарной мельнице до $S=8500 \text{ см}^2/\text{г}$.

Характер влияния модифицирующих добавок на реологическое поведение коагуляционных структур дисперсных систем оценивался с применением разрушающих методов физико-химической механики дисперсных сред. Оптимальную формовочную влажность шихт определяли на коническом пластометре по методике П. А. Ребиндера. Прочность композиций оценивали при оптимальной влажности системы, характеризующейся полным развитием гидратных оболочек частиц. Значение оптимальной влажности вычисляли путем нахождения точки пересечения двух прямолинейных ветвей зависимости «пластическая прочность (P_m) – влажность (W)». Первая прямая ветвь графика выражает область развития в дисперсной системе гидратных оболочек и увеличение числа коагуляционных контактов [6].

Значения упругой, эластичной и пластической деформаций определялись экспериментально на пластометре, работающем по принципу параллельно-сдвигающихся пластин [2].

Результаты и их обсуждение.

Результаты определения пластической прочности исследуемых формовочных масс на коническом пластометре Ребиндера приведены на рисунке 1. По отношению ко всем исследуемым составам характер кривых зависимости «пластическая прочность (P_m) – влажность (W)» остается неизменным.

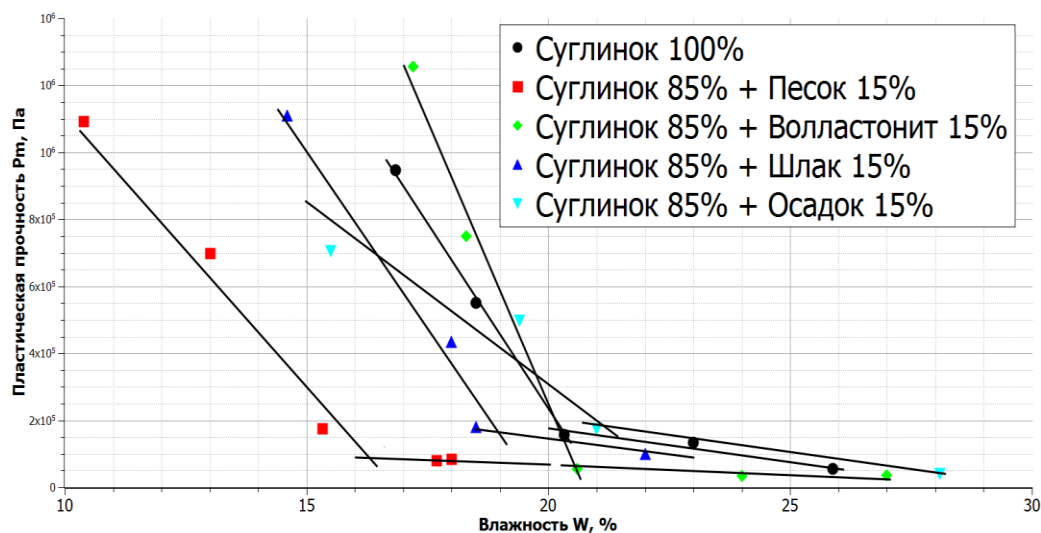


Рисунок 1 – Зависимости пластической прочности формовочных масс с добавками разной природы (P_m , Па) от ее влажности (W ,%)

Резкое снижение пластической прочности объясняется увеличением расстояния между частицами дисперсной фазы, за счет развития гидратных оболочек частиц. Вторая прямая ветвь зависимости и резкое падение прочности системы объясняется наличием значительного содержания в массе свободной воды [6].

Анализ экспериментальных данных указывает на то, что оптимальная влажность системы зависит в первую очередь от морфологических особенностей частиц добавки.

Содержание в шихте грубодисперсных ($S < 3500 \text{ см}^2/\text{г}$) частиц песка и шлака снижают значение оптимальной формовочной влажности массы, за счет понижения удельной поверхности частиц композиции (рисунок 3).

Согласно экспериментальным данным пылеватый суглинок относится к IV структурно-механическому типу по С. П. Ничипоренко [2]. Следовательно, для масс на основе пылеватого суглинка Камышенского месторождения Новосибирской области характерно значительное развитие пластических деформаций и относительно небольшие значения обратимых деформаций. Пониженный по сравнению с заводскими составами период истинной релаксации свидетельствует о возможном разрушении системы при пластическом формовании даже при незначительных нагрузках. Подобные массы легко деформируются и склонны к пластическому разрушению, либо разрывам сплошности.

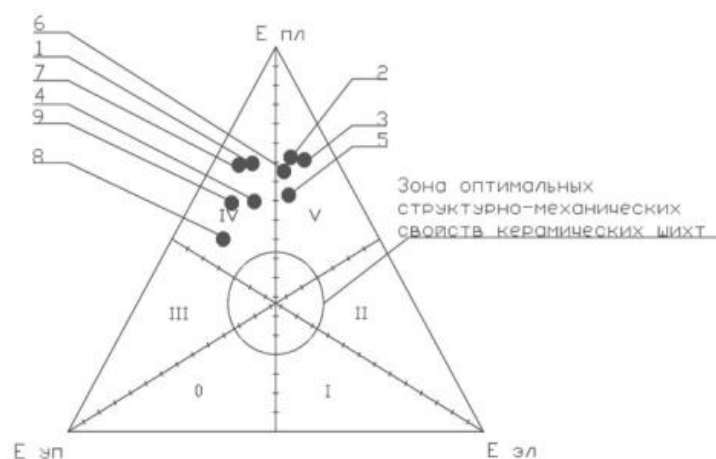


Рисунок 2 – Тройная диаграмма и таблица приведенных деформаций для шихт состава:

№п/п	Состав шихты, %					Структурно-механич. хар-ки			
	сугл	Добавки				$\epsilon_{уп}$	$\epsilon_{эл}$	$\epsilon_{пл}$	τ
осадок		воласт.	шлак	песок					
1	100	-	-	-	-	23	9	68	283
2	-	20	-	-	-	12,7	15,6	71,7	93,4
3	-	40	-	-	-	10,9	19,6	69,5	131
4	-	-	15	-	-	27,8	13,9	58,3	464
5	-	-	30	-	-	15,7	20,2	64,1	178
6	85	-	-	15	-	15,1	17,6	67,3	216
7	70	-	-	30	-	24,5	7,2	68,3	349
8	85	-	-	-	15	37,7	11,5	50,8	728
9	70	-	-	-	30	31,3	11,5	57,2	420

Внесение в композицию добавки осадка, либо воластонита, позволяет повышать значение медленных эластических деформаций (рисунок 2). Данное явление объясняется внесением в систему вместе с добавкой осадка значительного количества связанной воды, а также повышенной адсорбирующей способностью частиц данной добавки, что способствует развитию коагуляционных контактов в системе [7].

Добавки молотого доменного шлака, а также кварцевого песка, являющегося традиционной отошающей добавкой, приводят к росту значения упругих деформаций системы. Следовательно, в формовочной массе происходит компенсация внутренних напряжений, что приводит к сохранению сплошности макроструктуры и меньшей вероятности проявления дефектов изделия.

Согласно литературным данным [2, 7], одним из наиболее важных критериев оценки пригодности композиций к пластическому формованию служит соотношение различных видов деформаций (быстрых и медленных эластических, а также пластических). Авторы работы [7] для пластического формования рекомендуют использовать формовочные массы с равномерным развитием всех видов деформаций. Исходя из структурно-механических и реологических характеристик формовочных масс, применяемых в заводских условиях для производства строительной керамики, данная точка зрения выглядит наиболее предпочтительной.

Анализ экспериментальных данных (рисунок 2), позволяет сделать вывод о том, что хотя введение добавок оказывает влияние на соотношение между различными видами деформаций. Тем не менее, ни одна из изучаемых добавок не может обеспечить равномерного развития всех видов деформаций в керамической шихте. В этой связи, перспективным направлением для дальнейших исследований является изучение деформационного поведения композиционных составов на основе нескольких технологических добавок, обладающих различной морфологией и дисперсностью частиц. Использование добавок на основе компонентов разного функционального назначения, модифицирующих формовочные свойства шихт, может позволить получить составы, обладающие оптимальным соотношением приведенных деформаций, и оказывать воздействие на структуру готовых изделий, за счет изменения свойств коагуляционной, и конденсационной структур материала.

Выводы

1. Изучено влияние модифицирующих добавок различной природы на зависимость пластическая прочность (P_m) – влажность (W). Установлено влияние размера и генезиса частиц добавки на значения оптимальной формовочной влажности и прочности коагуляционной структуры композиции.

2. Установлено, что добавки в зависимости от формы, размеров и генезиса частиц могут приводить к росту определенных видов приведенных деформаций системы (быстрых и медленных эластических, либо пластических). Однако, крайне сложно добиться равномерного развития всех видов деформаций дисперсной системы, не используя комплекс модификаторов с различной природой и происхождением частиц.

3. Перспективным направлением развития работы является изучение деформационного поведения композиционных составов на основе нескольких технологических добавок, обладающих различной морфологией и дисперсностью частиц.

Библиографический список

1. Урьев Н. Б. Физико-химические основы технологии дисперсных систем и материалов. – М.: Химия, 1988. – 256 с.
2. Ничипоренко С. П. Физико-химическая механика дисперсных структур в технологии строительной керамики. Киев: Наукова думка, 1968. 76 с.
3. Ребиндер П. А. Избранные труды. Поверхностные явления в дисперсных системах. Физико-химическая механика. – М.: Наука, 1979. – 382 с.
4. Круглицкий Н. Н. Физико-химические основы регулирования свойств дисперсий глинистых материалов. Киев: Наукова думка, 1968. 244 с.
5. Шахов, С. А. Изучение возможности применения осадка водоочистки в производстве строительной керамики / С. А. Шахов, Т. Л. Рудая, А. С. Кожемяченко // Известие Вузов. Строительство. – 2013. - №1. – С. 54-61.
6. Балкевич В. Л., Мосин Ю. М., Фирсова М. Н. Определение пластической прочности для оценки формовочных свойств керамических масс // Стекло и керамика. 1980. №4. С. 16-17.
7. Ильин А. П., Прокофьев В. Ю. Физико-химическая механика в технологии катализаторов и сорбентов: Монография / Иван. гос. хим.-технол. ун-т. Иваново, 2004. – 316 с.

НОВЫЙ ШЛАКОВЫЙ ЦВЕТНОЙ ЦЕМЕНТ

Панов С.А., Панова В.Ф., Карпачева А.А.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия, Ann4428@rambler.ru*

Аннотация. *Определены основные элементы-красители, хромофоры, которые загрязняют цвет исследуемого доменного гранулированного шлака. Приведены результаты исследования по отбеливанию шлака, его активизации и влияния пигментов на свойства цемента. В качестве активаторов, пигмента изучены техногенные продукты. На состав цветного шлакового цемента получен патент.*

Ключевые слова: *грануляция, цветной бесклинкерный цемент; отбеливание, пигменты, хромофоры, шлак, техногенные отходы, шихта.*

Декоративность растворов и бетонов обеспечивается чаще всего применением цветного цемента. Наиболее эффективный способ его получения – использование белого клинкера, в котором ограничено содержание красящих оксидов Fe_2O_3 , MnO , Cr_2O_3 . В металлургических шлаках эти оксиды входят в состав металлических включений, которые в шлаковом расплаве относятся к тяжелым фракциям. Таким образом, степень белизны шлака зависит от содержания в них элементов-красителей, называемых хромофорами. Такими элементами являются Fe, Ni, Mn, Cr, Ti, Cu и др. Первое место среди хромофоров занимает оксид железа (III), который придает интенсивный цвет – красный, бурый, желтый. Ион железа (II) дает зеленоватые и голубоватые цвета. При анализе химического состава доменных гранулированных шлаков установлено, что содержание железистых примесей (Fe_2O_3) доходит до 3,7 %.

Цель работы: получить цветной цемент на основе доменного шлака. Необходимо было решить следующие задачи: 1 – отбелить шлак, для этого разработать режим выстаивания шлакового расплава; 2 – оптимизировать состав шлакового цемента с активными добавками; 3 – изучить влияние пигментов на свойства цемента.

Была выдвинута гипотеза, что при выдержке расплавленного шлака в ковшах более тяжелые фракции выпадут в осадок, т.е. гранулировать необходимо только часть расплава [1]. В связи с этим была поставлена задача изучения влияния времени выдерживания в ковшах шлакового расплава на способность его к последующей грануляции, а также исследование влияния выдержки шлака в ковшах на вязкость расплава, степень белизны гранулирования доменного шлака.

Обработку технологии отбеливания шлакового расплава проводили в цехе его переработки. Шлак от доменной печи до места грануляции транспортируется в ковшах. Температура расплава в ковшах на конечном пункте колеблется от 1300 до 1400 °С. В процессе исследования шлак выдерживался в ковшах от 0,5 до 2 часов. Установлено, что даже после двух часов выдерживания шлак имеет вязкость, при которой возможна грануляция. Однако, чем больше времени стоят ковши, тем большее количество затвердевшей массы остается на дне и стенках ковша. Эту массу условно называют «коржами». При исследовании установлено, что коржи содержат от 40 до 70 % железа (определено методом обработки магнитом измельченного остатка).

В результате эксперимента подтверждено, что при выстаивании шлакового расплава в ковшах более тяжелые фракции (в основном железистые включения) оседают, и грануляции можно подвергать только часть расплава – 70-75 %. Установлено, что оптимальное время выстаивания шлакового расплава составляет около 45 минут (рисунок 1).

Степень белизны шлака определена на калориметре по количеству отраженного света и составила до отбеливания 50-60% (при выдержке расплава в ковше в течение 15-20 минут), после отбеливания – 65-70 % (при выдержке расплава в ковше 40-60 минут). По степени белизны цемент делится на 3 сорта (1-ый, 2-ой, 3-ий), степень белизны их со-

ставляет 90-100%, 80-90% 70-80% соответственно. Для декоративных цементов допускается степень белизны 65-67% [2].

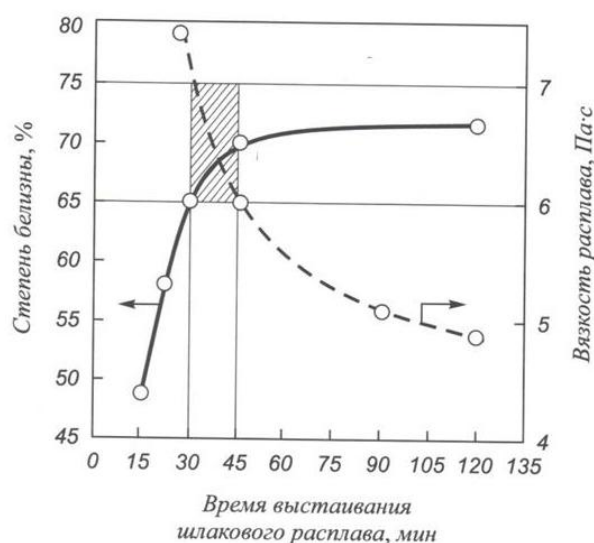


Рисунок 1 – Влияние времени выстаивания шлакового расплава на его вязкость и степень белизны гранулированного шлака (заштрихована оптимальная область для отбеливания и грануляции шлака)

Установлено, что при хранении гранулированного шлака более одного года на открытом воздухе идут обратные процессы с появлением желтого оттенка, которые снижают степень белизны. Поэтому отбеленные шлаки для получения декоративных вяжущих, а также бетонов и растворов необходимо хранить в закрытых емкостях и применять в свежем виде с выдержкой не более трех месяцев.

Предложено на основе отбеленного гранулированного доменного шлака получить цветной цемент, активизируя его сульфатным (отход коксохимического производства) и щелочным (известковая газоочистная пыль производства извести) компонентами с добавлением пигментов и активатора помола.

Для оценки качества любого сырьевого материала, в том числе отходов промышленного производства применяется универсальный показатель – коэффициент основности ($K_{осн}$). Используя его можно рассчитать состав шихты для получения бесклинкерного цемента [3].

Для вяжущих веществ значение $K_{осн}$ находится в диапазоне 1,2-1,6; для исследуемого доменного гранулированного шлака оно колеблется в пределах 1,10-1,19, что свидетельствует о нехватке щелочного компонента. В качестве последнего чаще всего используется известь, расчет количества которой можно осуществить, задаваясь $K_{осн}=1,6$ для сырьевой шихты. В качестве щелочного активатора шлака использована газоочистная пыль производства извести (таблица 1).

Таблица 1 – Химический состав компонентов шлакового цемента

Содержание оксидов, %							
SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂
Отбеленный доменный гранулированный шлак							
35,95	10,89	41,87	6,74	2,46	0,49	0,56	0,94
Известковая газоочистная пыль							
5,47	1,48	85,53	1,67	5,22	0,42	0,14	0,07

Используя данные химического состава шлака, можно определить необходимое количество оксида кальция:

$$1,6 = \frac{(CaO + 0,93 \cdot 6,74) - (0,55 \cdot 10,89 + 0,35 \cdot 2,46)}{0,93 \cdot 35,95}$$

Получили, что количество CaO равно 59,59 %, т.е. столько извести должно быть в шихте для цемента. Так как в доменном гранулированном шлаке содержится 41,87 % CaO, необходимо к нему добавить 17,72 % щелочного компонента.

Учитывая, что в составе металлургического комбината имеется производства извести, при получении которой образуется газоочистная пыль, изучив ее свойства, было предложено заменить чистую известь на известковую газоочистную пыль.

Исследование свойств пыли показало ее высокую дисперсность. При просеве через сито №008 остаток составляет менее 3%. Известковая пыль имеет насыпную плотность 600 кг/м³. Обработка ее в 5%-ном растворе HCl позволяет подтвердить наличие в ее составе 50-60% кальцита CaCO₃. Кроме того, известковая пыль содержит 20-30 % портландита Ca(OH)₂, 5-6 % извести CaO и до 5% примесей (рисунок 2).

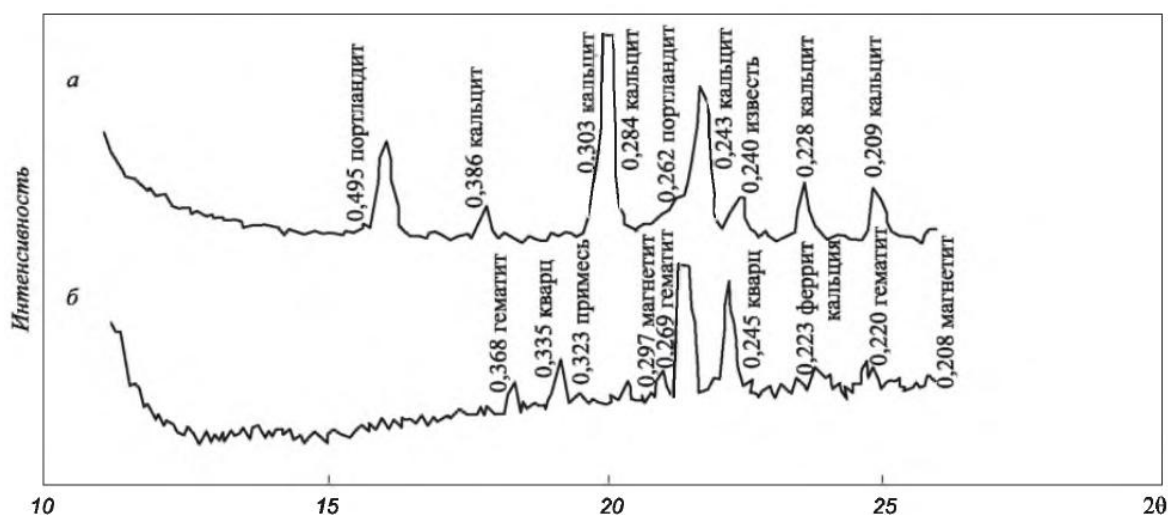


Рисунок 2 – Дифрактограмма газоочистной пыли известкового хозяйства
а – обычная проба (50-60 % CaCO₃, 20-30 % Ca(OH)₂, 5% CaO); б – проба, обработанная HCl (α-Fe₂O₃; Fe₃O₄; CaFe₂O₄; кварц)

Введение тонкомолотого карбонатного наполнителя увеличивает водоудерживающую способность малоцементных растворных смесей и способствует образованию гидроминералов. Применение известковой пыли дает возможность повысить активность шлака, его водоудерживающую способность и устранить негативные явления в изделиях (дутики, высолы).

Произведем расчет количества известковой пыли как щелочного активатора [3]. Для получения цемента необходимо рассчитать, какое количество щелочного компонента с коэффициентом основности более 1 нужно добавить в шлак (Kосн < 1) для повышения коэффициента основности смеси до 1,6. Для этого воспользуемся соотношением:

$$\frac{((CaO + 0,93MgO + 0,6R_2O) - (n \cdot 0,93SiO_2 + 0,55Al_2O_3 + 0,35Fe_2O_3 + 0,7SO_3)) \cdot x}{(n \cdot 0,93SiO_2 + 0,55Al_2O_3 + 0,35Fe_2O_3 + 0,7SO_3) - (CaO + 0,93MgO + 0,6R_2O)} = 1$$

где n = 1,6 – заданный коэффициент основности цементной смеси;

x – количество сырья с параметром Kосн > 1 (известковая пыль), приходящееся на одну часть сырья с Kосн < 1 (шлак).

По результатам расчета получаем, что $x=0,15$, т.е. столько частей пыли приходится на 1 часть шлака (или 13 % пыли и 87 % доменного граншлака), что близко к результатам проведенного лабораторного опыта по оптимизации состава вяжущего.

Для повышения активности шлакового цемента кроме щелочного активатора необходим сульфатный активатор [2]. Сульфатная активация шлака отличается от щелочной тем, что в этом случае сульфатный компонент взаимодействует непосредственно с глиноземом, гидратом оксида кальция и водой с образованием гидросульфоалюмината кальция, способствующего повышению прочности цемента за счет увеличения плотности.

Влияние активирующих шлак добавок можно проанализировать по дифрактограммам шихт (рисунок 3).

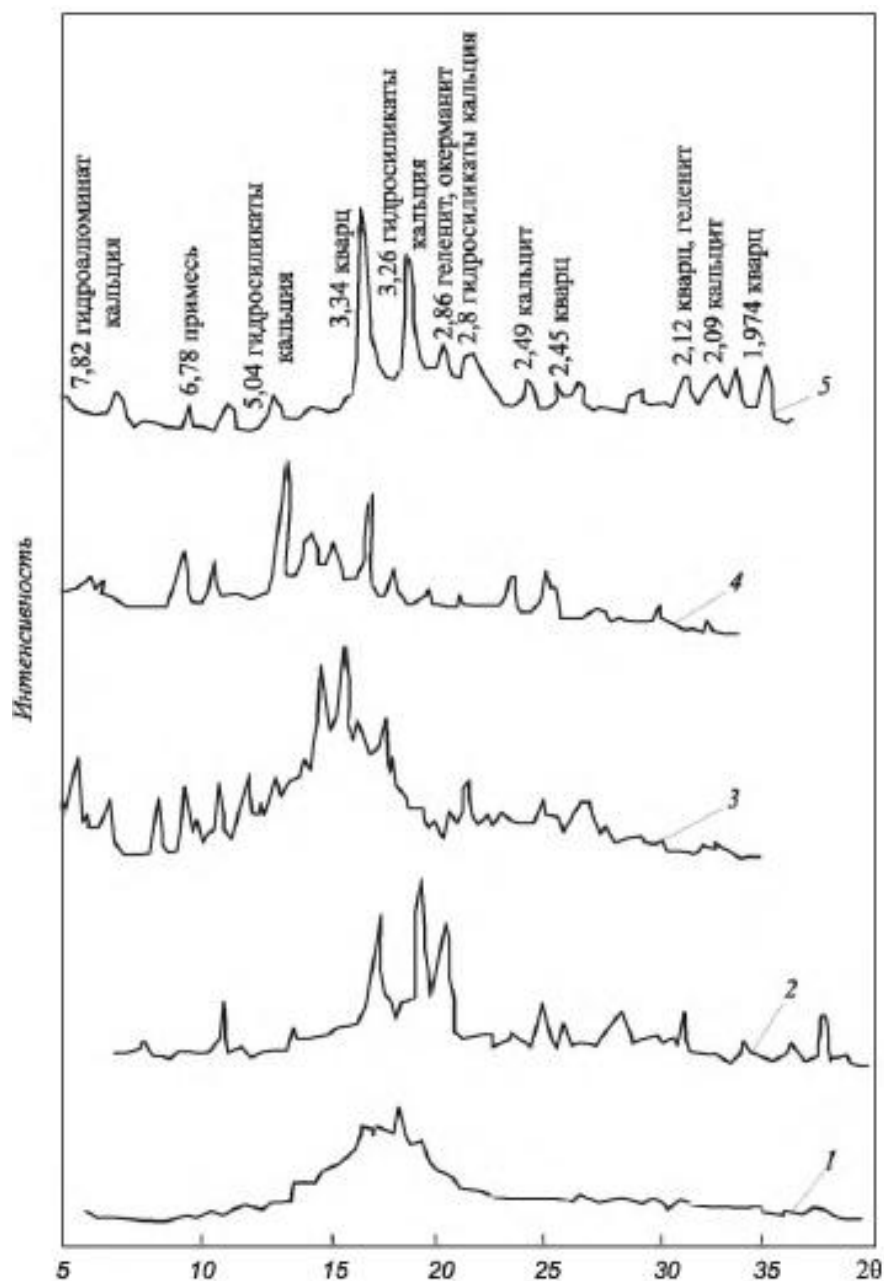


Рисунок 3 – Дифрактограммы активированного доменного шлака

1 – без добавок; 2 – с добавкой щелочного активатора; 3,4 – с 15 и 5% сульфатного активатора; 5 – щелочное шлаковое вяжущее оптимального состава

Дифрактограмма гранулированного шлака (рисунок 3, проба 1) показывает преобладание рентгеноаморфного вещества. Щелочной активатор проявляется в виде пиков на дифрактограмме (рисунок 3, проба 2). Увеличение сульфатной добавки от 5 до 15 % отражается на дифрактограмме (рисунок 3, пробы 3, 4). Новообразования в виде пиков определяются по количеству и интенсивности характерных пиков. Дифрактограмма вяжущего оптимального состава, в котором в качестве активаторов твердения шлака использован попутный продукт коксохимического производства (сульфат натрия), определяет появление различных новообразований: гидроалюминатов, гидросиликатов кальция (геленит, окерманит, этрингит, кварц, портландит), гидратных соединений. В результате работы щелочной составляющей образуется гидрокарбоалюминат кальция $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, а также $\text{C}_2\text{SH}(\text{A})$, C_4AH_{13} и другие гидроминералы (рисунок 3, проба 5).

Для получения шлакового цемента, кроме химической, необходима механическая и тепловая активации (пропаривание). Механическая активация предполагает его измельчение до тонкодисперсного состояния. Для ускорения процесса измельчения в состав доменного гранулированного шлака введен инициатор помола – отработанная формовочная смесь литейного производства. Установлено, что время помола шлака с добавкой ОФС составляет 30-35 минут до удельной поверхности 400-450 м²/кг.

В качестве пигмента для цветного шлакового цемента наравне с традиционными был рассмотрен отход метизного производства (ОМП), дающий высокую степень окрашивания в количестве до 5 % без снижения активности вяжущего и морозостойкости изделий (таблица 2). Добавка пигментов (сурика железного, оксида хрома, ультрамарина) в пределах до 20% от массы вяжущего не ухудшает морозостойкость; при введении 4% других пигментов (киновари, охры, сажи) резко снижается морозостойкость цементного камня. Следовательно, для получения цветных бетонов, укладываемых в конструкции, подвергающиеся попеременному замораживанию и оттаиванию, не все пигменты могут быть использованы [4].

Таблица 2 – Морозостойкость образцов (циклы) из цементного камня в зависимости от вида и количества добавляемых пигментов.

Пигмент	Морозостойкость цементного камня при содержании пигмента, %				
	0	4	8	20	30
Охра	200	150	100	50	-
Сурик железный	200	200	200	150	150
Оксид хрома	200	200	200	-	-
Пирролюзит	200	200	200	150	100
Ультрамарин	200	200	200	100	-
Киноварь	200	150	100	50	-
Сажа	200	100	50	-	-
ОМП	200	200	200	150	100

Основные характеристики цветного бесклинкерного шлакового цемента определялись в соответствии с ГОСТ 310-85 на образцах-балочках размером 4x4x16см через 28 суток твердения в естественных условиях и после ТВО по режиму 3+10+3 ч. Результаты испытаний приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Характеристики цветного шлакового цемента

Характеристика	Ед. измерения	Значение
Прочность при сжатии	МПа	25
Состав вяжущего: - гранулированный шлак - известковая газоочистная пыль - сульфат натрия - отработанная формовочная смесь - отход метизного производства	%	71-79 15-20 3 3-6 до 5
Тонкость помола (остаток на сите 008)	%	не более 3
Удельная поверхность	м2/кг	400-450
Водопотребность	%	28-30
Истинная плотность	г/см3	2,6-2,8
Насыпная плотность в рыхлом состоянии	кг/м3	980-1000
Начало схватывания	мин	20-25
Конец схватывания	час	1-40
Прочность при естественном твердении через 7 суток - при сжатии - при изгибе	МПа	10,10 1,72
Прочность при естественном твердении через 28 суток - при сжатии - при изгибе	МПа	22,00 2,26
Прочность после ТВО по режиму 3+10+3ч - при сжатии - при изгибе	МПа	27,40 2,48

На состав и способ изготовления декоративного шлакового цемента получен патент РФ №2232139 «Декоративный шлаковый цемент». Итак, на основе активированного отбеленного граншлака получен бесклинкерный цветной цемент марки 250.

Библиографический список

1. Панов С.А. Декоративные строительные материалы из отбеленного и активированного шлака: Монография / С.А. Панов, В.Ф.Панова / СибГИУ. – Новокузнецк, 2010. – 215 с.
2. Волженский А.В. Минеральные вяжущие вещества / А.В. Волженский – М.: Стройиздат, 1986. – 464 с.
3. Панова В.Ф. Техногенные продукты как сырье для стройиндустрии: монография / В.Ф. Панова; СибГИУ, – Новокузнецк: 2009. – 288с., ил.
4. Баженов Ю.М. Технология бетона / Ю.М. Баженов – М.: ИСВ, 2003. – 500с.

ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА В СТРОИТЕЛЬНОМ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИИ

Пичугин А.П., Чернышов Е.М.

Новосибирский государственный аграрный университет

Новосибирск, Россия, gmunsau@mail.ru

Воронежский государственный архитектурно-строительный университет,

Воронеж, Россия, chem.@vgasu.vrn.ru

Аннотация. Управление технологией и качеством продукции представляет собой многоплановую научную и инженерную задачу, включающую раскрытие химико-технологической (физико-химической, механо-химической) сущности формирования состава, структуры, состояния, свойств как выражений качества продукции. Рассмотрены проблемы внедрения системы качества и представлен перечень вопросов для решения; приведены примеры рациональных технических разработок в области повышения качества строительных материалов, изделий и конструкций.

Ключевые слова: строительные материалы, уровень качества, управление качеством, эксплуатационные условия, полимеры, наноразмерные добавки.

Рассматривая проблему обеспечения качества строительных материалов, изделий и конструкций рациональнее всего использовать принципы оптимальности решений по ряду проблемных вопросов и направлений. Предпосылкой такого перехода является создание системы управления качеством продукции как организующей основы всего комплекса химико-технологических, технических, организационных, экономических и других средств обеспечения выпуска продукции задаваемых параметров с минимумом затрат. Создание системы управления технологией и качеством продукции представляет собой многоплановую научную и инженерную задачу, но центральной проблемой задачи является раскрытие химико-технологической (физико-химической, механо-химической) сущности формирования состава, структуры, состояния, свойств как выражений качества продукции. Анализ состава системы управления качеством на уровне технологического процесса, который связан с разработкой совокупности взаимосвязанных ее частей. Может быть представлен из следующих компонентов [1]:

- модели "качества" продукции (комплекса характеристик изделия, конструкционных и других свойств материала в соответствии с функциональным назначением изделия);
- комплекта нормативных документов, определяющих количественно требуемый уровень качества материала и изделия;
- информационной базы "конструирования" материала с заданным комплексом свойств, требуемым уровнем качества (закономерностей структурного материаловедения);
- модели «конструкции» (состава, структуры, состояния) материала, отвечающего заданному комплексу свойств, требуемому уровню качества;
- системы технологических факторов, определяющих развитие процессов структурообразования ("структурообразующих" технологических факторов);
- информационной базы управления процессами структурообразования материала (закономерностей процессов формирования и развития структуры);
- алгоритмов управления процессами технологии в соответствии с критериями (функциями цели) производства изделий;
- организационной структуры производственного контроля и управления качеством;
- комплекса инструментальных средств измерения и контроля параметров технологии и показателей качества продукции;

– технических средств автоматизированного управления процессами технологии при получении продукции заданного качества (АСУТП).

Стандарт ИСО 9001:2008 (ИСО 9001:2000) требует от организации разработать и внедрить 6 обязательных процедур: управление документацией; управление записями о качестве; управление несоответствующей продукцией; проведение внутренних аудитов; проведение корректирующих мероприятий; проведение предупреждающих мероприятий. В этой связи можно представить схему последовательных операций и процессов, обеспечивающих управление качеством строительных материалов и изделий. Система должна состоять из ряда блоков, отражающих качественные характеристики используемых составов и сырья, возможные вариации структуры и состояния при тех или иных технологических режимах и переделах, конечные заданные эксплуатационные свойства. При этом одной из важных проблем является организация контроля качества на всех этапах производства от входного исследования сырья и всех компонентов до испытания готовых изделий всеми доступными приборами и средствами [1, 3-5].

Резко континентальный климат Сибири формируется под воздействием воздушных масс преимущественно арктического происхождения. Зима здесь долгая, с неустойчивой погодой. Средняя температура января около -20°C , но бывают морозы до $-45\dots-50^{\circ}\text{C}$. Зимой выпадает около 100-150 мм осадков. Снежный покров, как правило, не более 0,2-0,4 м, поэтому грунт глубокого промерзает. Лето теплое, но короткое - около 3 месяцев, со средней температурой $18\dots22^{\circ}\text{C}$, максимальная - выше 40°C . Период без заморозков составляет не более 2-3 месяцев. Относительная влажность воздуха летом и зимой часто достигает 100%, что способствует повышению параметров коррозионной агрессивности атмосферы, которая характеризуется продолжительным увлажнением (2020 - 2580 ч/год) поверхностей пленками влаги, а также продолжительным увлажнением фазовой и адсорбционной пленками влаги, величины которых составляют соответственно 1340 - 1690 и 710-1430 ч/год.

Для некоторых районов характерны признаки неоднородности и нестабильности физико-географических факторов, выражающихся в гидрогеологических условиях и различиях по массе снегового покрова от 5 (1-й район снеговых нагрузок) до 25 МПа (5-й район) и по скоростному напору ветра от 2,7 (1-й район ветровых нагрузок) до 10 МПа (4-й район) и даже до 15 МПа. Наблюдаются большие сейсмические воздействия, достигающие до 5-7 баллов. Повышенная влажность и сильные продолжительные ветры, ухудшающие работу конструкций, являются неотъемлемой принадлежностью климата. Наиболее суровые условия зимой характеризуются температурой наружного воздуха, достигающей до $-51\dots-56^{\circ}\text{C}$ при воздействии скоростного напора ветра до 3-5 МПа.

Основные конструкции зданий и сооружений, подвергающиеся интенсивному воздействию эксплуатационных сред, следующие: полы, стены, карнизы, конструкции каркасов зданий, перегородки, окна, двери, узлы сопряжения отдельных элементов, кровли и крыши; системы водоснабжения и канализации, отопления и вентиляции, элементы очистных и дорожных сооружений и др.

Однако, кроме очевидных технических, технологических и эксплуатационных факторов существуют в настоящее время и другие проблемы организационно-экономического и административно-управленческого плана, к которым относятся следующие.

1. Отменены ГОСТ(ы), СНиП(ы), ТУ и другие нормативные документы. Их действие заменено «ТЕХРЕГЛАМЕНТАМИ», которые составлены в угоду западным советчикам без учета суровых климатических условий, что приводит к интенсивному износу, разрушениям и преждевременному выходу из строя объектов.

2. На наш взгляд, необходимо срочно вернуться к старым, ранее действовавшим Строительным Нормам и Правилам (СНиП), пролонгировать их на пять-семь лет, а за это время откорректировать их или разработать новые и ввести их в действие.

3. Повсеместно новое строительство сопровождается устройством мостиков холода, что приводит к интенсивному конденсатообразованию, насыщению влагой утеплителя и строительных конструкций, замораживанию в холодный период года, ржавлению арматуры и последующему ускоренному разрушению несущих и ограждающих конструкций. Усугубляющим фактором является широкое распространение в Западной Сибири просадочных грунтов и высокий уровень грунтовых вод.

4. За последние годы внедрены ряд новых технологий строительного производства и сотни новых строительных материалов. Однако не все из них обладают достаточным запасом качественных характеристик по прочности, морозостойкости, водостойкости, экологической безопасности и другим параметрам.

5. Отсутствует постоянный контроль качества материалов, изделий и конструкций, а также постоянный контроль за качеством выполняемых работ и соответствия их проектным решениям. Имеют место поддельные сертификаты и техническая документация. Необходимо наладить систему вневедомственного архитектурно-строительного контроля!

6. Неудовлетворительный уровень профессиональных знаний рабочих и инженерно-технического персонала. Требуется проведение периодической учебы и контроля знаний не реже одного-двух раз в год и сдачи техминимума.

7. Систематизировать застройку территорий городов и населенных пунктов; исключить точечную застройку, возведение жилых зданий вблизи транспортных магистралей, на геопатогенных участках, а делать там сады, парки и скверы.

8. Организовать городские ПРОГРАММЫ реконструкции крупнопанельных зданий, в которых вместо утеплителя в наружных стенах сплошные пустоты, наполнив их полимерной пенной массой. Это будет способствовать энергосбережению.

9. Ввести административную и уголовную ответственность за недоброкачественное строительство любых объектов.

Приведенные выше тезисы не полностью охватывают все мероприятия по обеспечению качества строительных материалов и изделий в силу региональных специфических условий отдельных территорий. Однако, решение даже некоторых из них позволит существенно снизить брак и улучшить состояние наших зданий и сооружений. В качестве примера можно привести положительный опыт целого ряда научных коллективов, занимающихся улучшением свойств строительных материалов, изделий и конструкций. Научные материаловедческие школы Москвы, Санкт-Петербурга, Белгорода, Воронежа, Волгограда, Казани, Красноярска, Липецка, Новосибирска, Новокузнецка, Пензы, Саратова, Саранска, Томска, Челябинска и др. городов являются достойным примером творческой деятельности в этом направлении.

С позиций механики деформирования и разрушения конгломератных материалов как структурированных систем, теоретически обоснованы структурные факторы управления их сопротивлением разрушению. На основе анализа полученных закономерных связей сопротивления разрушению выявлены критериальные условия разрушения по различным типовым признакам, т.е. для случая с сетью сформированных микротрещин и зоны способствующей траектории продвижения магистральной трещины по поверхности контакта матрицы и включения; и при условиях прохождения траектории макротрещины по кратчайшему пути через зерна прочных включений. Осуществлена классификация по пределу прочности при сжатии различных конгломератных материалов и композитов по группам применимости в тех или иных эксплуатационных условиях для целевого применения в конструкциях зданий и сооружений различной степени ответственности и эксплуатационного ресурса.

На основе проведенных в последние десятилетия работ в Новосибирском государственном аграрном университете получены высокопрочные и коррозионностойкие материалы и изделия для полов, стен, инженерных систем, очистных сооружений, осно-

ваний дорог и зернотоков, защитных покрытий и пропиточных составов. К ним относятся:

- пенополистиролкерамзитобетонные, пенополистиролшлакобетонные, пенополистиролаглопоритобетонные полы с защитным покрытием на основе и отходов асбестоцементного производства с полимерными добавками;
- дощатые и решетчатые полы из модифицированной полимерными композициями древесины;
- легкие бетоны на основе гранулированных растительных отходов и древесного сырья с полимерными добавками;
- легкие бетоны с интегральной пористой структурой и повышенной шумопоглощающей способностью;
- легкие бетоны на обжиговой связке;
- пропиточные полимерсиликатные композиции с наноразмерными и проникающими добавками для усиления стен и других строительных конструкций;
- антикоррозионные полимерные составы с добавками направленного действия для обеспечения долговечности бетонов причальных сооружений и других строительных конструкций;
- напыляемые покрытия из полиэтилена низкого давления с наноразмерными добавкам;
- сухие строительные смеси с полимерными активными добавками на основе местных мелких речных песков;
- грунтобетонные основания с минеральными и полимерными добавками для оснований дорог, зернотоков и тротуаров и др. [2-7]

На все эти и другие материалы получены Авторские свидетельства и Патенты, а сами материалы прошли длительную апробацию и показали свою эффективность.

Библиографический список

1. Чернышов Е.М. Формула «4-С (состав-структура-состояние-свойства) в концептуально-методологической парадигме современного строительного материаловедения.// СТРОЙСИБ-2015. Междунар.сб.научн.тр. Новосибирск, НГАУ-ТГАСУ-РАЕН, 2015. – С.5-12.
2. Безбородов В.А., Парикова Е.В., Пичугин А.П. Сухие строительные смеси и технология их применения. Монография./ Новосибирск: НГАСУ-НГАУ, 2010. – 126 с.
3. Пичугин А.П., Городецкий С.А., Бареев В.И. Комплексная защита сельскохозяйственных объектов от коррозионного разрушения// Строительные материалы. – 2011. - №3. –С.45-47.
4. Субботин О.С., Пичугин А.П., Белан И.В. Материалы и архитектура малоэтажных зданий, эксплуатирующихся в особых природных условиях. Монография./ Новосибирск: НГАУ-РАЕН, 2012. – 192 с.
5. Выровой В.Н., Белан И.В., Пичугин А.П.и др. Методы оценки структурных изменений в композиционных материалах.// Инновационные разработки и новые технологии в строительном материаловедении: Междунар.сб.научн.тр. Новосибирск, НГАУ-ТГАСУ-РАЕН, 2014. – С.50-56.
6. Пичугин А.П., Батин М.О., Банул В.В. Полы из модифицированных полимерными композициями материалов в сельском строительстве// «Строительные материалы», № 8, М., 2012, С.80-82.
7. Пичугин А.П., Городецкий С.А, Бареев В.И. . Коррозионностойкие материалы для защиты полов и инженерных систем сельскохозяйственных зданий и сооружений./ Монография, НГАУ-РАЕН, Новосибирск, 2010. – 142 с.

СТРУКТУРНЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ В МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ КОМПОЗИЦИЯХ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ЧАСТЕЙ И КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Пичугин А.П., Банул В.В., Никитенко К.А., Алешкевич М.Г.

*Новосибирский государственный аграрный университет
Новосибирск, Россия, gmunsau@mail.ru*

Аннотация. Большинство очистных сооружений и систем навозоудаления выполнены из металла, а в качестве защитного покрытия от разрушения преимущественно используются лакокрасочные или битумные покрытия. Данный способ защиты элементов очистных сооружений малоэффективен, так как, агрессивность среды эксплуатации изменяется в диапазоне от pH 2,3 (для силоса и продуктов жизнедеятельности животных) до pH 12,0–13,2 (для дезинфицирующих средств) в интервале температур от –50 °С до +60 °С. В результате этого сооружения быстро выходят из строя. Авторами разработана технология устройства малопроницаемых напыляемых полимерных покрытий из порошкового полиэтилена низкого давления (ПЭНД) с наноразмерными добавками и изучены структурные превращения в защитных составах.

Ключевые слова: полиэтиленовые композиции, порошковый полиэтилен, напыление, очистные сооружения, наноразмерные добавки; термографические, термомеханические, полимерографические исследования; ИК-спектроскопия

Разработка научно обоснованных составов и способов приготовления термонапыляемых модифицированных полиэтиленовых композиций повышенной адгезионной и коррозионной стойкости - важная научно-производственная задача. Для достижения данной проблемы и поставленной цели необходимо было решить следующие основные задачи по отработке технологии нанесения покрытий для защиты металлических поверхностей очистных сооружений сельскохозяйственного назначения и обеспечения их длительной эксплуатации. Провести анализ и систематизировать причины коррозионного разрушения металлических элементов инженерных систем сельскохозяйственных зданий и сооружений. Определить основные закономерности формирования структуры малопроницаемых напыляемых полимерных покрытий из порошкового полиэтилена низкого давления (ПЭНД) с различными способами предварительной подготовки металлических поверхностей в условиях воздействия коррозионных сред [1-3].

Осуществить комплекс лабораторных исследований образцов, стендовые и полигонные испытания экспериментальных защитных покрытий для определения зависимости прочностных, деформативных свойств и коррозионной стойкости модифицированных напыляемых полиэтиленовых композиций от структурообразующих и физико-химических факторов при воздействии эксплуатационных нагрузок и сред.

Провести оценку предлагаемых методов предварительной обработки и последующей защиты разрушаемых мест в металлических конструкциях сельскохозяйственных объектов на контактных поверхностях «полимерная защита – сталь» и разработать способы повышения адгезии путем предварительной обработки композициями с наноразмерными составляющими.

Разработать методические принципы расчета оптимальной толщины защитных полимерных композиций с заранее заданными свойствами для применения в различных условиях эксплуатации и при различной степени разрушения металлических элементов, а также разработать методы прогнозирования долговечности поверхностной защиты.

Разработать технологию нанесения напыляемых полимерных материалов на металлические поверхности очистных сооружений с предварительной их обработкой наноразмерными составами; организовать опытно-производственное внедрение в условиях действующих животноводческих комплексов сельскохозяйственных предприятий.

Провести технико-экономическую оценку эффективности применения коррозионно-стойких напыляемых модифицированных полимерных композиций в агрессивных средах животноводческих комплексов.

Процессы модифицирования порошкового полиэтилена низкого давления при предварительной обработке полимерного порошка и защищаемой металлической поверхности, технологические приемы нанесения защитных покрытий, структурообразование получаемого покрытия как процесс модификации.

При исследовании процесса структурообразования для прогнозирования эксплуатационных свойств защитных полимерных покрытий были изучены процессы предварительной обработки активирующими композициями металлических поверхностей и порошкового полиэтилена низкого давления, а также определены свойства защитного полимерного покрытия на основе ПЭНД. Изменения свойств основания, связанные с предварительной обработкой, а именно, термической стабильности, физико-химические характеристики и надмолекулярная структура. Для установления особенностей физико-химических превращений в полимерном защитном покрытии на основе ПЭНД с предварительной обработкой были проведены термографические, термомеханические, полимографические исследования, а также использованы методы ИК-спектроскопии [2-4].

На кривых дифференциально-термического анализа полиэтиленовой пленки без предварительной обработки активирующими составами присутствуют термоэффекты в области 125 и 400°С, что отвечает химическим превращениям материала и его последующей деструкции, фиксируемой после 320°С и сопровождаемой резким уменьшением массы к 400°С. Предварительная обработка полиэтиленового термонапыляемого покрытия активирующими составами на основе кремнезоля и УНТ позволяет существенно изменить свойства материала, повысить его термостабильность, что подтверждается сдвигами эндотермических эффектов при 125 и 400°С в зоны 135–140°С и 450–460°С соответственно (рисунок 1, 2). Изменение эндотермических эффектов и увеличение скорости потери массы на дифференциальной термогравиметрической кривой с 320°С в зону повышенных температур – 480°С (рисунок 2) связано с тем, что при активации напыляемого порошкового ПЭНД и металлической поверхности в процессе полимеризации в расплаве образуется надмолекулярная пачечная структура, которая уменьшает подвижность молекул покрытия. Эти результаты подтверждают правомерность выбора способа предварительной обработки защищаемой стальной поверхности активирующими композициями.

В зависимости от вида обработки порошка и защищаемой поверхности на термомеханических кривых (рисунок 1, 2) отмечается сдвиг температурных переходов в зону повышенных температур. Так, обработка порошка ПЭНД кремнезолью позволяет сместить температурные переходы на 10–15 °С; а обработка порошка УНТ – на 15–20 °С. Таким образом, активация порошкового ПЭНД способствует улучшению физико-механических и физико-химических свойств материалов. Наибольший эффект для термонапыляемых полимерных покрытий был достигнут при комплексной обработке металлических поверхностей и порошка ПЭНД кремнезолью с УНТ. Комплексные исследования экспериментальных модифицированных полиэтиленовых порошков ДТА, микроструктурным и ИК-спектроскопическим методом подтвердили положительное влияние предварительной обработки порошка ПЭНД активирующими композициями.

При определенных условиях большинство из синтетически полученных высокомолекулярных соединений способны к фазовым превращениям, что может быть проиллюстрировано термомеханическими кривыми (рисунок 3). Отмечено, что предварительная обработка металлической поверхности и порошка наноразмерными составами способствует термоусилению, отодвигая температуру термодеструкции в зону повышенных температур. Кристаллическое фазовое состояние полимера характеризуется наличием трехмерного порядка между отдельными звеньями молекул в пределах каждой отдельной пачки. Показано, что активирующие композиции способствуют созданию центров кристаллизации ПЭНД при формировании полимерной пленки, при этом отдельные

идентичные группы атомов, входящие в напыляемый полиэтиленовый порошок, соединяются между собой, образуя разветвленную прочную структуру. Изменение структуры полиэтиленовой пленки на изменении инфракрасного спектра ПЭНД с обработкой поверхности металла перед напылением и без нее представлено на рисунке 4.

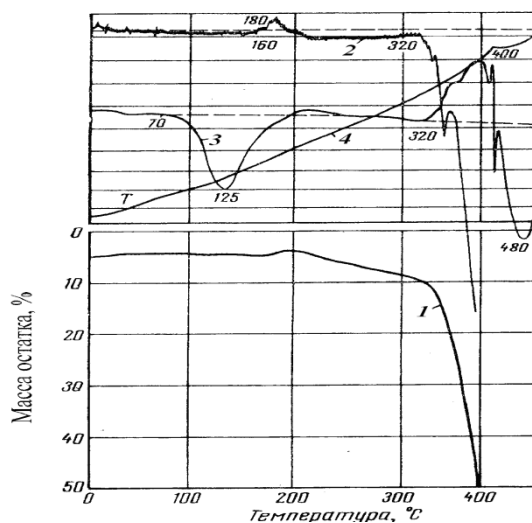


Рисунок 1 – Дифференциально-термический анализ контрольного образца: 1 – кривая TG; 2 – кривая DTG; 3 – кривая DTA; 4 – линия подъема температуры

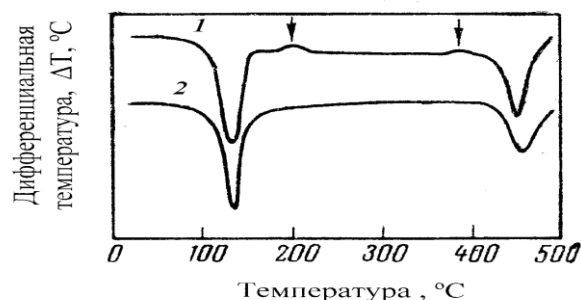


Рисунок 2 – Дифференциальный термический анализ полиэтиленового термонапыленного покрытия на различных подложках: 1 – кривая термогравиметрического анализа на подложке, обработанной кремнезолом; 2 – кривая дифференциального термогравиметрического анализа на подложке, обработанной кремнезолом с УНТ

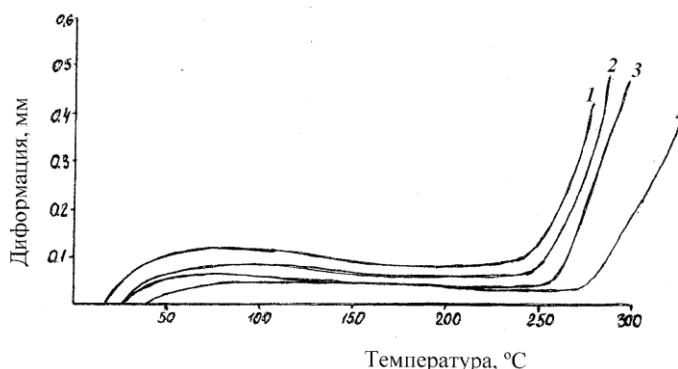


Рисунок 3 – Термомеханические кривые ПЭНД при обработке порошка и металлической поверхности: 1 – контрольный образец; 2 – предварительная обработка поверхности металла кремнезолом; 3 – предварительная обработка металлической поверхности и порошка ПЭНД кремнезолом; 4 – предварительная обработка металлической поверхности и порошка ПЭНД кремнезолом + УНТ

Испытания образцов атмосферные и в климатической камере никаких структурных изменений в полиэтилене от воздействия низких температур не выявили. В спектрах образцов полиэтилена, снятых после зимней выдержки, заметных структурных изменений не отмечено, в то время как в летний (теплый) период были отмечены некоторые признаки структурных изменений. Пленки помутнели и потеряли первоначальный блеск, что, вероятно, связано с процессами окислительной деструкции, проходящей с изменением структуры. Зафиксировано изменение оптической плотности полосы поглощения образцов полиэтилена в процессе старения. Расчет полосы проводился по методу базисной линии. Наблюдается появление полос поглощения в области $1380\text{--}1430\text{ см}^{-1}$, что, по нашему мнению, можно отнести к образованию разветвленной структуры полиэтилена за счет каталитического воздействия наноразмерных компонентов, предварительно нанесенных на защищаемую поверхность. Данный вывод хорошо согласуется с повышенными физико-механическими свойствами, в частности с увеличением теплостойкости (рисунок 3) и адгезии (рисунок 4).

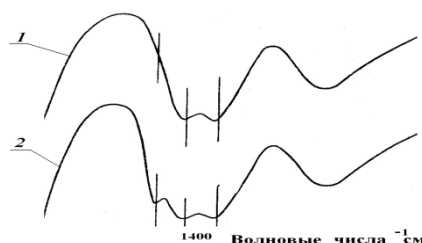


Рисунок 4 – Инфракрасный спектр полиэтилена вблизи 1400 см^{-1} :
 1 – контрольный образец; 2 – на поверхности металла, предварительно обработанной активирующим раствором.

Таким образом, для полиэтиленовых покрытий в виде пленок, полученных методом газопламенного напыления на металлические поверхности, экспонированных в течение длительного времени на открытом воздухе, отмечены появление и рост полосы поглощения при 1720 см^{-1} , связанные с образованием карбонильных групп $\text{C}=\text{O}$ в теплое время года. В пленках, экспонированных в зимнее время, а также за все время экспозиции, как показывают ИК-спектры, заметных структурных изменений не происходит. Отмечено положительное влияние предварительной обработки активирующими композициями металлических поверхностей перед нанесением полимерных покрытий, что позволило отработать технологические режимы нанесения порошковых покрытий на металлические поверхности, а также существенно повысить коррозионную стойкость и долговечность защищаемых элементов и рабочих органов очистных сооружений и канализационных систем. Доказано, что предварительная обработка металлических поверхностей активирующими композициями на основе кремнезоля и УНТ увеличивает адгезию к ним напыляемого покрытия из порошкового ПЭНД в 1,5–2,5 раза. Кроме того, исследование процесса полимеризации расплава напыляемого порошкового ПЭНД позволило установить, что предварительная обработка активирующими композициями на основе кремнезоля и УНТ металлических поверхностей и порошкового ПЭНД приводит к модификации полимерного покрытия, при этом его прочность увеличивается на 25–45%, так как в процессе полимеризации полимерной пленки формируется разветвленная структура полиэтилена. Показано, что в результате предварительной обработки защищаемой поверхности активирующими композициями кремнезоля и УНТ наблюдается модифицирование напыляемого порошкового покрытия, что обеспечивает увеличение плотности и снижение усадки полиэтиленовых защитных композиций на 50–70%, сближает коэффициенты линейного температурного расширения покрытия и поверхности, чем обеспечивает их совместную работу.

Библиографический список

1. Пичугин А.П., Городецкий С.А., Бареев В.И. Комплексная защита сельскохозяйственных объектов от коррозионного разрушения// Строительные материалы. – 2011. - №3. – С.45-47.
2. Пичугин, А.П. Полы из модифицированных полимерными композициями материалов в сельском хозяйстве [Текст] / А.П. Пичугин, М.О. Батин, В.В. Банул // Строительные материалы. 2012. № 8, – С. 80–82.
3. Пичугин, А.П., Стойкость термонапыляемых полимерных покрытий в средах животноводческих помещений [Текст] / А.П. Пичугин, В.В. Банул // Строительные материалы. 2013. № 8, – С. 47–49.
4. Пичугин А.П., Городецкий С.А., Бареев В.И. . Коррозионностойкие материалы для защиты полов и инженерных систем сельскохозяйственных зданий и сооружений./ Монография, НГАУ-РАЕН, Новосибирск, 2010. – 142 с.

УДК 691.11:674.048

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА МОДИФИЦИРОВАННОЙ ПОЛИМЕРНЫМИ КОМПОЗИЦИЯМИ ДРЕВЕСИНЫ ДЛЯ ПОЛОВ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ

Пичугин А.П., Батин М.О., Митина Л.А., Никитенко К.А.

*Новосибирский государственный аграрный университет
Новосибирск, Россия, gmunsau@mail.ru*

***Аннотация.** Для продления сроков службы деревянных полов, а так же для замены ценной хвойной древесины на древесину низкосортных лиственных пород были предложены новые технологические решения и устройство полов из модифицированной полимерами древесины. Модифицирование представляет собой сквозную пропитку древесины березы полимерными составами в результате чего получается новый композиционный материал со свойствами, превышающими показатели исходных веществ. В статье приводятся результаты физико-химической оценки модифицированной древесины, для установления возможности использования её в полах животноводческих помещений.*

***Ключевые слова:** модифицированная древесина, полимерные композиции, санитарно-гигиеническая оценка, биостойкость древесины, термомеханические исследования, полы животноводческих помещений.*

Для широкого использования разработанной технологии и внедрения в практику сельского строительства необходимо было провести физико-химические исследования по выявлению особенностей модифицированной древесины и обоснованию принятых режимов, а также дать санитарно-гигиеническую оценку новым полам. С этой целью были проведены термомеханические исследования, которые показали изменение качественных показателей древесины при модификации полимерами (рисунок 1). Так, в зависимости от насыщения древесины полимером термомеханическая кривая смещается в сторону повышенных температур, приближаясь к кривой чистого полимера, что свидетельствует о термостабильности и, как следствие, о повышении физико-механических свойств и устойчивости в агрессивных средах. При малых дозах насыщения древесины, т.е. насыщении полимером менее 10% почти не улучшает качественные показатели материала [1-3].

Существенное влияние на свойства модифицированной древесины оказывают технологические режимы отверждения полимера, что хорошо иллюстрируется термомеханическими кривыми. Так, для смолы СФЖ – 3017 при низких температурах отверждения наблюдается повышенная деформативность и даже снижение эксплуатационных параметров по сравнению с натуральной древесиной и только при температуре термообработки свыше 110 °С отмечены некоторые улучшения свойств. Максимального

эффекта модифицирования древесины достигается при отверждении при температуре 150°C, что хорошо иллюстрируется термомеханической кривой, представленной на рисунке 2. В свою очередь, анализ термомеханических исследований позволяет сделать вывод о сложности и неоднозначности процессов модифицирования древесины, о необходимости строго соблюдения оптимальных рецептур, режимов и составов на всех этапах производства.

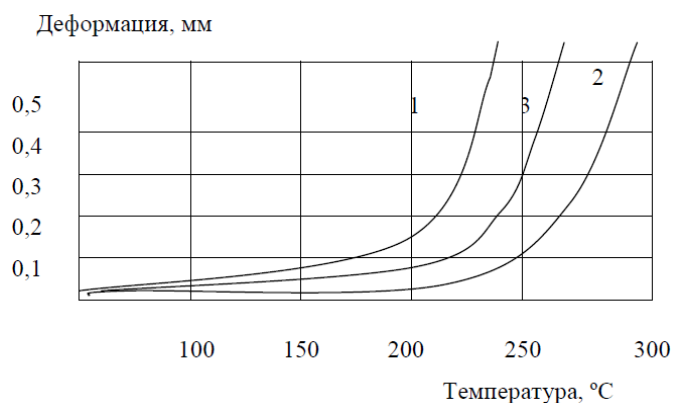


Рисунок 1 – Термомеханические кривые натуральной (1) и модифицированной (2) древесины и отвержденного полимера (3)

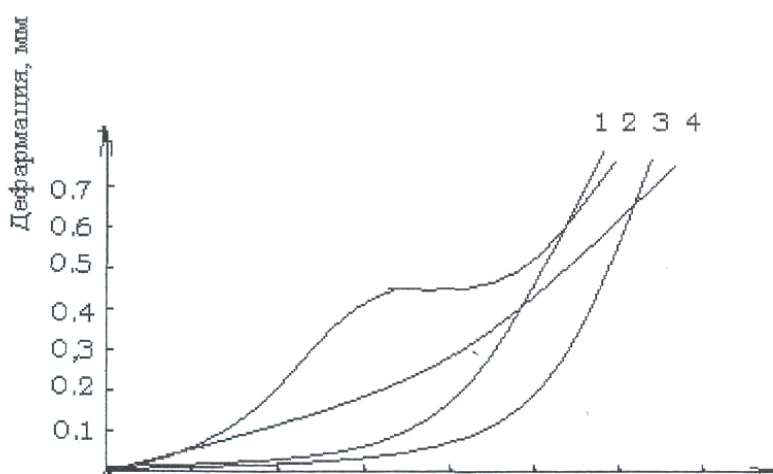


Рисунок 2 – Термомеханические кривые модифицированной древесины смолой СФЖ – 3017: 1 – натуральная древесина; 2 – отверждение без прогрева; 3 – то же с прогревом при 100°C; 4 – то же при 150°C

Важнейшим элементом животноводческих зданий является конструкция пола в местах отдыха животных, т.к. с полом происходит непосредственный контакт тела животного. От характеристик и состояния пола зависят здоровье, чистота кожного и шерстного покрова коров, а следовательно, бактериальная и механическая загрязненность молока. Содержание животных на холодных и сырых полах является одной из основных причин простудных заболеваний и выбраковки животных. Теплотери через пол могут достигать значительных величин, для восполнения которых животным приходится расходовать большое количество энергии, что приводит к увеличению объема кормов и себестоимости продукции.

Важнейшим показателем тепловых качеств материалов для полов является теплоусвоение, которое согласно требованиям строительных норм и правил (СНиП) определяется по формуле

$$S = 2.507 \sqrt{\frac{\lambda \cdot c \cdot \rho_0}{Z}} \text{ или при } Z = 24 \text{ ч}$$

$$S = 0,51 \sqrt{\lambda \cdot c \cdot \rho_0},$$

где λ – коэффициент теплопроводности, Вт/м·°С;

c – удельная теплоемкость, Дж/кг·°С;

ρ_0 – плотность материала пола, кг/м³;

Z – период колебания теплового потока, ч.

Вычисленные значения показателя теплоусвоения для модифицированной полимерами древесины соответствовали характеристикам обычной сухой древесины, т.е. находились в пределах от 7,1 до 7,5 Вт/м·°С. При увлажнении образцов модифицированной и обычной древесины до влажности 15% показатели теплоусвоения соответственно были равны 7,7 и 9,1 Вт/м·°С, а при насыщении водой до 30%- соответственно 8,4 и 11,7 Вт/м·°С. Таким образом, следует отметить, что модифицированная древесина и по теплофизическим показателям значительно превышает качественные характеристики натуральной (немодифицированной) древесины. В то же время, учитывая малую гигроскопичность и меньшую величину влагонасыщения следует отдать предпочтение модифицированной древесине [2,3].

Не менее важным свойством древесины для полов животноводческих помещений является поведение материала при увлажнении и высушивании, при воздействии агрессивных химических сред и растворов. Для модифицированной древесины характерно снижение водопоглощения в 2-2,5 раза по сравнению с натуральной. Так, для модифицированной березы максимальное влагопоглощение за 24 часа составляет 4-5%, для осины – 6-7%. Отмечено, что при насыщении полимером менее 10% водопоглощение древесины любых пород мало отличается от натуральной. Таким образом, это ещё раз подтверждает, что минимальное насыщение полимерным составом должно быть не менее 20% [2-5].

При ускоренных испытаниях на атмосферостойкость более чем в 1,5-2 раза снижается водо- и влагопоглощение, а также разбухание модифицированной древесины. Замедленная диффузия водных растворов и низкая скорость набухания древесины, пропитанной полимерами, обуславливает ее повышенную стойкость к агрессивным воздействиям животноводческих помещений (таблица 1).

Таблица 1 – Стойкость модифицированной древесины при ускоренных испытаниях в агрессивных средах

Порода	Модификатор	Тангенциальное разбухание после 48 ч выдерживания в 10%-м аммиака, раз	Относительная прочность после 30 суток выдерживания при 80°С, в %	
			в синтетическом растворе мочи животных	в сероводородных ваннах
Береза	-	4 – 5	50,6±0,4	30,7±0,8
Береза	На основе фенолоспиртов	1,5 – 2	85,1±0,2	90,4±0,5
Береза	На основе СФЖ-3017	1,2 – 1,7	87,4±0,1	89,2±0,11
Береза	На основе СФЖ-3066	1,5 - 2	86,0±0,14	92,0±1,4

Учитывая тот факт, что материал пола подвергается механическим воздействиям, но в тоже время он должен быть эластичным и упругим, образцы модифицированной древесины были определены физико-механические показатели нового материала.

Твердость модифицированной древесины существенно зависит от степени насыщения полимером и температуры отверждения. При степени заполнения древесины мене 20% физико-механические свойства почти не отличаются от показателей нату-

ральной древесины. При насыщении древесины полимером свыше 55-60% твердость материала может увеличиваться в 1,3-1,5 раза, что недопустимо по зоогигиеническим требованиям степень насыщения древесины модификатором должна быть в пределах от 25 до 50%. Поскольку материалы полов часто подвергаются ударным воздействиям от ног животных были определены показатели сопротивления удару по методике падающего с высоты шарик, ударяющего в образец. Величина прочности материала модифицированной древесины оценивалась по величине пластических деформаций (отпечатков), полученных от вдавливания при ударе стального шарика о поверхность образца. Для более точного определения и облегчения отчетов на образец укладывались копировальную бумагу на лист тонкой белой бумаги [4].

Основные физико-механические и эксплуатационные свойства модифицированной древесины представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Основные свойства модифицированной древесины

Показатель	Наименование деталей для пола		
	доски	лаги	шашки
1	2	3	4
Плотность, кг/м ²	650-850	600-750	650-900
Влажность, %	15-18	15-18	16-18
Водопоглощение за 30 суток при содержании полимера не менее 30%, не более	30	40	30
Влагопоглощение за 24 часа не более, %	5	7	5
Ударная вязкость поперек волокон, кДж/м ² , не менее	25	-	-
Твердость, Н/м ² ·10 ⁴ , не менее			
торцевая	-	-	40
боковая	20	-	-
Модуль упругости, МПа, не менее:			
при сжатии вдоль волокон	-	-	8000
при статическом изгибе	9000	8000	-
Теплопроводность, Вт/м·К			
вдоль волокон	-	-	0,2-0,3
поперек волокон	0,1-0,2	-	-
Теплоемкость, Дж/моль·К	1200-1500	-	1200-1700
Показатель теплоусвоения, Вт/м·ч	7,1	7,5	7,7
Температуропроводность, м ² /с			
вдоль волокон	-	-	(2,6-3,5)·10 ⁻⁷
поперек волокон	(1,2-1,5)·10 ⁻⁷	-	-

Таким образом, обработку древесины полимерами можно считать новым высокоэффективным технологическим решением, обеспечивающим комплексное улучшение свойств и максимальную экономию древесины при изготовлении полов для животноводческих помещений. При этом особо следует отметить улучшение теплофизических характеристик материала пола за счет меньшей величины влагонасыщения и низкой гигроскопичности, что положительно отражается на самочувствии сельскохозяйственных животных и, как следствие, способствует повышению продуктивности и уменьшению расхода кормов при их содержании. Выполнены комплексные исследования по экологической и санитарно-гигиенической оценке модифицированной древесины, включающие в себя физико-механические и физико-химические исследования. Установлены рациональные рецептурно-технологические параметры модифицирования древесины, обеспечивающие максимальное повышение качества материала при минимальном насыщении по-

лимерными связующими при допустимых концентрациях свободного фенола и формальдегида. Лабораторные исследования биостойкости древесины показали, что сопротивляемость нового материала воздействию гифов грибов при эксплуатации в агрессивных средах животноводческих помещениях весьма высока. На основе физико-химических и технологических исследований дана комплексная оценка приемлемости модифицированной древесины в качестве материала для обеспечения долговечности и биостойкости полов животноводческих помещений.

Библиографический список

1. Батин, М.О. Биостойкость древесины в решетчатых полах животноводческих помещений [Текст] / М.О. Батин, А.П. Пичугин // Мир науки, культуры, образования. 2012. №1, - С.318-320.
2. Пичугин, А.П. Полы из модифицированных полимерными композициями материалов в сельском хозяйстве [Текст] / А.П. Пичугин, М.О. Батин, В.В. Банул // Строительные материалы. 2012. №8, - С.80-82.
3. Пичугин, А.П. Стойкость термонапыляемых полимерных покрытий в средах животноводческих помещений [Текст] / А.П. Пичугин, В.В. Банул, М.О. Батин // Строительные материалы. 2013. №10, - С.26-30.
4. Батин, М.О. Пути обеспечения стойкости древесины в полах животноводческих помещений [Текст] / М.О. Батин, В.И. Бареев, А.П. Пичугин // Международный сборник научных трудов «Строительное материаловедение: состояние, тенденции и перспективы развития». – Новосибирск, 2011, - С.160-164.
5. Батин, М.О. Влияние микроклимата животноводческих помещений на коррозионную стойкость частей зданий [Текст] / М.О. Батин, А.П. Пичугин, В.И. Бареев // Международный сборник научных трудов «Строительное материаловедение: состояние, тенденции и перспективы развития». – Новосибирск, 2011. – С.184-185.

УДК 691.32

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭФФЕКТИВНЫХ ЛЕГКОБЕТОННЫХ СТЕНОВЫХ ИЗДЕЛИЙ С ПОВЫШЕННОЙ ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТЬЮ

Пичугин А.П., Денисов А.С., Хританков В.Ф., Пименов Е.Г., Лазарев Е.Г.

*Новосибирский государственный аграрный университет
Новосибирск, Россия, gmunsau@mail.ru*

Аннотация. Разработаны теоретические положения и практические предложения по технологии производства крупнопористых легкобетонных изделий на комбинированных пористых заполнителях с изменяемой структурой пор, эффективно снижающих шуму одновременно на низких, средних и высоких звуковых частотах за счет направленно изменяемой пористой структуры. Представлена технологическая схема и результаты производственной апробации результатов исследований.

Ключевые слова: легкие бетоны, пористый заполнитель, изменяемая пористая структура, защитные композиции, бетонные смеси, раздельное формование.

Ограждения, возводимые из мелкоштучных изделий по традиционным технологиям, имеют высокую плотность, снижающую теплотехнические параметры стеновых конструкций и не обладают достаточными шумопоглощающими свойствами, что так важно в современном мире. К недостаткам каменной кладки стен можно отнести низкие теплофизические характеристики, в результате чего ограждающие конструкции имеют повышенную массивность и, следовательно, высокую стоимость. Авторами предложена технология, принципиально отличающаяся от ранее существовавших подходов при формировании изделий из однородной массы, базирующаяся на получении интегральной

крупнопористой структуры материала. Разработаны теоретические положения формирования легких бетонов на крупном пористом заполнителе с изменяемой структурой пор, эффективно снижающих шумы одновременно на низких, средних и высоких звуковых частотах за счет направленно изменяемой пористой структуры, и обладающие при этом высокими теплотехническими свойствами. Установлена возможность регулирования звукопоглощающих свойств материалов стеновых ограждений путем формирования структуры материала с направленно изменяемой величиной пор в крупнопористом легком бетоне и оптимизации соотношения составляющих в крупном заполнителе [1-3]

Учитывая тот факт, что пористый шлаковый заполнитель содержат значительное количество пор, влияющих на расход цемента и существенно снижающих теплозащитные функции легкого бетона, был проведен анализ способов защиты крупного заполнителя. Используемые традиционные методы в зависимости от направления улучшения свойств легкого бетона могут проявлять следующий эффект: ускорять процесс твердения минерального вяжущего; образовывать защитную пленку; создавать пенистую структуру для снижения скорости распространения влаги и цементной массы внутрь пористого заполнителя; способствовать воздуховлечению в легкобетонную смесь и т.д. Проведенный литературный обзор патентной, периодической и нормативной информации позволил установить, что подавляющее большинство работ по совершенствованию состава, технологий производства легких бетонов с пористыми заполнителями для повышения качества связана с предварительным увлажнением или комплексным воздействием влаги и пенообразующих составов. Однако, получаемый при этом легкий пористый заполнитель и легкий бетон отличается повышенной плотностью и требует значительного времени для испарения излишков воды. Кроме того, наличие избытка воды снижает прочность цементного камня, что может привести к перерасходу минерального вяжущего. Поэтому был принят другой принцип – создание защитной пленки из полимерной или комплексной полимерсиликатной композиции.

Учитывая высокую удельную поверхность шлакового заполнителя, которая при рациональном расходе составляет от 550 до 1500-2200 м²/м³ бетонной смеси, были определены предельные экономически обоснованные потребности защитного материала для создания качественного покрытия. На первом этапе готовились образцы одинакового размера (2х2х0,5 см³) из минеральных заполнителей, на поверхность которых наносилось защитное покрытие из различных композиционных материалов: фенолоформальдегидная смола СФЖ – 3086, латекс СКС 65-ГП, битумная эмульсия, жидкое стекло, дисперсия ПВА и др. Способ нанесения покрытия принимался различным: кисточкой, наливом, окунанием. После получения пленки на поверхности образцов определялась условная толщина защитного покрытия и рассчитывался расход композиций для каждого конкретного случая. По результатам проведенных исследований выбран оптимальный состав комбинированного полимерсиликатного покрытия.

Структура бетона с интегральным расположением крупного заполнителя существенно отличается от обычных конгломератов, но может быть представлена как единственный элемент крупнопористого бетона в каждой конкретной точке массива бетона, но каждый рядом располагающийся слой отличается от среднего и крайних слоев не только диаметром гранул крупного заполнителя, но и плотностью, и, следовательно, и теплофизическими и акустическими показателями. Разработана технологическая схема производства легкобетонных изделий из комбинированного крупного заполнителя с регулируемой пористой структурой (рисунок 1) [3-6].

Подготовлены рекомендации на производство рабочего состава бетонной смеси и предложена технологическая схема с соответствующим оборудованием. Изготовлены специальные устройства для отдельного послойного формования блоков и в условиях реального производства отформовано нескольких партий стеновых блоков. Средние физико-технические характеристики материала легкобетонных блоков, в которых в каче-

стве заполнителя вводился керамзитовый гравий и топливный шлак, предварительно разделенные на фракции 5-10; 10-20; 20-40 мм, следующие:

предел прочности при сжатии, МПа	2,5-7,5
средняя плотность, кг /м ³	450-720
коэффициент теплопроводности, Вт/(м °С)	0,15-0,25
морозостойкость, цикл	35-50
водопоглощение, %	28-45.

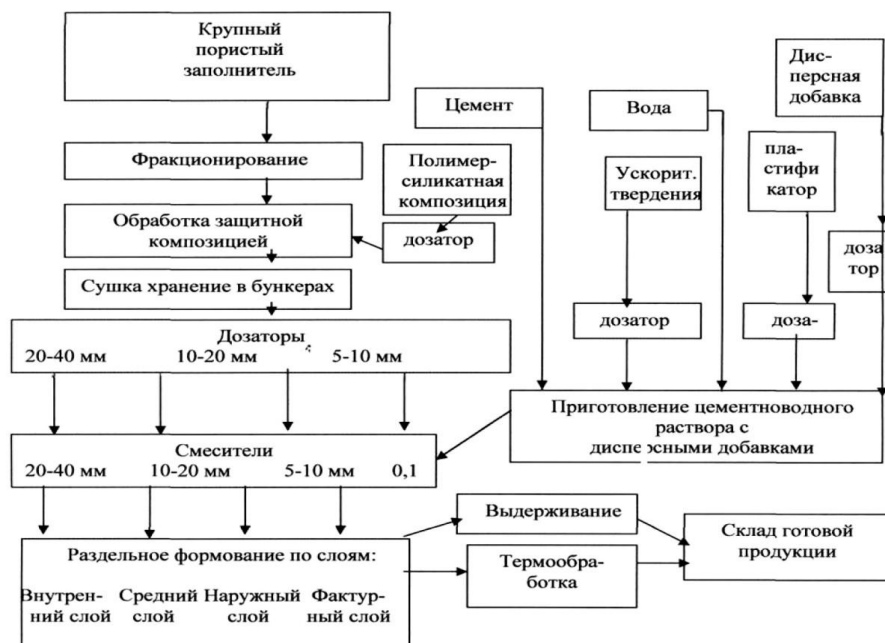


Рисунок 1 – Технологическая схема производства легковесных изделий с интегральным расположением крупного заполнителя по мокрому способу при работе нескольких смесительных устройств

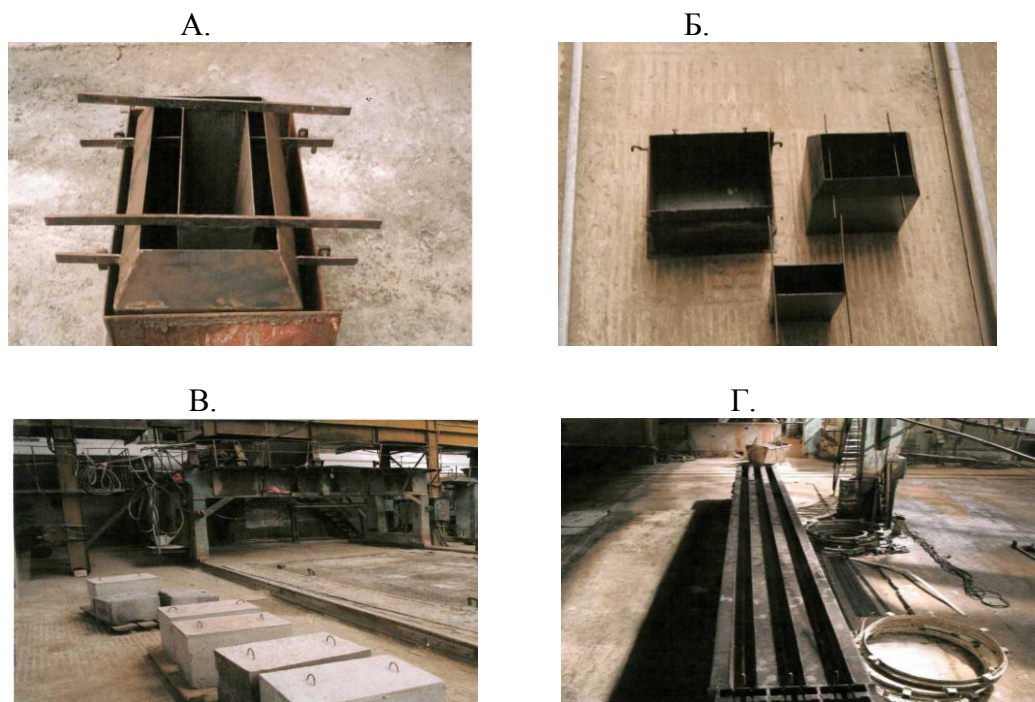


Рисунок 2 – Специальные формы для раздельного пофракционного формования легковесных блоков из крупнопористого бетона с изменяемой гранулометрией: А - форма в сборе; Б - отдельные элементы формы; В - форма для длиномерных и

монолитных конструкций стен; Г - готовые блоки на Куйбышевском заводе железобетонных изделий

Защита поверхности шлаковых гранул крупного заполнителя различными составами с целью уменьшения толщины защитных слоев и снижения расхода защитных составов целесообразно полимерсиликатной композицией из жидкого стекла и ПВА, что позволяет снизить водоцементное отношение на первом этапе твердения легких бетонов за счет поглощения воды шлаковым заполнителем. Предложена технологическая схема производства легких бетонов с комбинированным заполнителем и послойным формованием изделий с различными фракционными составами, что обеспечивает эффективное снижение звуковой проницаемости (шумозащиту) в широком диапазоне звуковых волн за счет создания структуры с различной формой и различным диаметром пор. Определен комплект оборудования и технологической оснастки для изготовления изделий из таких бетонов (рисунок 2). Использование предложенных составов и технологии позволяет получать легкие бетоны, имеющие среднюю плотность до 450-750 кг/м³; коэффициент теплопроводности от 0,14 до 0,31 Вт/(м·°С), морозостойкость не менее 15 циклов, коэффициент звукового поглощения во всем диапазоне звуковых частот от 0,3 до 0,7 [5-8]. Осуществлено производственное апробирование и внедрение предложенных материалов и технологических процессов. Легкобетонные блоки использованы при строительстве жилых и производственных зданий в Барабинском, Куйбышевском и Чановском районах Новосибирской области. Регулярное обследование стен этих зданий в течение ряда лет показало стабильность свойств и эксплуатационную стойкость изделий из предложенных легких бетонов. Внутренняя поверхность экспериментальных стен теплее шлакобетонных стен без органического заполнителя в среднем на 5,0-5,5 °С; влажность материала на внутренней поверхности ограждения ниже в 1,3-1,4 раза, что свидетельствует об осушающем эффекте пористого заполнителя в легком бетоне и, следовательно, улучшении микроклимата помещений в целом. Кроме того, отмечено уменьшение уровня шума в помещениях от внешних источников в 2-3 раза по сравнению с обычными стенами из керамзитобетона.

Библиографический список

1. Пичугин А.П. Применение торфа в строительстве / А.П.Пичугин, В.Ф. Хританков. - Новосибирск: НГАУ, 2001. - 101 с.
2. Хританков В.Ф. Легкие органоминеральные бетоны с повышенной звукопоглощающей способностью / В.Ф. Хританков. - Новосибирск: НГАУ-РАЕН.- 2009. - 158 с.
3. Пичугин А.П. Экологические проблемы эффективного использования отходов и местного сырья в строительстве / А.П. Пичугин, А.С. Денисов, В.Ф. Хританков // Строительные материалы.- 2005.- №5.- С. 2-4.
4. Пичугин А.П. Эффективные органоминеральные бетоны с повышенными тепло- и звукоизолирующими свойствами / А.П. Пичугин, А.С. Денисов, В.Ф. Хританков, В.В. Авраменко // Строительные материалы. - 2008. - № 5. - С. 73-75.
5. Бердов Г.И. Нанопроцессы в технологии строительных материалов / Г.И. Бердов, В.Н. Зырянова, А.Н. Машкин, В.Ф. Хританков // Строительные материалы. - 2008. - № 7. - С.76-78.
6. Субботин О.С. Эффективное применение энергосберегающих конструкций и материалов в малоэтажных жилых зданиях / О.С. Субботин, В.Ф. Хританков // Жилищное строительство. - 2008. - № 12.- С. 20-23.
7. Хританков В.Ф. Оптимизация составов для защиты крупного органического заполнителя и упрочнения материалов стен / В.Ф. Хританков, А.Ю. Кудряшов, А.П. Пичугин // Строительные материалы. - 2009. - № 3. - С. 60-63.

8. Хританков В.Ф. Лёгкие органоминеральные бетоны с повышенной звукопоглощающей способностью/ В.Ф.Хританков// Строительные материалы. - 2009. - № 8. - С. 56-59.

УДК 691.55:666.914.5

СУХИЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ СМЕСИ С ПОВЫШЕННОЙ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬЮ И РЕГУЛИРУЕМЫМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ ТЕМПЕРАТУРНОГО ЛИНЕЙНОГО РАСШИРЕНИЯ ДЛЯ МОНТАЖНЫХ И КЛАДОЧНЫХ РАБОТ

Денисов А.С., Хританков В.Ф., Белан И.В., Пичугин М.А.

*Новосибирский государственный аграрный университет
Новосибирск, Россия, gmunsau@mail.ru*

***Аннотация.** В статье представлены результаты исследований в области создания сухих строительных смесей с повышенными эксплуатационными свойствами. Показано, что введение отходов асбестоцементного производства способствует микроармированию растворной смеси, а добавка проникающей композиции совместно полимерной порошковой добавкой - сополимером винилацетата и этилена (ВАЭ) с различными добавками стабилизирующего назначения, обеспечивают хорошую растворимость в воде и устойчивость к старению в атмосфере. Кроме того, такие составы обладают повышенной трещиностойкостью, а это, в свою очередь, способствует повышению прочности и долговечности строительного материала.*

***Ключевые слова:** строительные растворы, сухие смеси, адгезионная способность, усадочные деформации, трещиностойкость.*

Данные исследования были направлены на изучение влияния рецептурных факторов на трещиностойкость строительных растворов из сухих смесей, т.к. одним из негативных проявлений конгломератных материалов, в т.ч. и строительных растворов является их усадка во времени, которая вызвана уменьшением объема цементного камня в растворной части смеси при твердении. Данные деформации обусловлены испарением воды из микрокапилляров и последующим обжатием структуры цементного камня капиллярными силами. В простых стандартных строительных растворах величина усадки может составлять 0,5-1,2 мм/м, что приводит к образованию усадочных трещин, которые отрицательно сказываются на эксплуатационных свойствах, адгезионных характеристиках и других параметрах затвердевших строительных растворов, используемых в зданиях. Кроме того, усадка отрицательно сказывается на долговечности соединяемых элементов или защитных составов ввиду возможности насыщения трещин водой и различными растворами, способствующими нарушению целостности и возникновению дополнительных касательных напряжений [1-4].

На величину усадочных деформаций влияет целый спектр различных факторов, одними из которых является количество цемента и степень крупности мелкого заполнителя. Так, при повышенном расходе минерального вяжущего величина усадки может составлять более одного миллиметра на метр, а при снижении процентного содержания цемента в растворной массе отмечается уменьшение усадки. Кроме того, мелкий минеральный заполнитель, по-возможности, должен представлять достаточно четко регламентированный гранулометрический состав, обеспечивающий плотную упаковку минеральных составляющих без излишних пор и пустот. С этой целью рекомендуются составы на основе песков средней крупности с модулем крупности от 1,2 до 1,8.

На следующем этапе создания сухих строительных смесей было проведено изучение влияния различных видов мелкого заполнителя на величину усадочных деформаций (рисунок 1). Как следует из приведенных графиков, строительный раствор на керамзитовом песке (кривая 1) имеет значительно большие показатели усадки по сравнению с со-

ставами на шлаковом и кварцевом песках (кривые 2 и 3). Существенное снижение усадочных деформаций – почти в два раза - может быть достигнуто при использовании дисперсного микроармирования, например, за счет введения отходов асбестоцементного производства (кривая 4) или другого волокнистого материала.

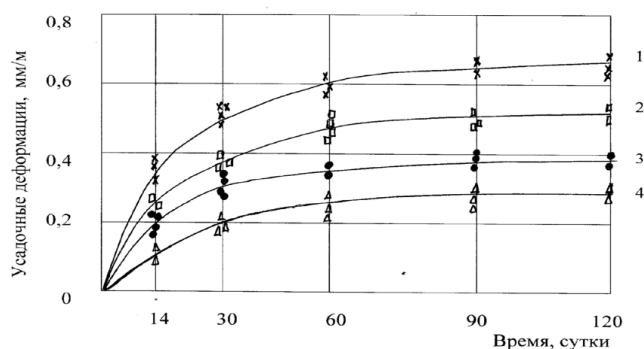


Рисунок 1 – Влияние вида заполнителя на усадочные деформации мелкозернистого бетона: 1 – бетон на керамзитовом песке; 2 – бетон на шлаковом песке; 3 – бетон на кварцевом песке; 4 – то же, с добавкой отходов АЦП

С этих позиций необходимо было уточнить рациональный расход отходов асбестоцементного производства с целью обеспечения минимальной усадки в течение длительного срока хранения и эксплуатации. На рисунке 2 представлены кривые зависимости усадки мелкозернистых бетонов на кварцевом песке от содержания отходов асбестоцементного производства. Как следует из приведенных графиков, добавка ОАЦП до 5% мало влияет на величину усадочных деформаций. При 10-15% ОАЦП в составе смеси отмечается существенное снижение усадки строительного раствора (почти в два раза), что дополнительно сопровождается увеличением прочности при изгибе. Дальнейшее насыщение смеси отходами асбестоцемента не приводит к положительному эффекту ввиду агрегатизации и чрезвычайно развитой удельной поверхности асбестового волокна, имеющего трубчатую микроструктуру. Поэтому при 20%-ном содержании ОАЦП отмечено некоторое увеличение усадки по сравнению с 15%-ным содержанием ОАЦП. Кроме того, при данном расходе ОАЦП отмечается возможность получения строительного раствора максимальной плотности для различных расходов цемента, что может свидетельствовать о достижении оптимальной гранулометрии и возможности создания хорошо упакованного плотного конгломерата [4-6].

Дополнительным важным фактором обеспечения качественных показателей строительного раствора из сухих смесей является максимально возможное снижение водоцементного отношения при приготовлении растворной массы. Отмечено, что введение отходов асбестоцемента оказывает существенное влияние на увеличение водоцементного отношения, что вызвано высокой внутренней пористостью данного компонента, позволяющего насыщаться до ста и более процентов влаги. Поэтому рост этого показателя вполне закономерен и является следствием высокоразвитой пористой структуры асбестового волокна при различных расходах цементного вяжущего.

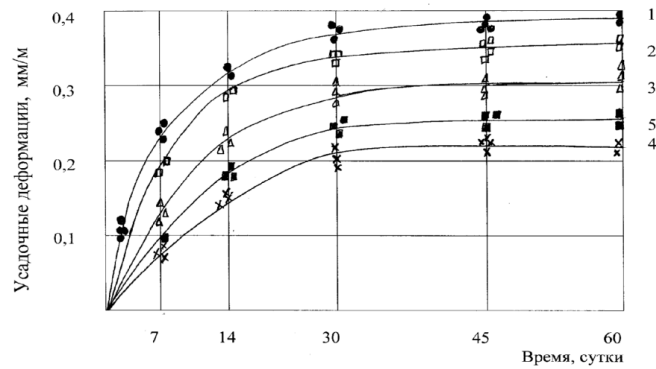


Рисунок 2 – Влияние добавок отходов АЦП на усулочные деформации строительного раствора на кварцевом песке: 1 – бетон без добавок; 2 – добавка отходов АЦП 5 %; 3 – то же, 10 %; 4 – то же, 15 %; 5 – то же, 20 %

Снижению водоцементного отношения может способствовать введение пластифицирующих, гидрофобизирующих и полимерных добавок, позволяющих получать пластичные смеси при минимальных расходах воды. Кроме того, введение таких добавок способствует получению плотных малопористых структур, обеспечивающих заданные технологические и эксплуатационные свойства. Нами был использован редиспергируемый полимерный порошок – сополимер винилацетата с этиленом (ВАЭ) марки аквапас №2028. На рисунке 3 представлены кривые влияния расхода отходов асбестоцемента на водоцементное отношение строительного раствора при введении добавок дегидрола и ВАЭ, показавшее положительное значение данных компонентов в технологическом обеспечении строительных растворяных смесей.

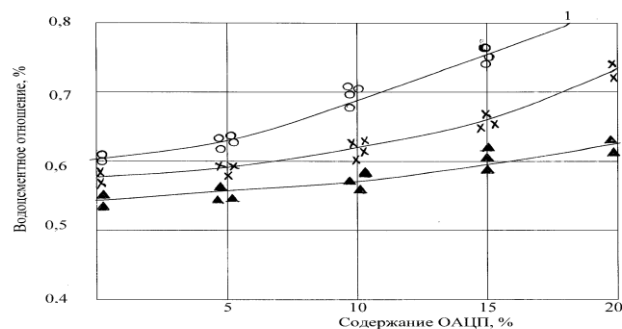


Рисунок 3 – Влияние расхода отходов асбестоцемента на водоцементное отношение раствора: 1 – без добавок; 2 – с добавкой дегидрола (3%); 3 – то же, + ВАЭ

Отмечено, что совместное введение этих компонентов в сухие строительные смеси способствует снижению водоцементного отношения на 25-45%, что должно положительно сказаться на пористости цементного камня и его плотности после затвердевания. Дополнительным эффектом от введения двухкомпонентной добавки в состав сухой строительной смеси является тот факт, что после затвердевания строительного раствора проявляется пластифицирующий эффект выражающийся в снижении величины усадки более, чем в два раза по сравнению с составами без добавок. На рисунке 4 представлены кривые влияния времени твердения строительного раствора на относительную величину усадки. Отмечено, что введение дегидрола и ВАЭ обеспечивает стабилизацию этого процесса после четырехнедельного твердения. В то же время составы без добавок продолжают длительное время изменять свои линейные и объемные размеры.

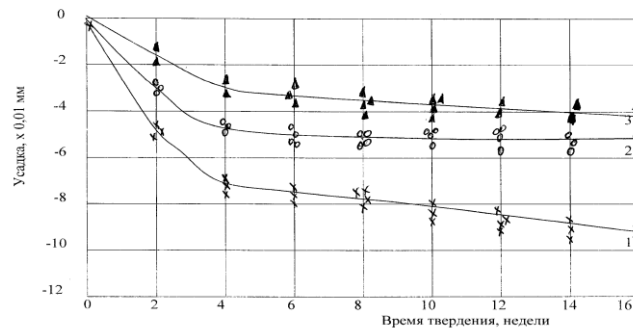


Рисунок 4 – Влияние времени твердения строительного раствора с содержанием 10% ОАЦП на величину относительной усадки:
1 – без добавки; 2 – с добавкой дегидрола; 3 – то же, + ВЭА

Таким образом, для создания малоусадочных строительных растворов из сухих смесей в их состав необходимо вводить от 10 до 15% отходов асбестоцементного производства, а также дополнительно пластифицирующие добавки полимеров или гидрофобизаторов, обеспечивающие минимальную водопотребность. Кроме того, рациональным, на наш взгляд, является введение специальных добавок, способствующих повышению адгезии и плотности получаемых растворных смесей, что позволит дополнительно улучшить их качество и эксплуатационные показатели, и в первую очередь, трещиностойкость. Обладая повышенной трещиностойкостью, строительный раствор способен лучше сопротивляться циклическим температурным воздействиям при попеременном увлажнении и высушивании, замораживании и оттаивании, а это в свою очередь, должно обеспечить повышенную стойкость и долговечность строящихся и ремонтируемых объектов.

Библиографический список

1. Безбородов В.А., Парикова Е.В., Пичугин А.П. Сухие строительные смеси и технология их применения. Монография./ Новосибирск: НГАСУ-НГАУ, 2010. – 126 с.
2. Пичугин А.П., Городецкий С.А., Бареев В.И. Комплексная защита сельскохозяйственных объектов от коррозионного разрушения// Строительные материалы. – 2011. - №3. – С.45-47.
3. Субботин О.С., Пичугин А.П., Белан И.В. Материалы и архитектура малоэтажных зданий, эксплуатирующихся в особых природных условиях. Монография./ Новосибирск: НГАУ-РАЕН, 2012. – 192 с.
4. Белан В.И., Белан И.В., Нерадовский Е.Г., Пичугин А.П. Сухие строительные смеси специального назначения// Ресурсосберегающие технологии и эффективное использование местных ресурсов в строительстве: Междунар. сб. научн. тр. Новосибирск, НГАУ-ТГАСУ-РАЕН, 2013. – С.349-358.
5. Белан И.В., Карпик С.Н., Пичугин А.П., Хританков В.Ф. Роль дисперсного армирования в обеспечении качества растворов и мелкозернистых бетонов// Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона: Междунар. сб. научн. тр. Саратов, СГТУ, 2013. – С.80-84.
6. Белан И.В., Пичугин А.П., Денисов А.С. Сухие строительные смеси с активными и микроармирующими добавками.// Инновационные разработки и новые технологии в строительном материаловедении: Междунар. сб. научн. тр. Новосибирск, НГАУ-ТГАСУ-РАЕН, 2014. – С.186-190.

ЗАЩИТНЫЕ КОМПОЗИЦИИ С КОМПЛЕКСНЫМИ ДОБАВКАМИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ БЕТОННЫХ И КАМЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ

Пичугин А.П., Шаталов А.А., Балаш В.В., Белан И.В.

Новосибирский государственный аграрный университет
Новосибирск, Россия, gmunsau@mail.ru

Аннотация. Предложены рациональные составы защитных растворов композиций. Показано, что оптимальные процентные расходы отходов асбестоцемента позволяют обеспечить совместимость коэффициентов линейного расширения строительных растворов с показателями каменных стеновых материалов. Это, в свою очередь, создаст благоприятные условия для совместной работы частей зданий и сооружений в течение длительного срока без нарушения их целостности.

Ключевые слова: плотность, пористость, прочность, отходы асбестоцемента, дисперсное армирование, дегидрол, адгезионная способность.

Учитывая тот факт, что защитные композиции на основе цементных вяжущих веществ широко используются при производстве ремонтных работ каменных и бетонных сооружений, предварительно были изучены свойства различных каменных материалов с определением их плотности, пористости, прочности и других параметров. Эти данные, приведенные в таблице 1, показывают, что максимальная плотность достигает 2650 кг/м³ для гранита, 1820 до кг/м³ для силикатного кирпича, а минимальная - для газобетона «Сибит» - 500 кг/м³. Пористость стеновых материалов также варьирует в широких пределах от 7 до 83%. Прочностные показатели наиболее широко применяемых материалов расположены в интервале от 1,5 до 75,0 МПа. Также большой разброс значений имеют коэффициенты теплопроводности и величины водопоглощения материалов.

Таблица 1 – Свойства стеновых материалов

Вид стенового материала	Показатели свойств				
	Плотность кг/м ³	Пористость, %	Предел прочности при сжатии, МПа	Коэффициент теплопроводности Вт/м ² , °С	Водопоглощение, %
Гранит	2560-2650	-	125-150	3,1-3,7	0,5-0,8
Красный кирпич	1300-1740	10-18	7,5-10,0	0,66-0,81	8-18
Силикатный кирпич	1640-1820	7-16	7,5-15,0	0,73-0,92	6-10
«Сибит»	500-550	68-79	1,5-3,5	0,12-0,31	38-48
Газобетон	550-600	71-83	1,5-2,5	0,15-0,35	35-50
Керамзитобетон	900-1100	32-44	2,5-7,5	0,35-0,47	23-37
Шлакобетон	950-1200	12-36	2,5-5,0	0,59-0,74	23-38

С целью обеспечения длительной совместной работы каменной кладки из стеновых строительных материалов и защитных строительных растворов необходимо было ввести в состав композиции минеральные добавки, способствующие уменьшению расхода цемента и создающие более плотную упаковку затвердевшего раствора. Учитывая тот факт, что ранее была доказана целесообразность введения отходов асбестоцементного производства и дегидрола, было сделано предположение, что при дополнительном помо-

ле этих компонентов и цемента раскроются активные центры и дополнительно проявятся вяжущие свойства у всех составляющих. С этой целью было изучено влияние дополнительного измельчения на свойства как самих компонентов, так и строительных растворов из сухих смесей. На рисунках 1 и 2 показаны результаты дополнительной операции по уменьшению степени дисперсности вводимых добавок. Оценочным критерием служили остатки на сите № 008 в процентах. [1-3]

Как следует из приведенных графиков, максимальный результат по уменьшению дисперсности достигается при времени помола от 0,5 до 1,0 часа. Дальнейшее снижение дисперсности сопровождается агрегатизацией размолотых компонентов и ухудшением качества помола. С этих позиций рациональным можно считать время измельчения в пределах 0,5-0,6 часа. При совместном помоле с дегидролом как цемента, так и отходов асбестоцемента отмечен эффект разделения и четкой самоорганизации частиц без их агрегатизации. Данная зависимость сопровождается увеличением степени дисперсности минеральных компонентов от времени совместного помола с дегидролом в интервале от 0,25 до 1,0 % добавки этого компонента [2-4].

Важной характеристикой защитных строительных растворов является их пластическая прочность, которая зависит от состава и наличия добавок направленного действия. Данный параметр определяет технологическую способность материала к возможности осуществления строительных и монтажных работ в течение определенного промежутка времени без снижения качества используемых материалов и уменьшения их активности по вяжущему веществу. На рисунке 3 представлены кривые зависимости пластической прочности цементно-песчаного защитного строительного раствора от времени затворения смеси. Отмечено, что добавка ВАЭ способствует продлению начала схватывания, т.е. удлиняет сроки использования строительной растворной массы практически до четырех часов (кривая 1). В то же время при отсутствии добавок схватывание раствора наблюдается уже через два часа (кривая 3). Отмечен положительный эффект введения отходов асбестоцемента (кривая 2), заключающийся в сдвиге начала формирования пластической прочности материала. Это, по-нашему мнению, может быть отнесено за счет большого количества влаги внутри данного компонента и, как следствие, более медленного протекания процесса гидратации цемента. В то же время добавка дегидрола (кривая 4) ускоряет процесс формирования структуры материала, о чем свидетельствует быстрый рост пластической прочности строительного раствора приготовленного из сухой смеси.

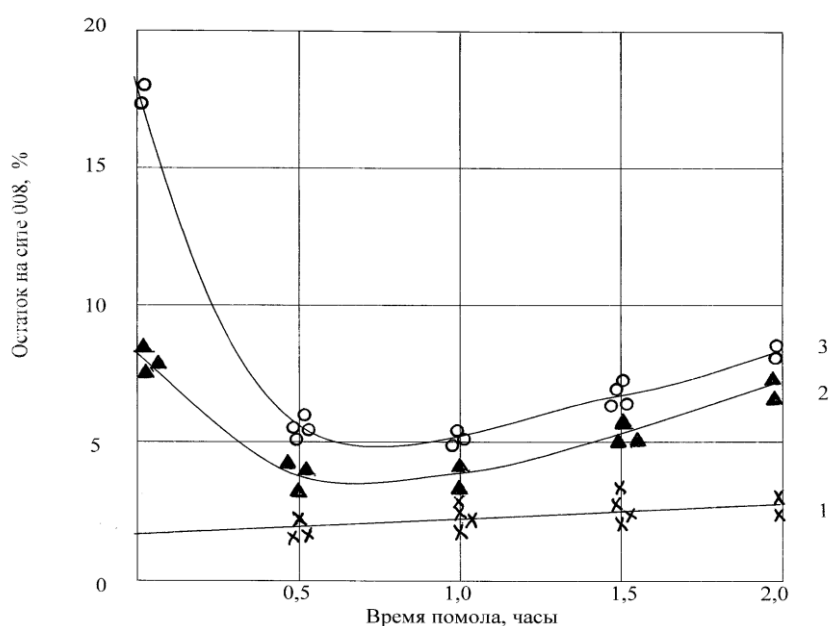


Рисунок 1 – Зависимость степени дисперсности минеральных компонентов от времени помола: 1 – портландцемент; 2 – дегидрол; 3 – отходы ОАЦП

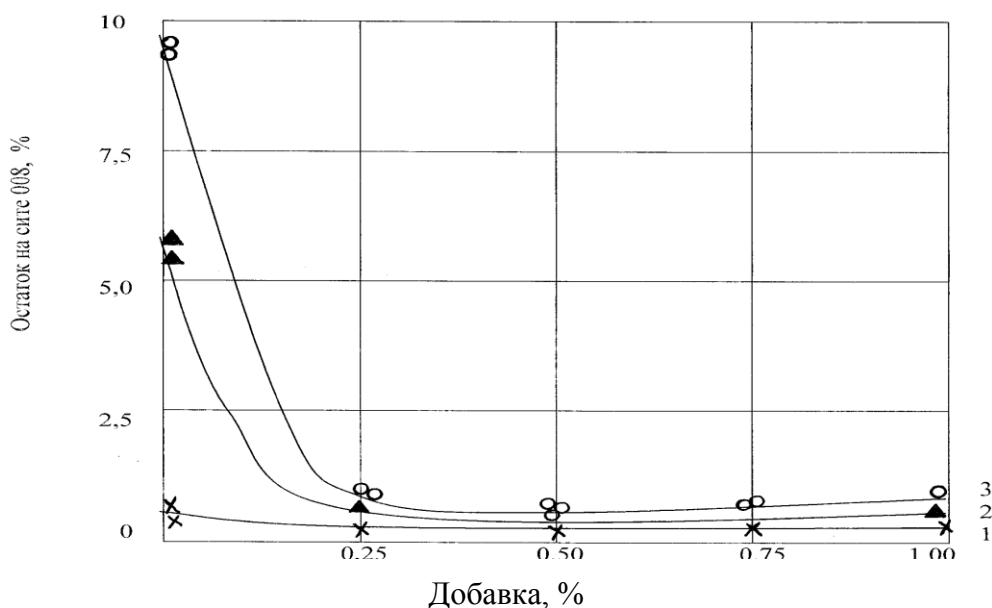


Рисунок 2 – Зависимость степени дисперсности минеральных компонентов от времени совместного помола с дегидролом: 1 – портландцемент; 2 – дегидрол; 3 – отходы ОАЦП

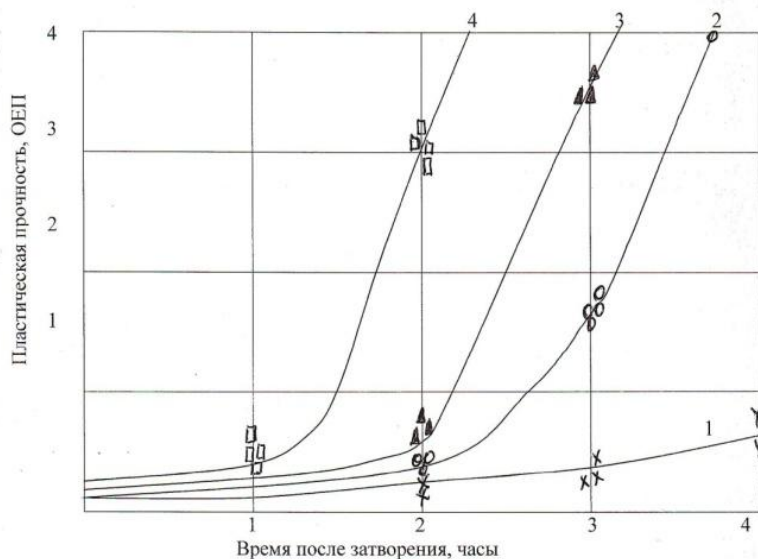


Рисунок 3 – Зависимость пластической прочности цементно-песчаного раствора от времени затворения: 1 – добавка ВАЭ; 2 – добавка ОАЦП; 3 – без добавки; 4 – добавка дегидрола

Адгезионная способность и прочностные свойства затвердевшего строительного раствора в огромной степени зависят от степени уплотнения материала в период проведения ремонтных каменных или монтажных работ. Поэтому было проведено изучение влияния степени уплотнения растворной массы на прочность строительного раствора. На рисунке 4 представлены кривые зависимости степени уплотнения строительной растворной смеси на прочностные и структурные характеристики материала.

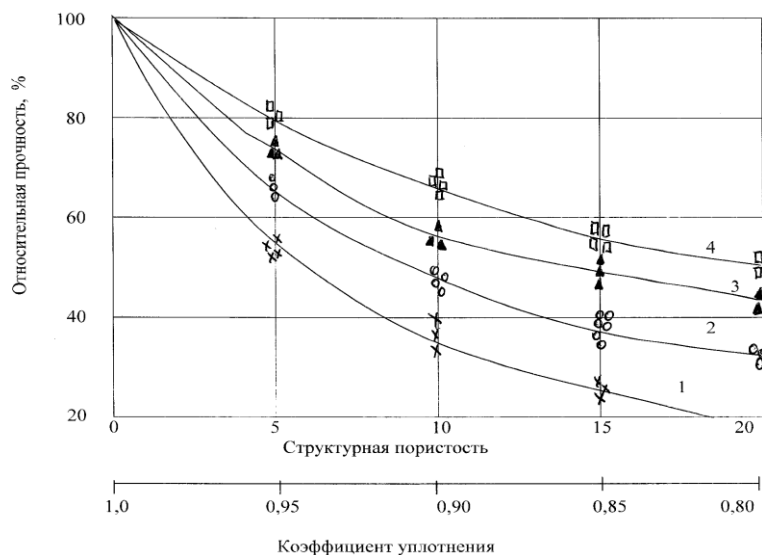


Рисунок 4 – Влияние степени уплотнения структуры цементного композита на прочность строительного раствора: 1 – без добавок; 2 – добавка ВАЭ; 3 – добавка ОАЦП; 4 – добавка дегидрола

Анализ представленных графиков свидетельствует о положительном влиянии всех вводимых добавок на способность растворной смеси уплотняться, что приводит к меньшей потере прочности и снижению пористости. В то же время при одних и тех же значениях пористости составы с добавками дегидрола и ОАЦП имеют значительно более высокие показатели прочности. Данный эффект может быть объяснен проявлением микроармирующего воздействия отходов асбестоцемента и дополнительным проникающим проявлением дегидрола.

Дальнейшее изучение свойств строительных растворов из сухих смесей было направлено на изучение адгезионной способности материала путем испытаний на сдвиг сдвоенных кубиков в месте контакта бетона или другого стенового материала со строительным раствором. Кроме испытаний на сдвиг, были проведены испытания на отрыв путём разрыва составных восьмёрок, выполненных из двух полувосьмёрок из обычного цементного бетона и склеенных растворной композицией.

Как показали проведенные испытания по вышеизложенным способам, разрушение целостности контактного слоя в большей степени зависят от состава защитного строительного раствора. Так введение ВАЭ резко увеличивает прочность сцепления с основой; большое влияние на показатели адгезии оказывает количество вводимого дегидрола, обеспечивающего проникновение частиц раствора в массив основания стенового материала, что иллюстрируется соответствующими графиками. На рисунке 5 представлены кривые зависимости расхода дегидрола в строительном растворе и способности данной композиции к проникновению в различные материалы. Как следует из приведенных данных, добавка двух-трех процентов дегидрола обеспечивает проникновение в массив стенового материала на 2-12 мм, что, по-нашему мнению, вполне достаточно для создания хорошей адгезии. В то же время при отсутствии этой добавки в составе строительного раствора прочность сцепления в полтора-два раза ниже. Прочность в контактной зоне при испытании на сдвиг колеблется в пределах от 2,0 до 8,5 МПа, а при испытании на отрыв – от 0,8 до 3,5 МПа [5].

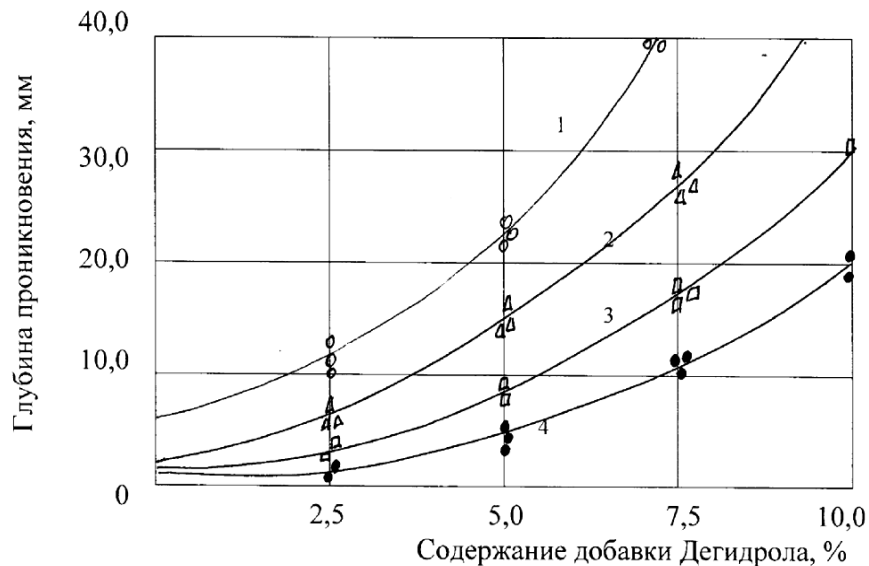


Рисунок 5 – Влияние расхода дегидрола на проникновение частиц строительного раствора в массив стенового материала: 1 – тяжелый бетон; 2 – силикатный кирпич; 3 – легкий бетон; 4 – газобетон

Изучены зависимости влияния содержания отходов АЦП на адгезионные характеристики строительного раствора, из которых следует, что совместное введение ВАЭ и дегидрола существенно повышает адгезию композиции к основанию стенового материала, о чем было отмечено выше. Следует особо отметить, что адгезионная прочность зависит от прочности не только самого строительного раствора, но и защищаемого каменного материала или цементобетонного основания, качества поверхности, его чистоты и влажности. С позиций уточнения рецептуры покрытия следует считать, что лучшим может быть состав, включающий минеральные добавки направленного действия: отходы асбестоцементного производства и дегидрол [4,5].

Некоторые наружные элементы каменной кладки и части сооружений работают в большом диапазоне температур (от -40°C в зимний период до $+50^{\circ}\text{C}$ летом при нагреве солнечными лучами), что приводит к изменениям размеров строительных конструкций, материалов и штукатурных покрытий. Из-за разности коэффициентов линейного расширения на границе со стеновыми материалами и штукатурным или кладочным раствором возникают внутренние напряжения, которые приводят к отслоению защитного покрытия от основания, а впоследствии и к разрушению. Выходом из сложившейся ситуации может стать выравнивание физических свойств строительных растворов, в частности их коэффициентов линейного расширения с показателями каменных и бетонных стеновых материалов. Учитывая тот факт, что бетонные и каменные изделия заводского изготовления имеют стабильные качественные показатели и снижение или увеличение коэффициентов линейного расширения для них практически невозможно, остается только один вариант – приведение коэффициента линейного расширения строительного раствора до уровня показателей стеновых материалов. Последнее может быть достигнуто путем наполнения строительных композиций минеральными порошками или мелкодисперсными фракциями, способствующими снижению величины коэффициента линейного температурного расширения.

Для проведения исследований изготавливались образцы-плитки размерами $100 \times 100 \times 10$ мм из строительного раствора, приготавливаемого из сухой смеси и добавок направленного действия: отходов асбестоцементного производства и дегидрола. Образцы помещали в термостат и нагревали до $+80^{\circ}\text{C}$; при этой температуре определялись линей-

ные размеры образцов. Затем помещали образцы в холодильник, доводили температуру до -10°C и также определяли линейные размеры образцов.

После многократного проведения повторных опытов над образцами, брались средние значения изменения линейных размеров и по формуле $\alpha = \Delta \ell / \Delta t \cdot \ell$ определяли значение коэффициента линейного расширения. В данной формуле: $\Delta \ell$ – разность линейных размеров (длин) образцов при Δt – разности температур.

Штукатурные покрытия и кладочные растворы имеют различные коэффициенты линейного температурного расширения, зависящие от состава и степени уплотнения. Для стандартных условий эти показатели могут иметь следующие значения в пределах от $\alpha = 0,5$ до $1,5 \cdot 10^{-5} / \text{град}$, поэтому нами были проведены дополнительные исследования по установлению влияния отходов асбестоцемента на изменение данных параметров.

Разработаны рациональные составы смеси для каждого каменного материала индивидуально. Так для монтажных работ по укладке бетонных и железобетонных конструкций и деталей рациональной степенью наполнения строительного раствора на кварцевом песке являются смеси с содержанием отходов АЦП в пределах до 10%, что обеспечивает затвердевшему строительному раствору показатели коэффициента линейного расширения в пределах $0,9-1,2 \cdot 10^{-5} / \text{град}$, аналогичные бетону и железобетону [3-5].

При использовании легких бетонов (керамзитобетон, аглопоритобетон, перлитобетон и др.) рациональной степенью наполнения ОАЦП является 5-12%. Для газобетона и силикатного кирпича этот показатель должен составлять от 10 до 17%, а для каменной кладки из керамического кирпича не менее 15-20%. Именно такие процентные расходы отходов асбестоцемента позволяют обеспечить совместимость коэффициентов линейного расширения строительных растворов из сухих строительных смесей с показателями стеновых материалов. Это, в свою очередь, создаст благоприятные условия для совместной работы частей зданий и сооружений в течение длительного срока без нарушения их целостности.

Таким образом, для улучшения качества и обеспечения требуемой минимальной величины сцепления защитного строительного раствора требуется обязательное введение в его состав строго определенного количества отходов асбестоцемента в зависимости от назначения используемой смеси. Кроме того, рационально введение ВАЭ в количестве 1-2% от массы цемента и проникающей композиции дегидрол в количестве 1-1,5%. Такой состав обладает адгезией практически к любому основанию стенового материала с показателями сцепления не менее 1,0-1,5 МПа, что считается вполне достаточным для длительной эксплуатации как защитных, так и кладочных или монтажных строительных растворов.

Библиографический список

1. Безбородов В.А., Парикова Е.В., Пичугин А.П. Сухие строительные смеси и технология их применения. Монография./ Новосибирск: НГАСУ-НГАУ, 2010. – 126 с.
2. Субботин О.С., Пичугин А.П., Белан И.В. Материалы и архитектура малоэтажных зданий, эксплуатирующихся в особых природных условиях. Монография./ Новосибирск: НГАУ-РАЕН, 2012. – 192 с.
3. Белан В.И., Белан И.В., Нерадовский Е.Г., Пичугин А.П. Сухие строительные смеси специального назначения// Ресурсосберегающие технологии и эффективное использование местных ресурсов в строительстве: Междунар. сб. научн. тр. Новосибирск, НГАУ-ТГАСУ-РАЕН, 2013. – С.349-358.
4. Белан И.В., Карпик С.Н., Пичугин А.П., Хританков В.Ф. Роль дисперсного армирования в обеспечении качества растворов и мелкозернистых бетонов// Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона: Междунар. сб. научн. тр. Саратов, СГТУ, 2013. – С.80-84.

5. Белан И.В., Пичугин А.П., Денисов А.С. Сухие строительные смеси с активными и микроармирующими добавками.// Инновационные разработки и новые технологии в строительном материаловедении: Междунар. сб. научн. тр. Новосибирск, НГАУ-ТГАСУ-РАЕН, 2014. – С.186-190.

УДК 691.4+666.7

ХАРАКТЕРИСТИКА ОСАДКА ВОДООТВЕДЕНИЯ КАК СЫРЬЕВОГО РЕСУРСА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Рогова Е.В., Дидоренко А.А.

*Сибирский государственный университет путей сообщения
г. Новосибирск, Россия elena.rogova4@yandex.ru*

***Аннотация.** Рассмотрена возможность использования осадков сточных вод коммунального хозяйства в производстве обжиговых керамических материалов. Актуальность данной работы обусловлена необходимостью расширения сырьевой базы строительной индустрии и разработки эффективной технологии утилизации отходов станций подготовки питьевой воды. Установлено, что осадок представляет собой смесь органических и неорганических веществ, находящихся в дисперсном состоянии, Основой применения осадка водоочистки в керамических материалах является химическая и физическая схожесть их состава и свойств, основанная на их коллоидно-химическом происхождении в природных условиях.*

***Ключевые слова:** строительная керамика, осадок водоочистки, кварц, глинистые частицы, пористая структура.*

Введение

Промышленные отходы являются одним из основных загрязнителей окружающей среды. Одним из таких продуктов антропогенной деятельности человека, являются сточные воды. В процессе очистки сточных вод на городских очистных сооружениях образуется осадок, который складывается на специально отведенных для этого площадках (картах депонирования осадка). Карты депонирования осадка занимают большие площади земли и являются потенциальным источником загрязнения атмосферы и подземных вод. Таким образом, утилизация осадка является серьезной экологической проблемой, требующей безотлагательного решения для улучшения окружающей среды.

Потенциально осадки водоочистки могут найти применение в различных качествах в производстве строительной керамики: как замена компонентов сырьевой смеси, в качестве корректирующих и активных добавок и т. д. [1-3]. Еще одно перспективное направление обезвреживания и утилизации осадков является их сжигание при высоких температурах в слоевых и факельных топках или в печах с псевдоожиженным слоем инертных материалов, например песка [4-5]. Образующаяся при сжигании осадков зола может быть использована в производстве строительных материалов: кирпича, техногенных грунтов и др. [6-10].

С целью определения рационального и экологически безопасного пути использования осадков с очистных станций МУП «Водоканал» г. Новосибирска в производстве строительной керамики, были изучены вещественный состав и энергетический потенциал такого осадка.

Методика эксперимента и материалы

В качестве объекта исследования в работе использовали осадки сточных вод с городской станции очистки сточных вод г. Новосибирска. Были использованы пробы с карт депонирования № 8 (осадок без добавления ила и флокулянта ПАА) и с карты № 39 (осадок с добавлением активного ила, механическим обезвоживанием с применением флокулянта ПАА).

Для анализов использовались усредненные пробы. Отбор проб и их подготовка для химического анализа осуществлялись по ГОСТам 17.4.4.02-84, 12071-84, 28168-89.

Химический состав органической и неорганической части осадков определяли по стандартным методикам ПНД Ф 16.1:2.3:3.11-98. Определение содержания минеральных, летучих веществ и влаги в осадке и золе проводили согласно ГОСТ 11014-2001, ГОСТ 6382-2001, ГОСТ 11022-95. На приборе VRA-20 с флуоресцентным анализатором рентгеноспектральным методом проводили полуколичественный анализ минеральной составляющей осадка.

Рентгенофазовый анализ (РФА) проводился на дифрактометре Bruker D8 Advance с использованием $\text{Cu-K}\alpha$ излучения. Для идентификации полученных дифрактограмм использовалась база данных PDF2 с оболочкой Search-Match.

Электронные микрофотографии и элементный анализ были получены на электронном микроскопе Hitachi TM-1000, оснащенный энергодисперсионным детектором TM1000 EDS.

Гранулометрический состав сырья определяли на лазерном анализаторе частиц «Микросайзер-201А».

Содержание водорастворимых солей в водной вытяжке из золы определялся методом капиллярного электрофореза на приборе «Капель-105» с использованием методик ПНД Ф 14.1:2:4.157-99 и ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000.

Результаты и их обсуждение

На свойства образующихся осадков влияют многие факторы. Это и режим работы очистных сооружений, и способ обработки осадка, и многие другие. На предприятии МУП «Горводоканал» г. Новосибирск осадки обезвоживали до влажности 70–75% масс. центрифугированием в присутствии коагулянтов. Сырой осадок имеет аморфную структуру и тиксотропные свойства.

Гранулометрический состав сырого осадка изучался путем его разделения на ситах с разным размером ячеек. Чтобы избежать агрегации частиц, осадок на ситах промывался водой. Кривая гранулометрического состава взвеси осадка представлена на рисунке 1. При осмотре частиц под оптическим микроскопом было установлено, что большое количество частиц имеют неправильную форму, что можно объяснить агломерацией частиц при коагуляции и сегментации.

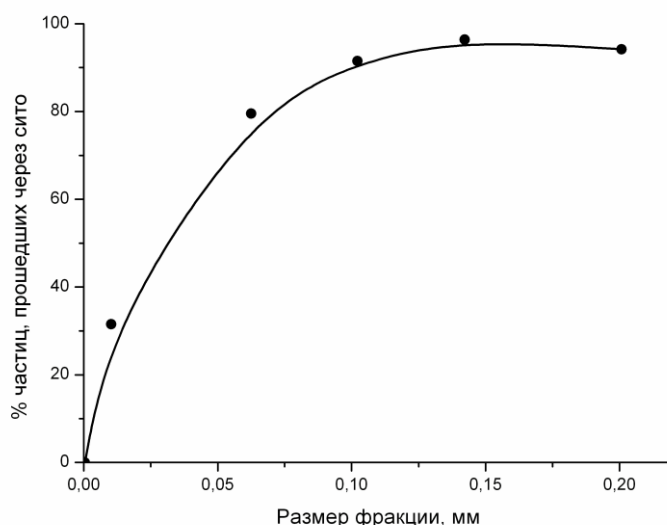


Рисунок 1 – Гранулометрический состав сырого осадка

Рентгенофазовый анализ показал, что основной кристаллической фазой сырого осадка является высокодисперсный кварц (рисунок 2). Такой кварц не может рассматриваться как отошающее вещество, поскольку, несмотря на отсутствие его способности к формованию, по своим физическим характеристикам он близок к глине [9].

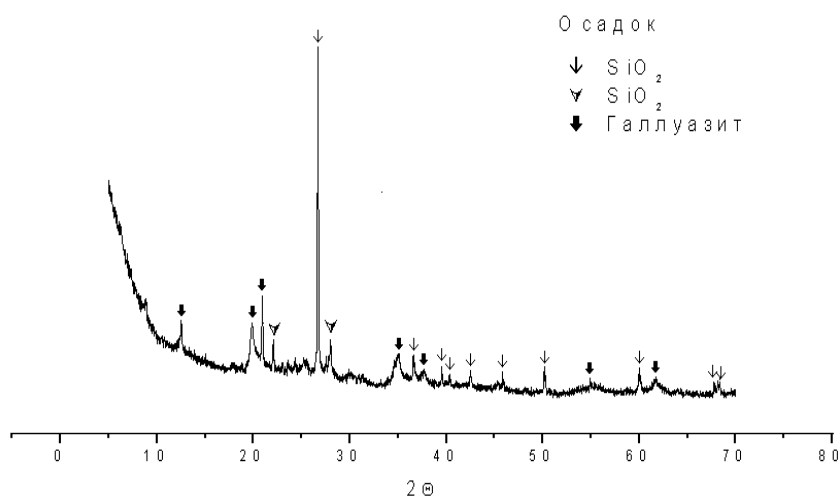


Рисунок 2 – Рентгенограмма сырого осадка

Сравнительный анализ адсорбционных свойств сырого осадка и речного песка показал, что содержащийся в осадке высокодисперсный кварц в отличие от крупнодисперсного речного песка обладает большей адсорбционной способностью, что, по-видимому, связано с различной морфологией частиц кварца из осадка и речного песка.

В составе сырого осадка имеются как органические, так и неорганические вещества в дисперсном состоянии. Больше всего в осадках Si (13,20-20,15%) и Al (11,1-12,86%). Также имеется Fe (4,12-7,13%), Mn (1,3-1,9%), Mg (1,2-1,8%) и Ca (2,72-2,85%). Также обнаружено наличие других (более 20) элементов (таблица 1 и 2).

Таблица 1 – Химический состав минеральной части осадка по результатам рентгеноспектрального флуоресцентного метода анализа

Содержание элементов, % вес.	Химические элементы
10-20	Al, Si
1,0-10	Fe, Ca, Mg, Mn
0,1-1,0	Zn, Ti, K
<0.1	Zr, V, Sr, Rb, Cu, Ni, Cr, Cd, Li, Ta, Mo, Co, Ba, B, As

Таблица 2 – Химический состав минеральной части осадка по данным химического анализа

	Содержание оксидов, мас. %						ППП сверх 100%
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	K ₂ O	
Осадок	59,8	4,6	17,8	13,1	8,1	-	43,5

Исследование осадков с карт №8 и №39 показало, что наличие свинца, кадмия, цинка, меди и никеля значительно превышает ПДК (таблица 3).

Таблица 3 – Содержание тяжелых металлов в данных картах ОСВ

Осадок	Содержание металлов, мг/кг
--------	----------------------------

	Pb	Cd	Zn	Ni	Cu	Al	Fe
№8	80,0	21,3	2428	70,4	609	23100	19500
№39	34,9	12,3	3649	45,3	546	28800	14500
ПДК	20	2,0	100	85	55	-	-

Осадок содержит большое количество органических веществ. Органические вещества составляют 44 - 49% от массы сухого осадка (таблица 4).

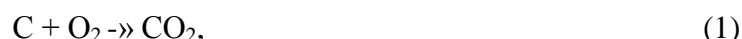
Таблица 4 – Химический состав органической части осадка сточных вод (в % масс. в пересчете на сухое вещество)

Предприятие	C	H	N	S	P	O	Сумма
МУП «Водоканал» г. Новосибирск	35,0-40,0	4,6-4,9	1,5-2,1	0,6	0,6	16,0	60,8- 64,1

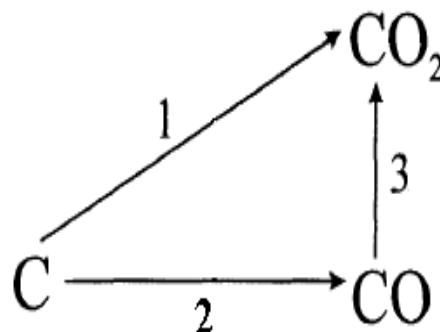
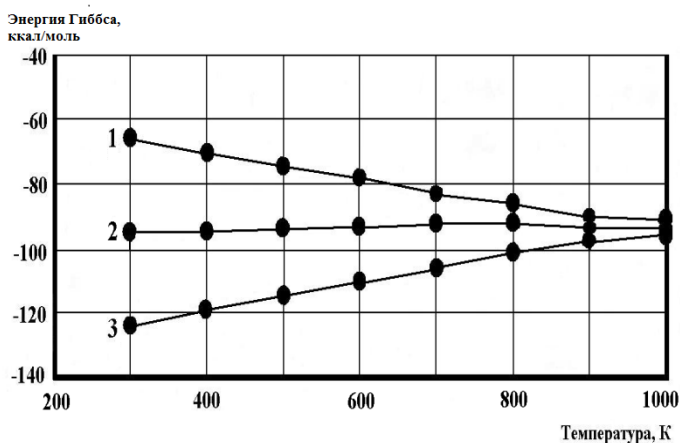
Известно, что сжигание твердых топлив возможно только при теплотворной способности не ниже 4000 МДж/кг [4]. Осадок, обезвоженный до 25% содержания вещества в зависимости от его состава, который в свою очередь зависит от технологии очистки сточных вод имеет теплотворную способность не выше 1500 МДж/кг. Таким образом, хотя самостоятельное горение обезвоженного осадка невозможно по термодинамическим причинам, тем не менее, энергетический потенциал осадка водоочистки позволят получить экономию за счет снижения потребности во внешней тепловой энергии и уменьшении температуры обжига.

Учитывая значительное содержание органики в осадке с высокой степенью достоверности можно предположить, что выделяющиеся при выгорании органических веществ газообразные продукты будут участвовать в процессах формирования пористой структуры золы, а теплотворная способность осадка положительно скажется на тепловом балансе процесса сжигания.

Для оценки термодинамических превращений различных органических соединений, содержащихся в осадке, вся сумма содержащихся органических соединений была принята за углерод (С). Расчеты проводились для следующих реакций газификации углерода:



Представленные на рисунке 3а результаты термодинамических расчетов, выполненные для условий- температурный интервал исследований 298-1000 К; давление 1 атм., показывают, что процессы образования газовой фазы будут протекать по схеме, представленной на рисунке 3б.



а)

б)

Рисунок 3 – Изменение энергии Гиббса от температуры (а) и схема превращения (б) при газификации углерода (1-3 номера реакций)

Выводы

1. Осадок бытовых сточных вод представляет собой состав органических и неорганических веществ (диоксид кремния, глинистое вещество, соединения тяжелых металлов), находящихся в дисперсном состоянии, и воды в химически связанном состоянии, в виде адсорбционных оболочек и свободной воды.

2. Технически рациональным и экологически неопасным является использование осадка в керамических материалах силикатного и алюмосиликатного составов на основе обожженных глин. Основой такого применения осадка водоочистки в керамических материалах является химическая и физическая схожесть их состава и свойств, основанная на их коллоидно-химическом происхождении в природных условиях.

3. Для перевода механически обезвоженных осадков из категории «отходов» в категорию «продукция» необходима разработка нормативно технической и разрешительной документации на использование осадков в производстве строительных материалов.

Библиографический список

1. Хакимов Ф.И. Рекомендации по утилизации илов городских очистных сооружений / Ф.И. Хакимов, А.С. Керженцев, С.М. Севостьянов. М.: Госкомэкологии России, 1999. 54 с.
2. Бернадинер М.Н. Термическое обезвреживание промышленных органических отходов / М.Н. Бернадинер, В.В. Жижин, В.В. Иванов // Экология и промышленность России. 2000. Апр. С. 17-21.
3. Сжигание осадков сточных вод коммунального хозяйства в псевдоожиженном слое катализатора / А.Д. Симонов, Н.А. Языков, А.В. Трачук, В.А. Яковлев // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология». 2010. № 6 (86). С. 61-66.
4. Беляев А. Н. Инновационные технологии утилизации отходов / А. Н. Беляев, Е. В. Щербакова // Журнал СтройПРОФИль. № 2-1-10. С. 36-37.
5. Bottril P. Minimizing the sludge disposal problem // Water and Waste treat. 1997. 40. № 9. P. 26.
6. Патент РФ № 2160722, МПК С 04 В 35/10. 20.12.2000. Чумаченко Н.Г., Баранова М.Н., Коренькова Е.А.. №98121761. Способ получения заполнителя // заявитель и патентообладатель СамГАСА.; заявл. 30.11.1998; опубл. 20.12.2000. Бюл. №35 - 6.
7. А.с. 1763409 СССР, МПК С 04 В 14/12. Ибадуллаев Ф.Ю., Аскеров В.Ю., Гаджилы А.Р.. № 4821187. Сырьевая смесь для изготовления пористого заполнителя // заявл. 2.04.1990; опубл. 23.09.92. Бюл. №35 - 6.

8. А.с. 1821458 СССР, МПК С 04 В 14/12. Калущкая С.А. и др., № 4921704. Сырьевая смесь для изготовления керамзита / заявл. 28.03.1991; опубл. 15.06.93. Бюл. №22 - 8.

9. Дрозд Г.Я. О возможности переработки осадков сточных вод в строительные материалы / Г.Я. Дрозд, В.И. Братиун, Г.Ф. Литвинов // Водоснабжение и санитарная техника. 1992. №4. С.8-9.

10. Рогов В.И. Современные методы утилизации осадков сточных вод. / сб. Решение проблем экологической безопасности в водохозяйственной отрасли. Тезисы докладов VI международной конференции. Под общей редакцией Ю.Н. Похила. Новосибирск. 2010. С. 85-87.

УДК 691.42:666.31

ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ДОБАВКА ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КЕРАМИЧЕСКИХ МАСС НА ОСНОВЕ ГРУБОДИСПЕРНЫХ ГЛИНИСТЫХ ПОРОД

Кара-сал Б. К., Сат Д. Х., Серен Ш. В.

*Тувинский государственный университет,
г. Кызыл, Россия, silikat-tgu@mail.ru*

***Аннотация.** Показана возможность использования полевошпатоцеолитовой породы в производство керамических стеновых материалов в качестве полифункциональной добавки для регулирования технологических свойств массы на основе грубодисперсной глинистой породы.*

***Ключевые слова:** полифункциональная добавка, полевошпатоцеолитовая порода, технологические свойства, формование, сушка, обжиг.*

При производстве керамических стеновых материалов на основе низкосортных грубодисперсных глинистых пород для регулирования технологических свойств массы и сырца используют различные добавки пластифицирующего, отошающего и флюсующего действия природного и техногенного происхождения.

В условиях рыночной экономики в силу отсутствия необходимых природных добавок и повышения тарифов на перевозку сырьевых материалов из других регионов, предприятия вынуждены применять местные природные и техногенные материалы, в том числе сырье, которое ранее не использовалось для производства керамических изделий [1, 2]. Для решения этой актуальной проблемы необходимы поиск и исследование природных сырьевых материалов и техногенных отходов в качестве компонента сырьевой шихты с разработкой состава масс, выявлением технологических параметров производства и максимально эффективным использованием нового компонента.

Следует отметить, что в Республике Тыва используемые для производства кирпича глинистые породы являются легкоплавкими суглинками монтмориллонитовой основы с высоким содержанием песчаных и пылеватых частиц. Из-за низкого содержания глинистых частиц (12-18%), суглинки малопластичны и грубодисперсны и при формовании изделий пластическим способом наблюдается разрыв граней и трещины в глиняном бруске. Дефекты при формовании составляют до 15%, брак при сушке 5-7%. Прочность кирпича после обжига при 1100⁰С составляет 10-12 МПа, а водопоглощение 9-11%, что свидетельствует о невозможности получения керамического кирпича высокой марки без введения специальной флюсующей добавки.

Для улучшения технологических свойств (формуемости, влагоотдачи и спекаемости) в состав шихты на основе грубодисперсного, малопластичного и неспекаемого суглинка была введена природная полиминеральная цеолитсодержащая порода, которая яв-

ляется отходами производства дорожной засыпки. С учетом преобладания породообразующих минералов следует правильно называть полевошпатоцеолитовой породой (ПЦП).

Целесообразность применения ПЦП связана с особенностями химико-минералогического состава породы и структуры цеолитовых минералов – каркасных амомосиликатов, которые обладают ионообменными, сорбционными и каталитическими свойствами, что позволяет предположить о полифункциональном их действии на керамические шихты [3].

Исследованная полевошпатоцеолитовая порода представлена песчаником серо-коричневого цвета, структура мелкозернистая, средняя насыпная масса отсева (до 3 мм) составляет 1540-1560 кг/м³.

Анализ химического состава породы (таблица 1) показывает, что наряду с высоким содержанием железистых соединений, щелочноземельных элементов (СаО и MgO более 6%) в значительном количестве присутствуют щелочные оксиды (K₂O и Na₂O), что очень важно для спекания массы.

Минеральный состав ПЦП, по данным рентгенофазового анализа представлен альбитом (44-48%), клиноптилолитом (22-25%), кварцем (20-22%), гидроксидом железа (8-10%), монтмориллонитом (6-8%) и вулканическим стеклом (4-6%). Особенностью минерального состава рассматриваемой породы является присутствие цеолитового минерала – клиноптилолита и наличие вулканического стекла. При этом содержание клиноптилолита значительно меньше, чем у чистых цеолитов (более 50%).

Таблица 1 – Химический состав сырьевых материалов

Материал	Массовое содержание оксидов, %								
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	п.п.п.
Полевошпатоцеолитовая порода	58,95	11,64	0,41	9,82	5,45	1,92	2,89	2,17	9,46
Сосновский суглинок	58,86	15,83	0,31	5,80	7,08	1,36	1,87	0,86	9,52

В качестве основного сырья принят сосновский суглинок, используемый местным сезонным кирпичным заводом, который характеризуется как грубодисперсная и малопластичная глинистая порода, где содержание глинистых, пылеватых и песчаных частиц 10-14; 46-52 и 38-42% соответственно. Число пластичности суглинка – 6,4. Величина воздушной объемной усадки 2,7%, интервал спекания до 30⁰С.

При выполнении работы полевошпатоцеолитовая порода в виде отсева измельчалась в шаровой мельнице в сухом состоянии до остатка на сите 0063 не более 3%. Измельченная добавка вводилась в состав массы в количестве 10, 20 и 30%.

Из пластической массы формовались опытные образцы-цилиндрики диаметром и высотой 35 мм, которые сначала сушились на воздухе, затем в сушильном шкафу при температуре 100-105⁰С. Обжиг проводился в лабораторной электропечи в интервале 800-1100⁰С с изотермической выдержкой 1 ч. Определение технологических свойств массы и физико-механических характеристик обожженных изделий выполнялась согласно стандартным методикам.

Предварительное изучение размолоспособности твердой ПЦП после 5, 6 и 7 часовой механообработки в шаровой мельнице показало, что оптимальная продолжительность измельчения составляет 6 ч, так как при дальнейшем помоле наблюдается прилипание частиц к корпусу мельницы. Исследование гранулометрического состава измельченной ПЦП методом лазерной дифракции на установке HELOS&RODOS показало, что после 6 ч механоактивации содержание частиц размером менее 5 мкм составляет 17% и преобладают частицы размерами 20-50 мкм суммарной концентрацией до 60%. В измельченной цеолитсодержащей породе наряду кристаллических компонентов, доля аморфного составляющего достигает до 14-16%, что характеризует изменение фазового состава мате-

риала при механоактивации и определяющим фактором энергетического состояния частиц, а также их реакционной способности в последующих физико-химических процессах.

Исследованием выявлено, что введение тонкомолотой полевошпатоцеолитовой породы в состав массы из грубодисперсного малопластичного суглинка влияет на пластичность и формуемость массы. Установлено, что чем больше содержание добавки, тем выше пластичность массы. Как показано в таблице 2, при добавке 10, 20 и 30% тонкомолотой сухой ПЦП число пластичности массы увеличивается с 6,4 до 7,8; 8,5 и 10,2 соответственно, что позволяет полученную массу как умереннопластичную.

Повышение пластичности массы с увеличением содержания добавки связано с увеличением доли глинистых частиц за счет дополнительных монтмориллонитовых минералов ПЦП и цеолитовых частиц. Как отмечается [3], цеолитовые минералы после механоактивации характеризуются псевдопластическими свойствами за счет микрокристалличностью цеолитовых кристаллов и их аморфизацией при помоле.

Таблица 2 – Состав и технологические свойства масс и сырца

Состав масс	Формовочная влажность, %	Число пластичности	Воздушная усадка, %	Предел прочности при сжатии, МПа
Суглинок – 100%	17,0	6,4	2,7	1,8
Суглинок – 90% ПЦП – 10%	18,2	7,3	2,2	2,1
Суглинок – 80% ПЦП – 20%	19,5	8,5	1,8	2,5
Суглинок – 70% ПЦП – 30%	20,8	10,2	1,2	3,1

Установлено, что вследствие повышения пластичности, формовочная влажность массы при введении 30% ПЦП увеличивается с 17,0 до 20,8, что обусловлено повышением содержания монтмориллонитовых и клиноптиллолитовых минералов (с 12-14% до 22-24%), которые являются водоудерживающими компонентами шихты.

Введение тонкоизмельченной и механоактивированной ПЦП в состав шихты на основе грубодисперсного и низкокачественного суглинка не только повышает пластичность с улучшением формуемости, но и регулирует поведение сырца при сушке. Выявлено, что за счет каркасной структуры цеолитов, у образцов содержащих до 30% ПЦП, наблюдается постепенное уменьшение величины воздушной усадки с 2,7 до 1,2% (таблица 2). Это свидетельствует об отошающей функции ПЦП и возможности регулирования чувствительности массы к сушке, что положительно сказывается на трещиностойкость сырца при сушке.

Повышение пластичности и улучшение формуемости шихты при введении тонкомолотой ПЦП до 30% положительно влияет на связность массы, о чем свидетельствует увеличение предела прочности при сжатии высушенных образцов – сырцов с 1,8 до 3,1 МПа. Это связано с повышением концентрации пластичной глиняно-цеолитовой связки, которая при формовании изделий за счет уплотнении массы равномерно заполняет межзерновые пустоты песчаных частиц и при высыхании сырца крепко сцепляется с поверхностью твердых зерен. Соответственно, при сушке наблюдается бездефектный перевод коагуляционной структуры в конденсационную с формированием при этом плотной, однородной и прочной структуры сырца.

Исследованием установлено, что механоактивированная ПЦП при введении в состав шихты на основе низкосортного грубодисперсного суглинка, наряду с улучшением формуемости массы и трещиностойкости сырца при сушке, интенсифицирует спекание массы при обжиге, о чем свидетельствует результаты дилатометрического исследования и физико-механические характеристики обожженных изделий.

Характер дилатометрических кривых свидетельствует о раннем образовании жидкой фазы при обжиге в массах с добавкой ПЦП. Выявлено, что при добавки 20% ПЦСП, образцы при 1100⁰С имеют усадку в 3,5 раза (1,1% и 3,6%) больше, чем изделия на основе чистого сосновского суглинка, что характеризует о раннем образовании и существенном накоплении жидкой фазы.

Изучение физико-механических характеристик обожженных изделий показано (таблица 3), что с увеличением доли полевошпатоцеолитовой добавки улучшается спекание массы, что свидетельствует о флюсующей роли ПЦП.

Таблица 3 – Физико-механические характеристики обожженных образцов

Состав масс	Температура обжига, ⁰ С	Средняя плотность, г/см ³	Огневая усадка, %	Водопоглощение, %	Предел прочности при сжатии, МПа
Суглинок – 100%	900	1,79	0,4	23,7	18,6
	1000	1,83	0,8	20,1	21,5
	1100	1,89	3,8	14,6	24,2
Суглинок – 80% ПЦП – 20%	900	1,81	1,1	18,8	21,3
	1000	1,86	2,2	15,7	29,7
	1100	1,91	5,6	10,1	41,5
Суглинок – 70% ПЦП – 30%	900	1,82	1,7	17,4	24,5
	1000	1,89	3,1	14,1	32,6
	1100	1,93	6,7	8,2	48,9

Введение ПЦП в состав шихты до 30% вызывает постепенно увеличение средней плотности и огневой усадки обожженных изделий в интервале 900-1100⁰С, что свидетельствует об уплотнении черепка из-за образования жидкого расплава и заполнением последнего межзерновых пустот. Как видно из таблицы 3, при добавки 20 и 30% ПЦП, усадка образцов обожженных при 1000⁰С увеличивается с 0,8% до 2,2 и 3,1% соответственно.

С увеличением доли ПЦП в составе шихты, при температурах свыше 900⁰С, в результате аморфизации и разложения глинистых и цеолитовых минералов образуется в значительном количестве жидкий расплав, который заполняет межзерновые пустоты и склеивает твердые песчаные частицы, что снижает водопоглощение и увеличивает прочность образцов. Установлено, что образцы содержащие 30% ПЦП после обжига при 1100⁰С имели низкое водопоглощение (8,2%) и высокую прочность (48,9 МПа), по сравнению своих аналогов из чистого сосновского суглинка (14,6% и 24,2 МПа).

Таким образом, благодаря особого сочетания химико-минералогического состава и каркасной структуры цеолитовых минералов, тонкомолотная и механоактивированная полевошпатоцеолитовая порода, при введении в состав шихты на основе низкосортного и грубодисперсного суглинка, улучшает формуемость массы, повышает трещиностойкость сырца при сушке и интенсифицирует спекание массы, что позволяет рассматривать данное сырье как полифункциональная добавка при производстве керамических изделий.

Библиографический список

1. Котляр В. Д., Устинов А. В., Терехина Ю. В., Котляр А. В. Керамические камни компрессионного формования на основе опок и отходов углеобогащения // Строительные материалы. – 2013. - №4 – с. 44-48.
2. Столбоушкин А. Ю., Столбоушкина О. А., Иванов А. И., Пляс М. А. Стеновые керамические материалы матричной структуры на основе отходов углеобогащения углистых арбиллитов // Известия вузов. Строительство. – 2013. - №2-3. – с. 28-36.

3. Овчаренко Г. И., Свиридов В. Л., Казанцева Л. К. Цеолиты в строительных материалах. – Барнаул: АлтГТУ, 2000. – с. 320.
4. Вакалова Т. В. Глины. Структура, свойства и методы исследования: Томск. Издательство Томского политехнического университета. – 2009. – с. 249.

УДК 666.646

ФОРМИРОВАНИЕ КРИСТАЛЛИЗАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ ПРИ ОБЖИГЕ КЕРАМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ОТХОДОВ УГЛЕДОБЫЧИ

Станевич В.Т., Кудрышова Б.Ч., Данилов В.И.

*Павлодарский государственный университет им. С.Торайгырова,
г. Павлодар, Республика Казахстан, svt_18@mail.ru*

Аннотация. *Статья посвящена вопросам структурообразования при обжиге керамических изделий из отходов угледобычи Экибастузского угольного бассейна. В работе рассмотрены вопросы изменения плавкости и кинетики выгорания органических веществ в зависимости от литологических типов и глубины залегания вскрышных пород.*

Ключевые слова: *обжиг, отходы угледобычи, органические вещества.*

Обжиг керамических изделий является основным переделом, влияющим на образование кристаллизационной структуры, физико-механические свойства и качество готовых изделий.

Отходы угледобычи по минеральному составу относятся к каолинито-гидрослюдистому сырью и отличаются от традиционных глин наличием органического вещества. Процессы фазовых превращений при обжиге в основном исследованы для систем на основе глин, а изменения фазового состава отходов угледобычи при различных температурах обжига изучены недостаточно.

С целью оптимизации режима обжига и изучения процесса минералообразования в условиях интенсивного выгорания органических веществ проведены исследования по определению характеристик плавкости, а также дифференциально-термический, петрографический, дифрактометрический анализы образцов, обожженных при различных температурах [1].

На нагревательном микроскопе МНО-2 установлены температуры соответствующие деформации образцов, их максимальной усадке и вспучиванию, при которой образцы образуют полусферу и переходят в жидко-плавкое состояние.

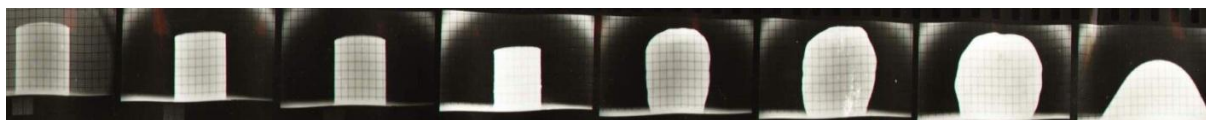


Рисунок 1 – Характеристики плавкости образцов из вскрышных пород

Анализ полученных данных показал, что начало деформации образцов из аргиллитов разреза «Степной» наблюдается при 1000-1080 °С. с увеличением указанной температуры от горизонта + 150 м. к горизонту + 50 м. Начало деформации образцов из аргиллита разреза «Майкубенский» отмечено при 1050 °С.

Начало спекания образцов отмечено при 1240-1250 °С, интервал спекания составил 210-230 °С. По температуре спекания 1240-1250 °С исследуемые породы можно отнести к группе среднетемпературного спекания. При 1450-1470 °С наблюдается вспучивание образцов. При исследовании характеристик плавкости, температуру размягчения, при которой образец превращается в полусферу можно считать показателем огнеупорности пород, так как при этой температуре еще не происходит плавление образцов. Аргиллиты отно-

сятся к группе тугоплавкого сырья с показателем огнеупорности 1500-1580 °С. Жидкоплавкому состоянию аргиллитов соответствуют температура 1550-1590 °С.

Анализируя характеристики плавкости аргиллитов разрезов «Степной» и «Майкубенский» следует отметить, что наибольшее изменение структуры образцов происходит при их термической обработке в интервале температур соответствующих деформации при максимальной усадке и максимальном вспучивании, при идентичности процессов спекания для всех горизонтов залегания.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод о целесообразности обжига изделий из аргиллитов до максимальной температуры порядка 975-1025 °С в условиях выгорания органических веществ с образованием минералов, способствующих формированию керамического черепка.

Обжиг образцов из отходов угледобычи оптимального фракционного состава производили до максимальной температуры 950, 975 и 1000 °С с интервалом обжига 100 град/час и изучали при этом процессы минералообразования (таблица 1).

В образцах обожженных при температуре 450 °С сохраняются неизменными – кварц, полевые шпаты, оксиды и гидроксиды железа и глинистые минералы. По внешнему виду образцы имеют черную окраску в середине и темно-красную по краям, что свидетельствует о начале выгорания органического вещества. Рентгенограммы подтверждают наличие рефлексов кварца, полевых шпатов и глинистых минералов, представленных каолинитом, гидрослюдой и монтмориллонитом [2].

При обжиге до температуры 550-800 °С на рентгенограммах исчезают рефлексы каолинита, что свидетельствует о дегидратации глинистых минералов и переходе каолинита в метакаолинит. Под микроскопом наблюдаются оплавленные зерна кварца в краевой зоне образцов. Образцы приобретают более плотную структуру в светлой краевой зоне. В центральной части образцы имеют темную зону с невыгоревшим органическим веществом.

При температуре обжига 900 °С происходит аморфизация глинистых минералов и появляется жидкая фаза. На рентгенограммах присутствуют рефлексы кварца, полевого шпата и гематита.

При 950 °С образцы представляют собой обожженный черепок с выгоревшей зоной, но при этом присутствует небольшая центральная зона темного цвета с невыгоревшим органическим веществом. Зерна кварца и полевого шпата оплавлены. На рентгенограммах (рисунок 2) сохраняются рефлексы кварца ($d/n = 0,425; 0,334; 0,228; 0,212$ нм) и полевого шпата ($d/n = 0,366; 0,181; 0,154$ нм). Появляются рефлексы гематита ($d/n = 0,27; 0,22$ нм;) и кристобаллита ($d/n = 0,251$ нм).

Повышение температуры обжига до 975 °С приводит к дальнейшему уплотнению структуры черепка, сопровождаемое увеличением количества жидкой фазы. Происходит полное выгорание органического вещества и исчезает черная сердцевина. Наблюдаются оплавленные зерна кварца и полевого шпата, в светло-коричневых участках присутствуют кристаллы муллита. На рентгенограммах также фиксируются рефлексы кварца, полевого шпата, гематита, муллита и кристобаллита.

При обжиге образцов до 1000 °С происходит полная аморфизация глинистых минералов, сопровождающаяся дальнейшим увеличением жидкой фазы и уплотнением черепка с уменьшением линейных размеров образцов. Краевая зона образцов имеет светло-коричневую окраску, но остается не выгоревшей сердцевина темного цвета. Это происходит из-за интенсивного спекания краевой зоны и в центральной зоне из-за ограниченного доступа кислорода не успевает выгорать органическое вещество. На рентгенограммах сохраняются рефлексы кварца, полевого шпата, гематита, муллита и кристобаллита.

Петрографические и дифрактометрические исследования образцов из отходов угледобычи различных горизонтов залегания, показали, что начиная с температуры 950 °С

происходит интенсивная аморфизация глинистых минералов с увеличением количества жидкой фазы.

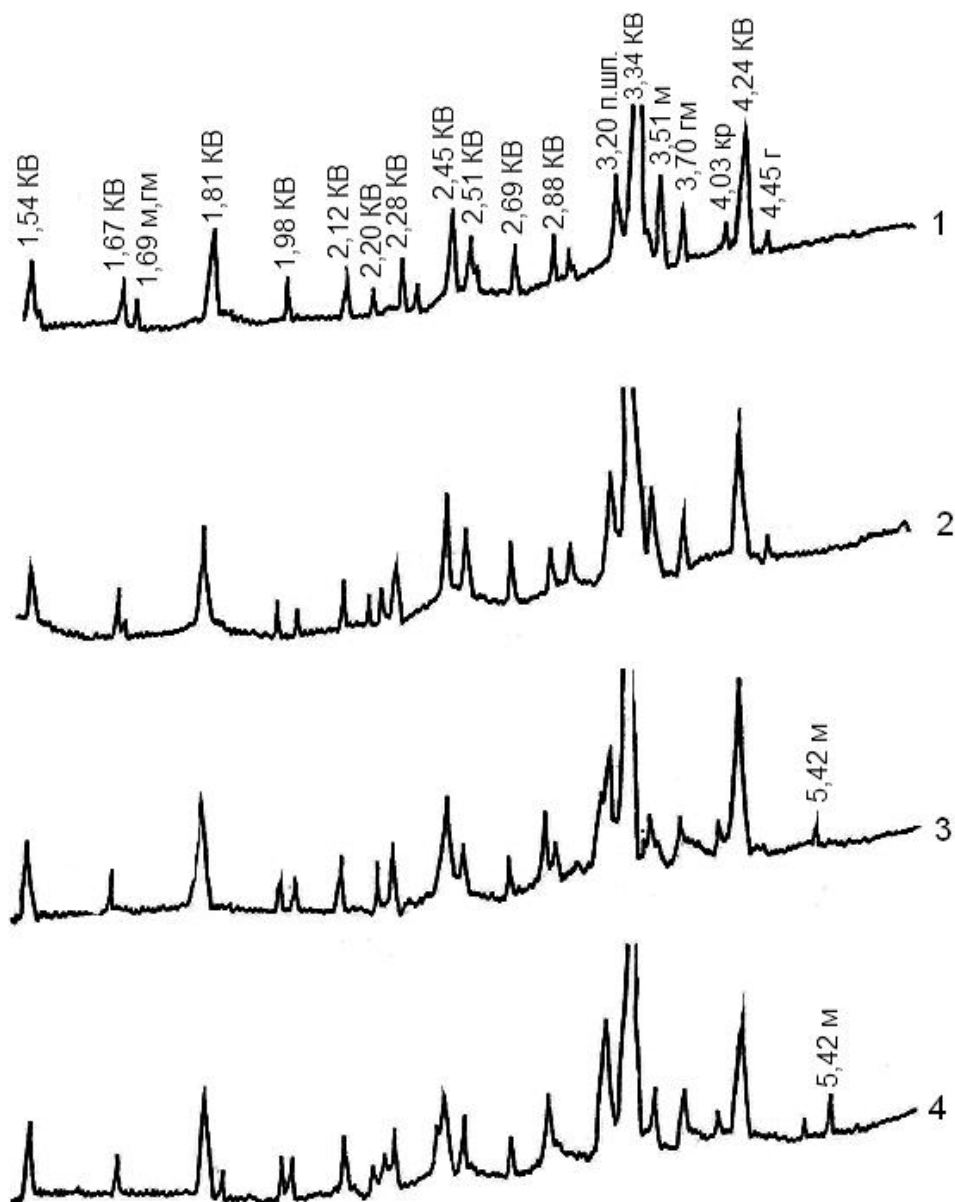


Рисунок 2 – Диффрактограммы образцов из отходов угледобычи: обожженных до температуры 950 °С : разрез «Степной» - 1-аргиллит горизонта +50 м; 2-аргиллит горизонта +100 м; 3-аргиллит горизонта +150 м; 4-аргиллит разреза «Майкубенский».

При повышении температуры обжига до 975 °С происходит полное выгорание органического вещества и исчезновение черной сердцевины. Завершается процесс рекристаллизации глинистых минералов с образованием новых кристаллических фаз гематита, муллита, кристобаллита. Появление в структуре образцов этих новообразований обеспечивают оптимальные физико-механические показатели готовых изделий из отходов угледобычи.

При нагреве изделий до 700-800 °С количество выделяющихся газообразных компонентов из отходов угледобычи за счет выгорания органического вещества на 10-15 % больше, чем из глин. При высокой скорости подъема температуры в печи при обжиге происходит деформация и значительное изменение размеров керамических изделий. Скорость подъема температуры при обжиге керамики из отходов угледобычи должна составлять не более 100 град/час.

Таблица 1 – Температурные интервалы физико-химических процессов, протекающих при обжиге образцов из отходов угледобычи

Основные физико-химические изменения	Температура, °С			
	Разрез «Степной» аргиллит			Разрез Майкубенский аргиллит
	Горизонт +50	Горизонт +100	Горизонт +150	
Выделение низкотемпературной воды	90-100	90-190	90-200	100-190
Воспламенение и горение летучих компонентов горючего вещества	250-380	250-380	270-390	290-400
Выделение среднетемпературной конституционной воды	540-620	480-630	520-630	530-640
Воспламенение и горение органического вещества	430-700	450-780	450-790	480-800
Выделение высокотемпературной воды	760-800	720-810	740-800	670-730
Выгорание органического вещества	850-950	910-950	920-975	850-950
Начало образования жидкой фазы	860	910	930	840
Кристаллизация новообразований с участием жидкой фазы	960-990	970-990	980-1000	960-990

На этапе спекания изделий скорость подъема температуры обжига зависит от продолжительности выгорания углерода из отходов угледобычи. Для определения максимальной температуры и изотермической выдержки при максимальной температуре исследовали изменение физико-механических свойств керамической черепицы из отходов угледобычи, обожженных по трем режимам. Максимальную температуру обжига изменяли от 950 °С (температура неполного выгорания органического вещества) до 975 °С (температура максимальной прочности образцов и полного выгорания углерода) и далее до 1000 °С (температура снижения прочности). Продолжительность изотермической выдержки при максимальной температуре обжига изменяли от минимально возможной, учитывающей температурный градиент по сечению печи (2 часа), до максимальной при обжиге керамики из глин (6 часов) [3].

Таким образом, в результате проведенных исследований изучены процессы образования кристаллизационной структуры образцов из аргиллитов при их обжиге и исследована кинетика выгорания органических веществ с целью оптимизации режимов термической обработки.

Библиографический список

1. Инструкция по изучению и оценке попутных твердых полезных ископаемых и компонентов при разведке месторождений угля и горючих сланцев. – М. : Наука, 1987. – 65 с.
2. Гинзбург, А.Н. Методы минералогических исследований. Справочник / А.Н. Гинзбург. – М. : Недра, 1985. – 480 с.
3. Вакалова, Т.В. Глины. Структура, свойства и методы исследования: учебное пособие / Т.В. Вакалова. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 249 с.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СТАЛЕФИБРОБЕТОНА ПРИМЕНИТЕЛЬНО К СТРОИТЕЛЬСТВУ В АРКТИЧЕСКИХ ЗОНАХ

Трофимов В. И., Крючков А.Ю., Фоменко С.А.

Тверской государственный технический университет,

г. Тверь, Россия, vitrofa@mail.ru

***Аннотация.** В данной статье рассматривается вопрос улучшения структурно-механических свойств сталефибробетона на основе использования нового дисперсноармирующего элемента повышенного сцепления – стальной многоанкерной фибры применительно к строительству в суровых природно-климатических условиях Севера. Предлагается классификация методов армирования и используемой фибры с учетом условий получения армированных бетонов и выбора армирующих элементов - либо на стадии приготовления смеси, либо на стадиях формования и твердения бетонной смеси.*

***Ключевые слова:** сталефибробетон, тяжелый бетон, дисперсноармированный бетон, многоанкерная фибра, прочность.*

В настоящее время в строительной отрасли все шире начинают применять высококачественные бетоны, в частности, дисперсноармированные бетоны. Такие бетоны особенно востребованы в строительстве дорог и аэродромов, а также при возведении уникальных мостов, зданий и морских буровых платформ, особенно работающих в сложных природно-климатических условиях и требующих применения бетонов повышенной прочности – повышенной сопротивляемости трещинообразованию. Поэтому дисперсное армирование бетона можно рассматривать, как эффективное средство повышения его прочности при растяжении для предотвращения развития процесса образования трещин на всех уровнях его структуры. При этом дисперсное армирование позволяет повысить также водонепроницаемость и морозостойкость, а также ряд других важных характеристик бетона [1].

Большой вклад в разработку теоретических основ получения фибробетона и его практического применения внесли ученые: Ю.М. Баженов, Г.И. Бердичевский, К.Л. Бирюкович, И.В. Волков, Ф.А. Гофштейн, Б.А. Крылов, К.М. Королев, О.В. Коротышевский, А.Г. Комар, Л.Г. Курбатов, Е.Г. Кутухин, И.А. Лобанов, А.А. Пашенко, Ф.Н. Рабинович, В.П. Романов, К.В. Талантовой, Г.К. Хайдуков, Г.А. Шикун, В.В. Шугаев, Ф.Ц. Янкелевич и др. Их работы явились теоретической основой для проведения исследований по повышению эффективности работы фибробетонов.

Известно, что зона деформирования и, соответственно, влияния арматурного стержня распространяется на величину 2-3-х ее диаметров. В этом случае традиционное линейное армирование бетона приводит лишь к слоистому упрочнению его структуры в объеме матрицы, что снижает эффективность его работы под нагрузкой. Соответственно процесс разрушения дисперсноармированного и линейноармированного бетона будет существенно различаться [2,3].

Особое внимание учеными как отечественными, так и зарубежными уделялось вопросам проектирования составов фибробетонов с особыми заданными свойствами, с учетом изучения влияния формы и размеров фиброволокна, включаемого в состав смеси, а также вопросу расширения номенклатуры применяемых материалов для дисперсного армирования бетона.

В настоящее время согласно п. 5.3.2 СНиП 52-01-2003 Бетонные и железобетонные конструкции время существует упрощенная градация армирующих элементов для дисперсного армирования бетона, которая не выделяет отдельно дискретные, дисперсные элементы и современные ультрадисперсные наноэлементы, хотя те и другие все шире начинают использоваться в современных технологиях фибробетонов. Предлагается обоб-

щенная классификация методов армирования бетонов по различным признакам (рисунок 1).

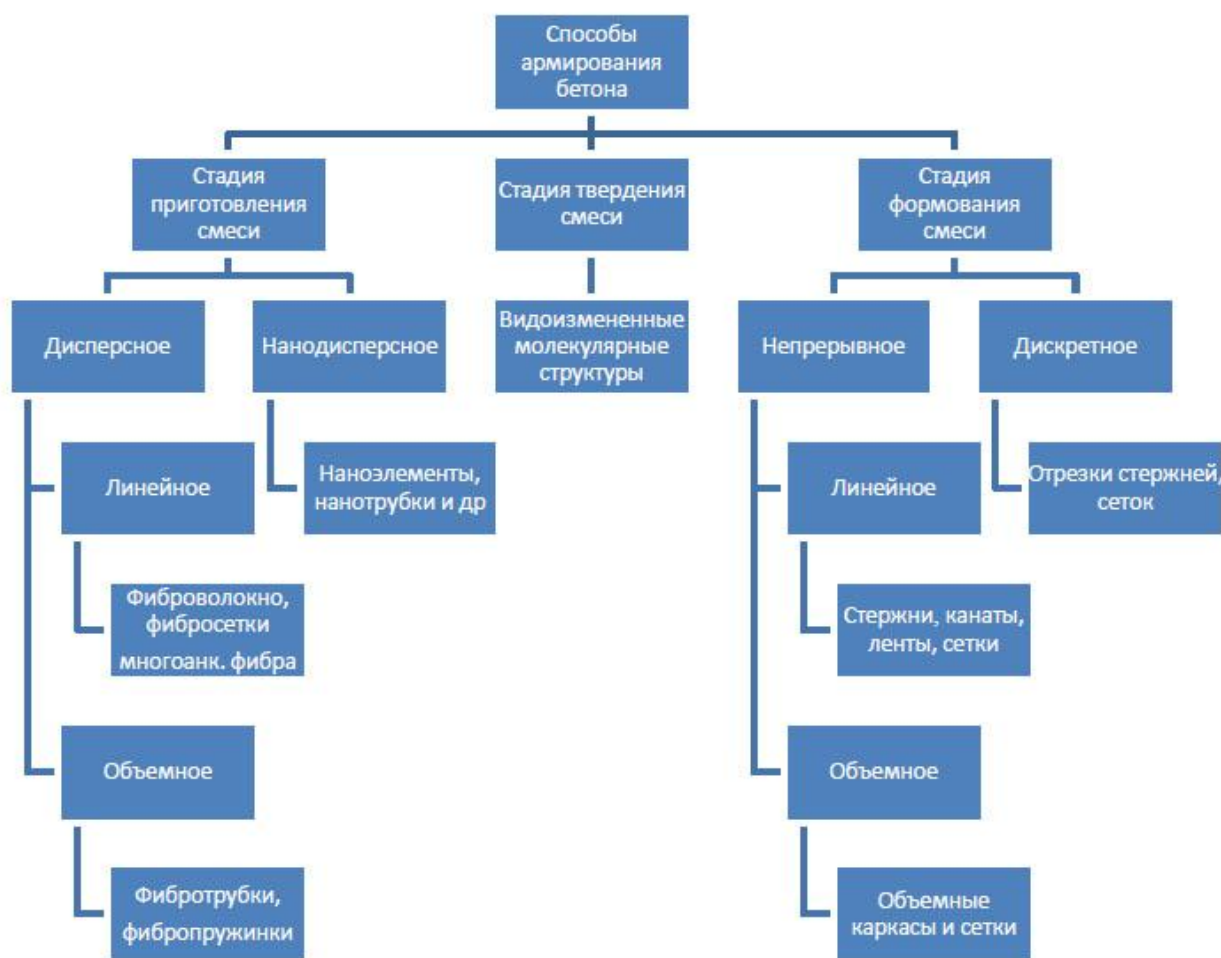


Рисунок 1 – Классификация основных методов армирования бетона по различным признакам

В основу классификации положены принципы учета условий получения армированных бетонов и учета выбора армирующих элементов - либо на стадии приготовления смеси, либо на стадиях формования и твердения бетонной смеси.

Различают следующие способы армирования:

- непрерывное (протяженное), которое может быть линейным (стержни, канаты, ленты, сетки) и объемным (объемные сетки, каркасы) и которые укладываются на всей длине (ширине) изделия;
- дискретное, которое может выполняться из отдельных кусков арматурных элементов (отрезки стержней, сеток, лент), располагаемых в отдельных зонах изделия;
- дисперсное, которое может выполняться из плоских элементов (фиброволокно, фибросетки и др.) или из объемных элементов (фибротрубки, фибропружинки и др.), располагаемых во всем объеме изделия;
- нанодисперсное, которое может выполняться на молекулярном уровне, например, из нанотрубок или других форм видоизмененной молекулярной структуры.

Первые два способа армирования выполняют на стадии формования изделий в заводских условиях или на стройплощадке при монолитном строительстве с использованием опалубки. Третий вид армирования – дисперсное армирование выполняют на стадии приготовления смеси. В этом случае фибра является составной частью бетонной смеси, т.е. является одним из ее компонентов. Четвертый вид армирования – нанодисперсное

может выполняться как на стадии приготовления смеси, так и на стадии твердения (например, формирование волокон этрингита в процессе гидратации цемента).

Фибра используется для улучшения структурно-механических свойств бетона. Эффективность работы фибры в бетоне зависит от нескольких факторов: формы, состояния поверхности, степени адгезии, объемного содержания и др.

Поэтому повышение эффективности работы фибробетона за счет улучшения его свойств должно обеспечиваться не только рациональным составом, но и созданием новых эффективных армирующих элементов, в частности фиброволокон с повышенной анкерующей способностью. В связи с этим вопрос разработки эффективных способов, позволяющих повысить прочностные и эксплуатационные свойства дисперсноармированных бетонов, за счет увеличения сил сцепления фибры с матрицей бетона является актуальным.

Можно выделить три способа повышения сцепления фибры с матрицей бетона: путем повышения адгезии фибры, путем создания у фибры периодического профиля или путем создания анкеров.

Учитывая важность вопроса, повышения эффективности работы фибры в бетоне, нами была предложена новая форма фибры повышенного сцепления – в виде фибросетки или в виде многоанкерной фибры [4,5] (рисунок 2).



Рисунок 2 – Образцы многоанкерной фибры

Эффект повышенного структурного упрочнения матрицы бетона при использовании новой многоанкерной фибры объясняется увеличенной зоной микрообъемного армирования, при том же количественном содержании фибры. В этом случае повышается сопротивляемость сдвиговым деформациям. Особенно расширяется возможность использования полимерной многоанкерной фибры.

Также важным достоинством новой фибры является то, что фибросетки и многоанкерная фибра могут быть легко изготовлены (нарезаны) из обычных сеток, которые широко используются в различных отраслях промышленности. При этом могут быть использованы и отходы производства сеток.

Использование многоанкерной фибры - фибронити с анкерными выпусками по всей длине позволяет увеличить зону микроармирования матрицы и, соответственно, повысить структурную прочность бетона (рисунок 3).

При этом необходимо отметить, что анкеры – выпуски, работая в поперечном направлении относительно основного волокна, получая в микрообъеме более прочную монолитную структуру, дополнительно повышают эффективность работы многоанкерной фибры в матрице бетона особенно при восприятии знакопеременных нагрузок (рисунок 4).

Поэтому многоанкерную фибру рекомендуется использовать для тяжелонагруженных бетонных покрытий или при работе с повышенными динамическими нагрузками.

Ранее были выполнены исследования по обоснованию эффективности работы жесткой полимерной многоанкерной фибры в бетоне [6]. Было доказано, что использование полимерной многоанкерной фибры повышает прочность бетона на сжатие и изгиб на 20-25% при их содержании 4-5%. Также изучался вопрос влияния размеров и формы фибры (длины l , ширины b и шага t) на физико-механические показатели дисперсноармированного бетона. Результаты выполненных исследований по использованию жесткой полимерной многоанкерной фибры для структурного упрочнения матрицы бетона доказали эффективность работы новой формы фибры, что может быть использовано в технологии сталефибробетона.

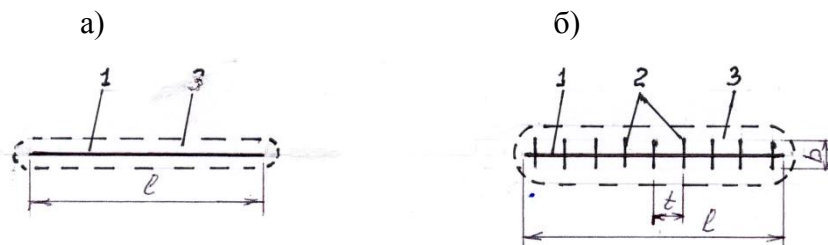


Рисунок 3 – Схема формирования областей деформирования матрицы бетона при работе гладкой фибры – а) и многоанкерной фибры – б). 1 – отрезок нити; 2 – поперечные отрезки нити – анкеры; 3 – область деформирования

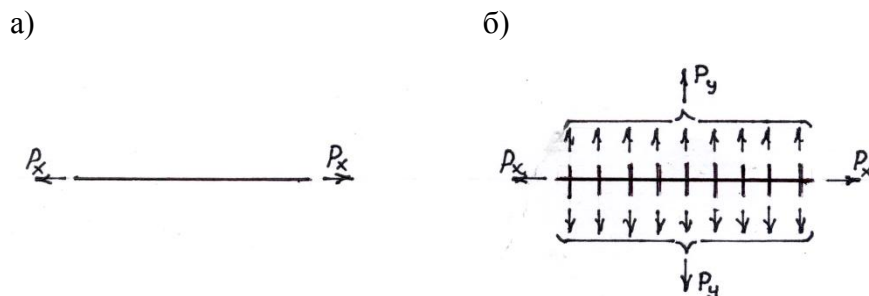


Рисунок 4 – Схема развития воспринимаемых усилий при работе гладкой фибры – а) и многоанкерной фибры – б)

В заключение можно сказать, что разработанная классификация основных методов армирования бетона, позволяет рекомендовать в конкретных случаях использование соответствующего способа армирования и армирующего элемента, а выполненные экспериментальные исследования по улучшению структурно-механических свойств бетонной матрицы путем ее дисперсного армирования новой полимерной жесткой многоанкерной фиброй, позволяют говорить о возможности дополнительного повышения прочности фибробетона на основе использования стальной многоанкерной фибры.

Таким образом, применение новой стальной многоанкерной фибры для строительства и реконструкции дорог, аэродромов, мостов и других ответственных сооружений позволит повысить их надежность при работе в условиях Крайнего Севера.

Библиографический список

1. Ремнев, В.В. Арктическая зона России: перспективы применения новых материалов и технологий для строительства аэродромов и автомобильных дорог / В.В. Ремнев // Транспортная стратегия XXI век. № 23 (4), 2013. – С. 40-42.
2. Таширов, И.В. Сталефибробетон – современный и эффективный композиционный строительный материал / И.В. Таширов, А.В. Лоскутов // Материалы Международной научно-практической конференции: Архитектура, строительство, транспорт. – Омск: СибАДИ, 2015. – С. 568-572.
3. Вострецов, Ф.И. Опыт и перспективы применения сталефибробетона / Ф.И. Вострецов // Наука и техника в дорожной отрасли. № 1, 2003. – С. 23-24.

4. Патент РФ 2490406. Арматурный элемент для дисперсного армирования бетона / В.И. Трофимов, Э.В. Соколов, Р.И. Лопиков, О.Г. Данилова. Опубликовано Бюл. №1, 2013. – 5 с.

5. Патент РФ 2582254. Фибра для дисперсного армирования бетона / В.И. Трофимов, И.В. Смелянский, К.И. Пупенин. Опубликовано Бюл. № 3, 2016. – 5 с.

6. Трофимов, В.И. Инновационный фибробетон для дорожного и аэродромного строительства в Арктических зонах / В.И. Трофимов, К.И. Пупенин // Материалы Межд. научно-техн. конф.: Инновации и моделирование в строительном материаловедении и образовании. – Тверь: Изд-во ТвГТУ, 2015. – С. 91-96.

УДК 691.4(571.1/.5)

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИИ КЕРАМИЧЕСКИХ СТЕНОВЫХ МАТЕРИАЛОВ В ПРОМЫШЛЕННЫХ РЕГИОНАХ СИБИРИ

Столбоушкин А.Ю.

*ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»,
г. Новокузнецк, Россия, stanyr@list.ru*

***Аннотация.** Показана необходимость интенсивного развития Сибири как геополитического региона и стратегического ресурса России. Рассмотрены возможности наращивания объемов производства керамических стеновых материалов, ориентированного на местные сырьевые ресурсы, с учетом их специфических особенностей. Приведены перспективы получения качественного керамического кирпича на основе промышленных отходов при использовании новых рациональных способов массоподготовки техногенного и природного сырья, обеспечивающих формирование матричной структуры. Предложено создание ячеистой структуры керамики с упорядоченным каркасом из макропор, имеющих стеклокристаллическую оболочку.*

***Ключевые слова:** стратегия развития, промышленные отходы, матричная структура, ячеистая керамика, керамические стеновые материалы, объемное окрашивание минеральными пигментами*

Сибирь является важнейшим геополитическим регионом, стратегическим ресурсом России, площадь которого сопоставима с территорией таких государств, как США или Китай. Как показали события последнего десятилетия, в условиях глобализации XXI века для самосохранения нашей страны жизненно необходимо выстраивание многополярного мира в новых условиях после распада СССР. Создание стратегических альянсов с Западом и Востоком на паритетной основе возможно только при интенсивном развитии Сибирского региона. Комплексное «освоение» огромной территории, площадь которой составляет больше половины территории России [1], с созданием эшелонированной многоуровневой инфраструктуры потребует мощного подъема строительной индустрии, ориентированной на местные сырьевые ресурсы.

В современных условиях комплексной застройки населенных пунктов и снижения уровня «унылой» типизации проектов 60-80 годов прошлого века, важным сегментом в структуре производства строительных материалов для возведения зданий и сооружений являются керамический кирпич и камни, занимающие лидирующие позиции среди мелкоштучных стеновых материалов [2].

К сожалению, в большинстве районов Западной Сибири нет промышленных запасов высококачественных глин, которые можно использовать в качестве сырьевой базы современных кирпичных заводов большой мощности [3]. В отличие от Европы, здесь месторождения глин по литологии являются делювиальными и часто характеризуются слоистыми напластованиями, неоднородностью состава, засоренностью различными включениями и примесями.

В тоже время, в промышленных регионах Сибири находится огромное количество так называемых техногенных месторождений, к примеру, в Кемеровской области сосре-

доточено больше половины твердых минеральных отходов Российской Федерации [4], и их дальнейшее интенсивное накопление без эффективной переработки и утилизации представляет серьезную экологическую опасность. Поэтому, для устойчивого развития производства строительной керамики необходимо осуществить технологический переход на новые виды сырья – неспекающиеся, малопластичные суглинки с высоким содержанием карбонатных включений, а также алюмосиликатные промышленные отходы. Зарубежный опыт, в частности Китая, показывает, что производство кирпича из техногенного сырья является экономически целесообразным в связи с тем, что нет необходимости добывать полезное ископаемое из недр и подвергать его дроблению и помолу [5].

Причинами медленного освоения техногенного сырья в производстве стеновой керамики являются нестабильность его состава и свойств, несоответствие требованиям ГОСТ 9169-75* «Сырье глинистое для керамической промышленности», а также недостаточная изученность физико-химических процессов, протекающих при обжиге такого сырья.

Многолетние исследования, выполненные автором за более чем 20 лет, показали, что при использовании промышленных отходов для производства качественного кирпича применение классических подходов к массоподготовке, формированию структуры сырца, организации тепломассообменных процессов при сушке и обжиге, не обеспечивает требуемых эксплуатационных характеристик изделий. Как бы ни были близки по свойствам к глинистому сырью отходы, например, угледобычи и углеобогащения, производство на их основе керамического кирпича сопряжено с необходимостью решения многих технологических проблем, и его качество не может сравниться с продукцией кирпичных заводов, работающих на природном сырье [6].

Накопленный в результате совместной работы с известными учеными-практиками, докторами технических наук Сайбулатовым С.Ж. и Стороженко Г.И., а впоследствии самостоятельных исследований и производственных испытаний опыт позволил разработать новые рациональные способы массоподготовки сырья в технологии стеновой керамики компрессионного формования [7, 8]. Запатентованные разработки [9, 10] были озвучены молодыми представителями кафедры строительных технологий и материалов Сибирского государственного индустриального университета и с интересом рассмотрены ведущими специалистами-керамиками из 27 регионов России и более чем 10 зарубежных стран Евразийского континента на XIV – международной научно-практической конференции «РАЗВИТИЕ КЕРАМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ РОССИИ – КЕРАМТЭКС 2016», состоявшейся в начале июня этого года в столице Южного Урала – городе Челябинске [11].

На сегодняшний день в архитектурно-строительном институте университета под руководством автора сформировано и активно работает научное направление: «**Строительные керамические материалы матричной структуры на основе техногенного и природного сырья**» [12]. Практическая реализация инновационной идеи направлена на формирование рациональной структуры керамики посредством организации упорядоченного ячеисто-заполненного каркаса на стадии приготовления шихты. В результате анализа многочисленных моделей структур композиционных материалов было найдено технологическое решение эффективного использования некондиционного сырья для получения высококачественного кирпича (рисунок 1). При этом, матричная структура керамического черепка представлена двумя составными частями: матрицей, которая является продуктом высокотемпературных превращений глинистых минералов, и макрозаполнителем, в виде минеральных зерен, заключенных в ней. С такой структурой требуемое содержание глинистой фракции в составе шихты становится заведомо меньше 20-25 %, и будет зависеть только от качества оболочки и соотношения ее толщины и диаметра зерен макрозаполнителя [13].

В лабораторных условиях керамические матричные композиты были получены путем объединения тонкодисперсных частиц малопластичного неспекающегося сырья в

гранулы, покрытием поверхности гранул глинистым веществом, прошедшим механоактивацию, с последующим компрессионным формованием изделий, их сушкой и обжигом [9]. При обжиге происходит трансформация матричной структуры сырца в керамический матричный композит. На границе контакта гранул активированная глинистая составляющая шихты продуцирует расплав, который внедряется в периферийную зону ядра и после кристаллизации образует матричную структуру, состоящую из ядер, покрытых оболочкой из продуктов спекания глины. В свою очередь, оболочка имеет свое внутреннее «армирование» (рисунок 1, поз. 3), повышающее прочностные характеристики матрицы. Условно ее формирование под влиянием внешних воздействий можно рассматривать как последовательный процесс образования стеклокристаллической микроструктуры.

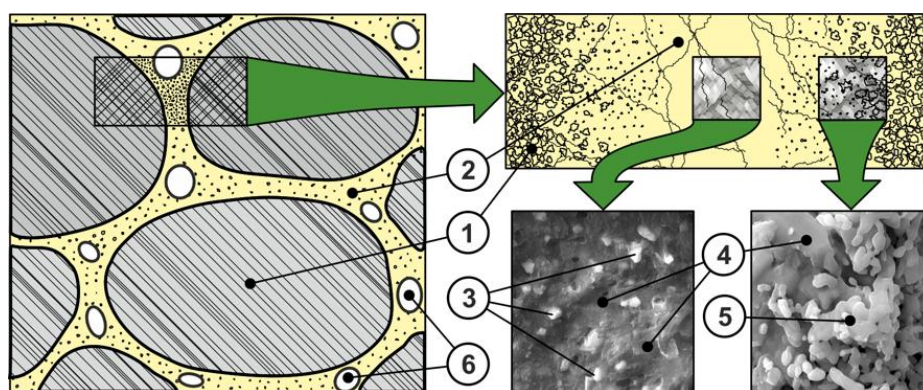


Рисунок 1 – Схема формирования структуры керамического матричного композита из гранулированного техногенного сырья: 1 – гранулированный наполнитель; 2 – матрица из глины; 3 – наполнитель матрицы; 4 – пиропластичное вяжущее; 5 – граничный слой композита; 6 – поры

В процессе исследований были установлены соотношения размеров глинистой оболочки и ядра ($\leq 0,05$ мм) и определены границы критического размера ядер (≤ 10 мм), на основании чего разработано аппаратное обеспечение новой технологии. Для массоподготовки использовались эффективные мельницы-сушилки вихревого типа, позволяющие не только проводить механоактивацию глинистого сырья, но и получать порошки малопластичного неспекающегося техногенного и природного сырья с высокой удельной поверхностью [14]. Грануляция тонкодисперсных порошков и покрытие их механоактивированным глинистым сырьем осуществлялись в промышленных турболопастных смесителях-грануляторах. Как показали промышленные испытания, такая структура позволяет повысить прочность керамических изделий на 20-30 %.

Как уже отмечалось выше, в развитие научного направления по формированию матричной структуры керамических изделий из крупнотоннажных промышленных отходов на кафедре активно ведутся *разработки рациональных способов массоподготовки сырья в технологии стеновой керамики компрессионного формования* при использовании малокондиционного глинистого и других видов природного алюмосиликатного сырья (трепелы, опоки и др.) [7].

Направляющим вектором при проведении исследований стало создание условий, удовлетворяющих сочетанию двух несочетающихся при одновременном применении технологических факторов. С одной стороны – это необходимость тонкого измельчения и гомогенизации исходного сырьевого материала, потому как важной причиной, «скомпроментировавшей на рубеже веков» технологию полусухого прессования кирпича, являлся грубый (до 3-5 мм) помол глины [15]. С другой – «невозможность плотной упаковки» тонкодисперсных порошков при прессовании без запрессовки воздуха и образования трещин расслаивания.

Избежать дефектов структуры керамических изделий полусухого прессования [16] позволяет разработанный под руководством автора способ формирования оптимальных

структур керамического кирпича за счет тонкого сухого помола, грануляции, компрессионного формования, сушки и обжига изделий. Многочисленные лабораторные исследования показали, что необходимое количество воды для грануляции порошков составляет 10-17 мас. % [17]. Данные показатели по влажности сопоставимы с экструзионной технологией жесткого формования, поэтому при характеристике способа был использован термин «компрессионное формование».

Высокая степень однородности и качества алюмосиликатного сырья на стадии массоподготовки была достигнута за счет его тонкого помола до 0,3 мм на роторных вихревых мельницах-сушилках компании «Баскей Керамик», в результате получены однородные тонкодисперсные порошки влажностью 4-6 % [14]. Управляемая грануляция в турболопастных смесителях с регулируемой скоростью лопастей (800-2000 об/мин) позволила получить рациональную гранулометрию пресс-порошка и обеспечить бездефектную формовку сырца без трещин перепрессовки и расслаивания.

В условиях возросших нормативных требований по тепло- и энергосбережению зданий весьма актуальны проводимые автором *исследования по созданию ячеистой структуры керамики с упорядоченным каркасом из макропор, имеющих стеклокристаллическую оболочку*. Для решения этой задачи разработан и запатентован [10] новый способ изготовления теплоэффективных стеновых керамических изделий на основе нетрадиционного и низкокачественного природного сырья с пространственно организованной ячеистой структурой.

Схема формирования ячеистой структуры керамического черепка с использованием гранулированного пеностекла и природной алюмосиликатной связки представлена на рисунке 2.

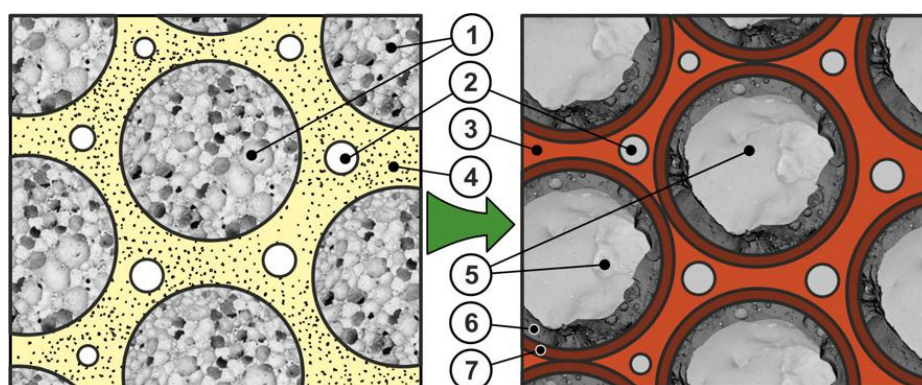


Рисунок 2 – Схема формирования ячеистой структуры керамического черепка из гранулированного сырья: 1 – пеностеклокристаллическая гранула; 2 – пора; 3 – твердая фаза черепка; 4 – матрица из глины; 5 – воздушная ячейка гранулы; 6 – внутренний оплавленный слой гранулы; 7 – граничный стеклокристаллический слой матричного композита

В основу способа заложены вышеназванные технологические принципы формирования керамических матричных композитов. Грануляция увлажненных гранул пеностекла с высушенным и измельченным глинистым или кремнистым сырьем, последующее прессование, сушка и обжиг изделий обеспечивают формирование ячеистой структуры керамического черепка с высоким коэффициентом конструктивного качества и пониженной средней плотностью.

Еще одним перспективным направлением развития технологии керамических стеновых материалов в условиях устойчивого и постоянно растущего спроса на декоративную и облицовочную керамику является *объемное окрашивание керамических изделий на основе техногенного и природного глинистого сырья минеральными пигментами*,

полученными из промышленных отходов.

Как показали исследования, применение часто используемых для обычных кирпичных глин «щелочноземельных осветлителей» неприемлемо в случае использования техногенного сырья, содержащего, как правило, большое количество карбонатных примесей. Использование импортных красящих пигментов дорого и в условиях текущего курса рубля значительно утяжеляет себестоимость продукции. Поэтому, молодыми учеными кафедры под руководством автора разрабатываются принципы структурного окрашивания керамических матричных композитов на основе техногенного и природного сырья. Интенсивное окрашивание керамики при минимальном количестве добавок достигается за счет концентрации их в тонком слое на поверхности гранул при опудривании.

Наиболее приемлемым, на наш взгляд, является использование различных минеральных добавок и отходов, содержащих соли и оксиды металлов, таких как Fe_2O_3 , MnO_2 , TiO_2 , V_2O_5 и др. [18]. Было установлено, что минеральные добавки с высоким содержанием указанных металлов, в частности отходов, содержащих V_2O_5 в количестве 3-5 мас.%, обеспечивают интенсивное окрашивание образцов за счет концентрации на поверхности гранул и получение керамического черепка с водопоглощением 7-10 % и прочностью при сжатии более 65 МПа при использовании ванадиевого шлака [19].

В результате разработанных научных основ и технологических принципов, изложенных выше, получена целая серия керамических матричных композитов на основе техногенного и природного сибирского сырья (рисунок 3).

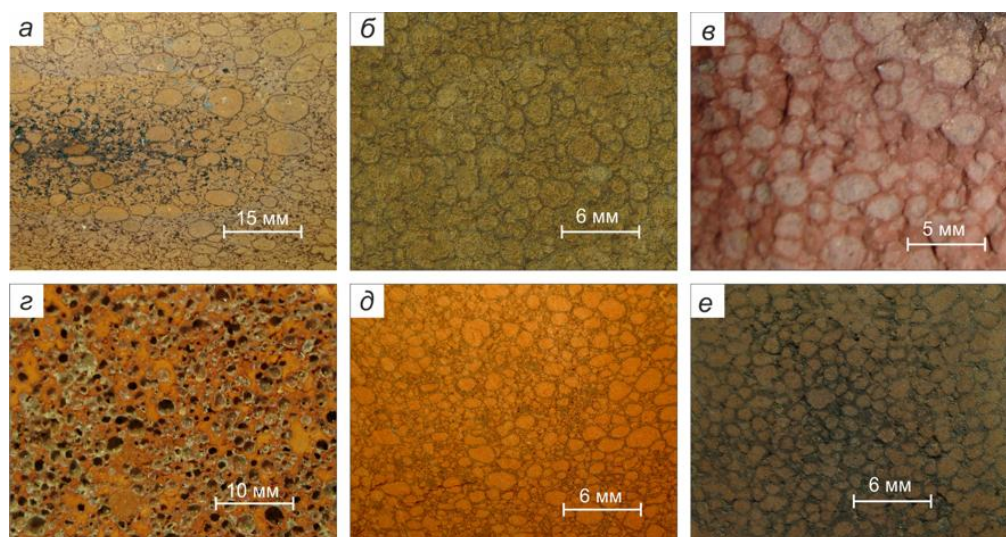


Рисунок 3 – Матричная структура стеновых керамических изделий из гранулированных шихт на основе: шламистой части отходов обогащения железных руд Абагурской (а) и Мундыбашской (б) фабрик; отходов углеобогащения (в); гранулированного пеностекла из кремнистых пород (г); суглинка с добавкой отходов обогащения марганцевых руд (д); шламистых железорудных отходов с добавкой ванадиевого шлака (е)

Проведенные заводские испытания в условиях ЗАО «Новокузнецккремстрой-Н», ООО «Бердский кирпичный завод», ООО «Красный кирпич» (Красноярский край) и внедрение результатов при проектировании кирпичных заводов в Ростовской области и республике Башкортостан показывают эффективность применения разработанных составов и технологий получения керамических стеновых материалов матричной структуры.

Библиографический список

1. Лосев, К.С. Экологические проблемы и перспективы устойчивого развития России в XXI веке. / К.С. Лосев. – Москва : Космо-Информ, 2001. – 399 с.

2. Столбоушкин, А.Ю. Комплексная застройка при проектировании и строительстве биосферносовместимых городов из керамических материалов на основе техногенного сырья / А.Ю. Столбоушкин, А.И. Иванов, К.В. Алюнина, В.А. Сыромьясов // Биосферносовместимые города и поселения: материалы Международной научно-практической конференции. – Брянск : БГИТА, 2012. – С. 97-102.
3. Ашмарин, Г.Д. Энерго и ресурсосберегающая технология керамических стеновых материалов / Г.Д. Ашмарин, В.В. Курносов, В.Г. Ласточкин // Строительные материалы. – 2010. – № 4. – С. 24–27.
4. Прошунин, Ю.Е. Концепция технопарка о развитии отрасли управления отходами в Кузбассе / Ю.Е. Прошунин, Е.П. Волынкина // Управление отходами – основа восстановления экологического равновесия в Кузбассе: сборник докладов второй между. конференции. Новокузнецк : СибГИУ, 2008. – С. 15–20.
5. Кройчук, Л.А. Использование нетрадиционного сырья для производства кирпича и черепицы в Китае / Л.А. Кройчук // Строительные материалы. – 2003. – № 7. – С. 8–9.
6. Стороженко, Г.И. Перспективы отечественного производства керамического кирпича на основе отходов углеобогащения / Г.И. Стороженко, А.Ю. Столбоушкин, М.П. Мишин // Строительные материалы. – 2013. – № 4. – С. 57–61.
7. Столбоушкин, А.Ю. Рациональные способы массоподготовки сырья в технологии стеновой керамики компрессионного формования / А.Ю. Столбоушкин, Г.И. Стороженко, А.И. Иванов, В.А. Сыромьясов, Д.В. Акст // Строительные материалы. – 2016. – № 4. – С. 26–30.
8. Stolboushkin A.Yu. Principles of optimal structure formation of ceramic semi-dry pressed brick [Electronic resource] / A.Yu. Stolboushkin, A.I. Ivanov, O.A. Fomina, A.S. Fomin, G.I. Storozhenko // Advanced Materials, Mechanical and Structural Engineering – Hong, Seo & Moon (Eds) © 2016 Taylor & Francis Group, London, ISBN: 978-1-138-02908-8. – Pp. 87-90. Access mode: <https://www.crcpress.com/Advanced-Materials-Mechanical-and-Structural-Engineering-Proceedings-of/Hong-Seo-Moon/p/book/97811315644684>.
9. Патент № 2500647 Российская Федерация, МПК С1 С 04 В 33/132. Сырьевая смесь для изготовления стеновой керамики и способ ее получения / А.Ю. Столбоушкин, Г.И. Стороженко, А.И. Иванов и др.; опубл. 10.12.2013, Бюл. № 34.
10. Патент № 2593832 Российская Федерация, МПК С1 С 04 В 33/13. Способ изготовления стеновых керамических изделий / А.И. Иванов, А.Ю. Столбоушкин, Г.И. Стороженко; опубл. 10.08.2016, Бюл. № 22.
11. XIV Международная научно-практическая конференция «Развитие керамической промышленности России: КЕРАМТЭК-2016» состоялась в Челябинске (Информация) // Строительные материалы. – 2016. – № 8. – С. 4–8.
12. Столбоушкин, А.Ю. Керамические стеновые материалы матричной структуры на основе неспекающегося малопластичного техногенного и природного сырья / А.Ю. Столбоушкин, Г.И. Бердов, В.И. Верещагин, О.А. Фомина // Строительные материалы. – 2016. – № 8. – С. 19–23.
13. Storozhenko, G. Ceramic bricks from industrial waste / G. Storozhenko, A. Stolboushkin // Ceramic & Sakhteman. Seasonal magazine of Ceramic & Building. – Teheran, Iran. – 2010, Winter. – No 5. – Pp. 2–6.
14. Стороженко, Г.И. Опытнo-промышленная апробация технологии тонкого помола минерального, техногенного и глинистого закарбонизированного сырья для производства стеновой керамики / Г.И. Стороженко, В.Д. Чивелев, Н.Г. Гуров, Л.В. Котлярова, А.Ю. Столбоушкин, А.И. Никитин, Р.Б. Галин // Строительные материалы. – 2012. – № 5. – С. 23–50.
15. Справочник по производству строительной керамики. Том III. Стеновая и кровельная керамика под ред. Скрамтаева Б.Г. Москва : Стройиздат, 1962. – 608 с.

16. Шлегель, И.Ф. Проблемы полусухого прессования кирпича / И.Ф. Шлегель // Строительные материалы. – 2005. – № 2. – С. 18–19.

17. Столбоушкин, А.Ю. Особенности грануляции техногенного и природного сырья для получения стеновой керамики / А.Ю. Столбоушкин, А.И. Иванов, В.Н. Зоря, Г.И. Стороженко, С.В. Дружинин // Строительные материалы. – 2012. – № 5. – С. 85–89.

18. Столбоушкин, А.Ю. Улучшение декоративных свойств стеновых керамических материалов на основе техногенного и природного сырья / А.Ю. Столбоушкин. // Строительные материалы. – 2013. – № 8. – С. 24–32.

19. Патент № 2487844 Российская Федерация, МПК С1 С 04 В 33/132. Сырьевая смесь для изготовления стеновых керамических изделий / А.Ю. Столбоушкин, Г.И. Стороженко, Г.И. Бердов и др.; опубл. 20.07.2013, Бюл. № 20.

УДК 666.3

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА КЕРАМИЧЕСКИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ ОБОГАЩЕНИЯ МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ РУД

Суворова О.В.¹, Кумарова В.А.¹, Некипелов Д.А.², Макаров Д.В.², Маслобоев В.А.²

¹*Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В. Тананаева КНЦ РАН, г. Апатиты, Россия, suvorova@chemy.kolasc.net.ru*

²*Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, г. Апатиты, Россия*

Аннотация. Обоснована возможность получения керамических строительных материалов компрессионного формования с повышенными физико-механическими показателями, высокой морозостойкостью и улучшенными декоративными характеристиками на основе хвостов обогащения медно-никелевых руд. Показано, что увеличение давления прессования приводит к повышению физико-механических характеристик керамических материалов, снижению огневой усадки и водопоглощения.

Ключевые слова: керамические строительные материалы, отходы обогащения медно-никелевых руд, полусухое прессование, компрессионное формование, прочность при сжатии и изгибе, морозостойкость.

Введение. Одним из перспективных направлений использования отходов горно-металлургического комплекса (ГМК) является получение керамических строительных материалов: стеновых, облицовочных и тротуарных изделий. Применение техногенного сырья снизит потребность в первичных минерально-сырьевых ресурсах, отпадет необходимость в специализированных карьерах по разработке глин, нарушении природных ландшафтов и т.д.

В последние годы в мире уделяется повышенное внимание проблеме вовлечения промышленных отходов, в том числе ГМК, в производство керамических строительных материалов [1-4 и др.].

Хвосты обогащения медно-никелевых руд, на 60 % состоящие из различных разновидностей серпентинов, представляют собой ценное техногенное сырье для промышленности строительных и технических материалов. В частности, еще в 1966 году была обоснована возможность их применения в производстве кислотоупорных и износостойчивых керамических изделий [5]. Хвосты обогащения медно-никелевых руд могут быть использованы для получения различных строительных и технических материалов: диопсидовой, периклаз-монтichelлитовой, кислотоупорной керамики, микронаполнителей в бетоны, пигментов [6]. Еще одним перспективным направлением использования силикатной составляющей хвостов может быть получение соединений магния. Серпентины и серпентиниты в настоящее время рассматриваются как сырье для производства оксида и солей магния [7]. В хвостах текущего производства содержание оксида магния составляет 23-28%, при этом до 80-90% MgO присутствует в составе серпентинов и может быть извлечено.

Целью настоящей работы было обоснование возможности получения керамических строительных материалов с повышенными физико-механическими показателями, высокой морозостойкостью и улучшенными декоративными характеристиками на основе хвостов обогащения медно-никелевых руд без использования первичного сырья – глины.

Материалы и методы исследований. В качестве сырьевых материалов были использованы хвосты обогащения медно-никелевых, апатит-нефелиновых и железных руд. Химический состав этих отходов представлен в таблице 1. Использовали состав массы при следующем соотношении компонентов, %: хвосты обогащения медно-никелевых руд – 40, нефелиновые хвосты – 40, хвосты обогащения железных руд – 20.

Образцы для исследований готовили следующим образом. Сырьевые компоненты измельчали до удельной поверхности 3000 см²/г. Смесь тщательно гомогенизировали, увлажняли до оптимальной влажности – 8%. В качестве временной связки для придания прочности сырцу использовали сульфитно-спиртовую барду в количестве 0.5 мас. %. Гранулированные пресс-порошки получали в смесителе-грануляторе ГЛ-020. Изделия формовали прессованием при удельном давлении 20-150 МПа.

Таблица 1 – Химический состав отходов обогащения медно-никелевых (1), апатит-нефелиновых (2) и железных руд (3)

Компонент	Содержание, %		
	1	2	3
SiO ₂	50.7	42.6	67.5
Al ₂ O ₃	8.0	20.5	3.6
TiO ₂ +FeO+MnO	1.1	1.3	0.9
Fe ₂ O ₃	12.4	6.0	19.4
CaO+MgO	20.5	8.4	6.3
Na ₂ O+K ₂ O	4.8	14.2	1.7
P ₂ O ₅	-	5.9	0.1
Ni+Cu+Co	0.25	-	-
SO ₃	0.8	-	0.1
п.п.п.	1.6	1.1	0.4

После сушки при 105 °С образцы обжигали при температурах 900, 950, 1000, 1050 и 1100 °С с изотермической выдержкой в течение 1 часа. Далее осуществляли снижение температуры до 500 °С со скоростью 2-3.5 °С/мин. Остывание проводили в печи в течение 8 часов. Обожженные образцы испытывали на прочность при сжатии и изгибе. Также определяли среднюю плотность, огневую усадку, водопоглощение. Ряд образцов испытывали на морозостойкость. Исследования проводили согласно требованиям ГОСТ 8462-85, 7025-91 и 27180-2001.

Результаты и их обсуждение. Физико-химические процессы, протекающие при обжиге керамических образцов, рассмотрим на примере микроскопического исследования шлифа образца, обожженного при 1050 °С (рисунок 1). Стекло представляет собой темную непрозрачную массу с красноватым оттенком, что, вероятно, свидетельствует о значительном количестве оксидов железа в его составе (рисунок 1а). Взаимодействие нефелина, основного компонента хвостов обогащения апатит-нефелиновых руд, и кварца, преобладающего в составе хвостов обогащения железных руд, приводит к появлению полевых шпатов. Так, плагиоклазы образуют таблитчатые и призматические зёрна размерами до 100 мкм (рисунок 1б). В заметных количествах кварц присутствует и как самостоятельная фаза, образуя зерна неправильной формы (рисунок 1в). Темноцветные минералы (пироксены и амфиболы) в сумме составляют 5-10% шлифа (рисунок 1г, е). Магнетит, содержащийся в хвостах обогащения медно-никелевых и железных руд, при обжиге частично окисляется до гематита (рисунок 1д).

Как известно, технология полусухого прессования (компрессионного формования) применяется для малопластичного камневидного сырья: аргиллитов, глинистых сланцев, опоковидных пород, сухарных глин, алевролитов и различных отходов промышленности [8]. Вопрос о влиянии давления прессования на свойства материалов является дискуссионным [8, 9].

В этой связи представляло интерес изучить зависимости параметров компрессионного формования на свойства получаемых керамических материалов.

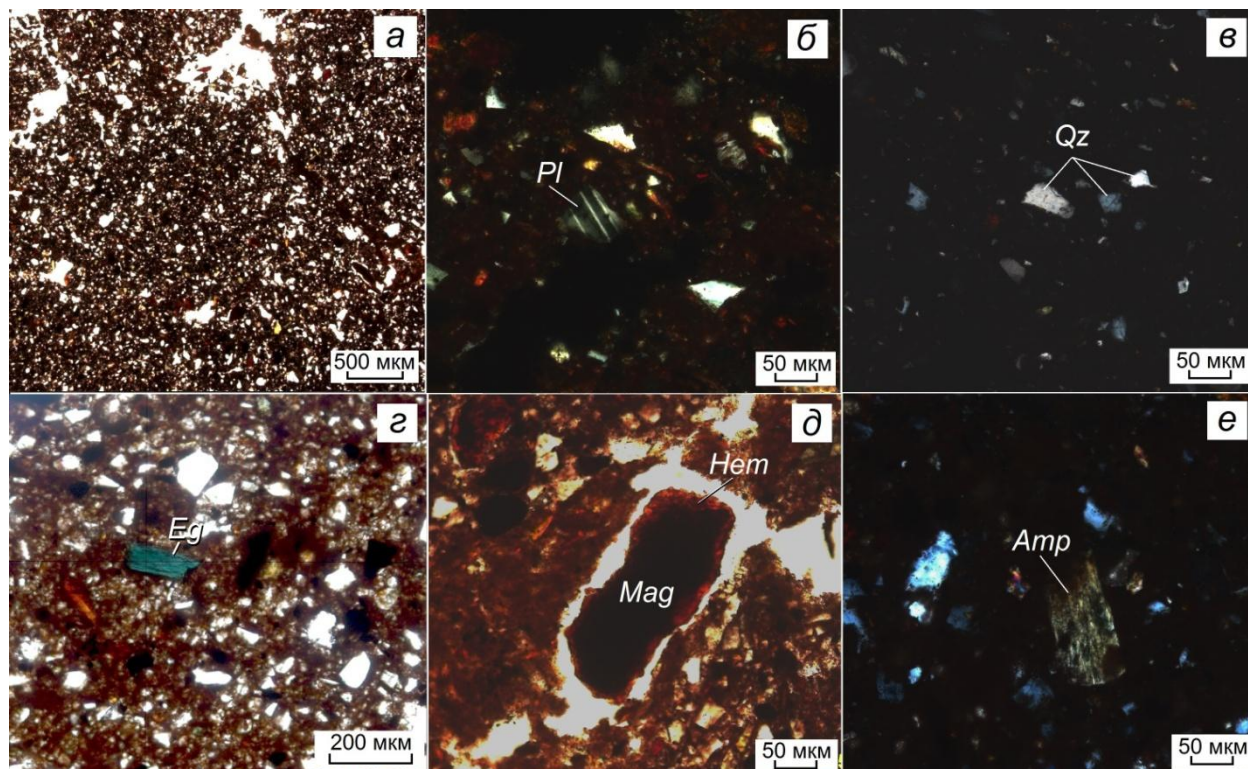


Рисунок 1 – Микрофотографии образца керамики. Общий вид шлифа, николи II (а); плагиоклаз с полисинтетическими двойниками, николи + (б); зерна кварца, николи + (в); крупное зерно эгирина, николи II (г); магнетит с каймой гематита, николи II (д); зерно амфибола «съедаемое» стеклом, николи + (е)

Изменение прочности при сжатии и изгибе в зависимости от давления прессования полученных при различных температурах обжига керамических материалов представлено на рисунке 2. Как видно, с увеличением давления прессования происходит существенный рост прочности при сжатии. Материал, полученный компрессионным формованием при 150 МПа и обожженный при 900 °С, характеризуется такой же прочностью при сжатии, что и материал полученный формованием при 20 МПа и обожженный при 1000 °С. Набора прочности при изгибе для материалов, полученных обжигом при 900 и 950 °С, не зафиксировано. Рост прочности при изгибе с увеличением давления прессования наблюдается только для материала, обожженного при 1000 °С.

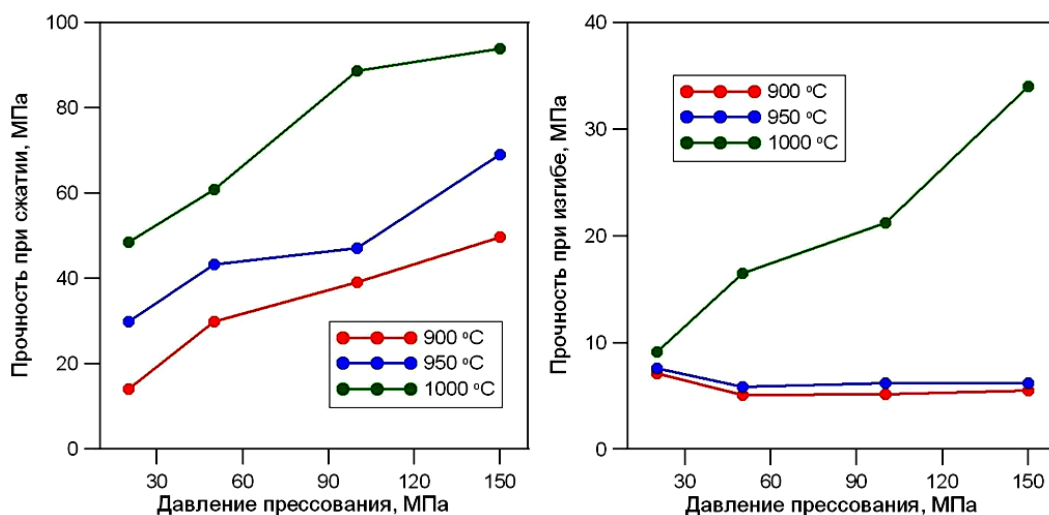


Рисунок 2 – Зависимости прочности при сжатии и изгибе керамических материалов от давления прессования при различных температурах обжига изделий.

К недостаткам увеличения давления прессования можно отнести закономерный рост объемной плотности керамических материалов (рисунок 3). Однако, на наш взгляд, данный недостаток вполне компенсируется как существенным набором прочности при сжатии, так и снижением огневой усадки (рисунок 3). Незначительный рост величины усадки при давлениях прессования 150 МПа и температурах обжига 950 и 1000 °C, вероятно, связан с увеличением количества расплава в керамической массе.

Положительным моментом является также снижение водопоглощения материалов с увеличением давления прессования при всех температурах обжига (рисунок 4).

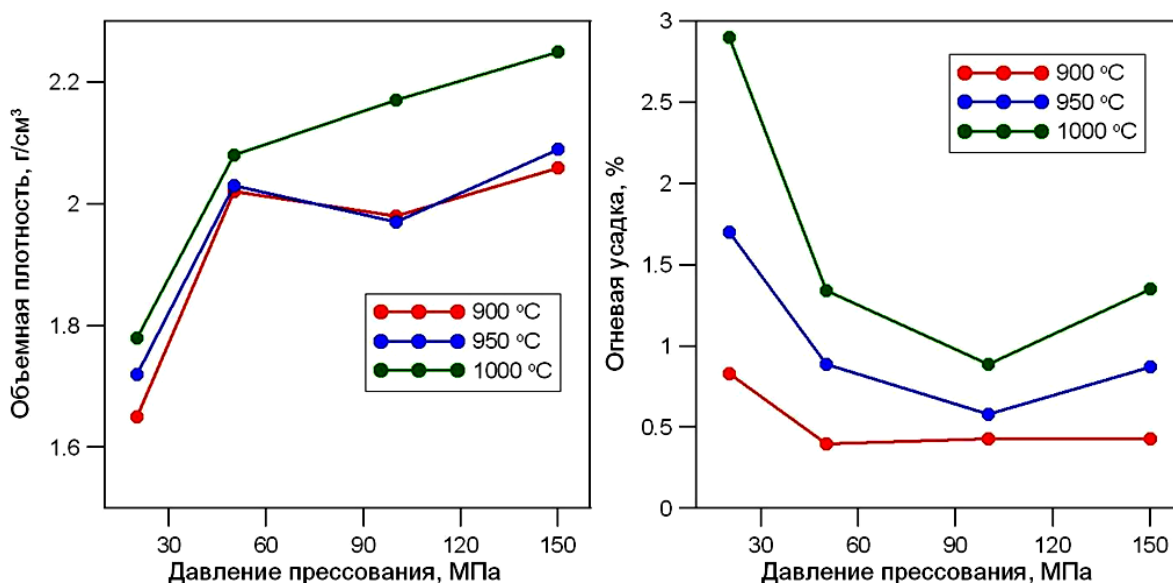


Рисунок 3 – Зависимости объемной плотности и огневой усадки керамических материалов от давления прессования при различных температурах обжига изделий.

Отметим, что физико-механические свойства материалов, полученных при повышенных давлениях прессования и обожженных при 1050 и 1100 °C, соответствуют клинкерной керамике. Прочность при сжатии и изгибе материала, полученного формованием при 50 МПа и температуре обжига 1050 °C, составили 128.8 и 30.9 МПа соответственно, водопоглощение – 4.5 %. Материал, обожженный при 1100 °C, характеризовался прочностью при сжатии и изгибе 150.0 и 30.3 МПа, водопоглощением 0.25 %.

Как известно, изделия полусухого прессования в ряде случаев оказываются недостаточно морозостойкими: в процессе эксплуатации в кирпиче выкрашиваются углы и ребра, шелушится поверхность, появляются специфические трещины.

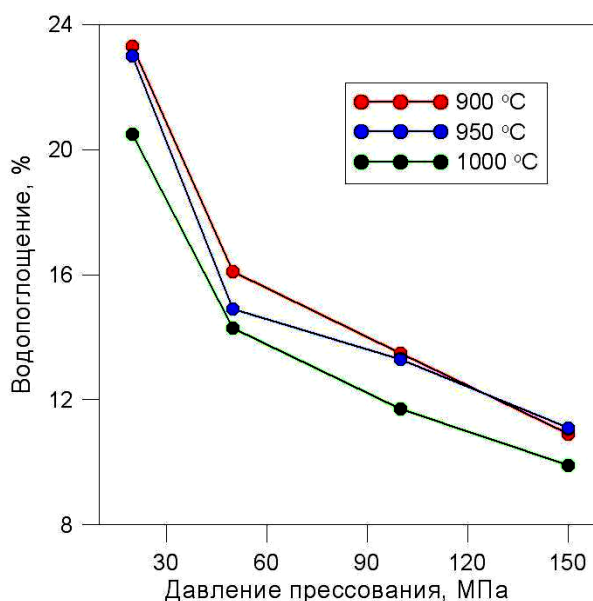


Рисунок 4 – Зависимости водопоглощения керамических материалов от давления прессования при различных температурах обжига изделий.

Перспективным направлением повышения морозостойкости является способ получения керамических материалов с использованием гранулированных пресс-порошков, предложенный А.Ю. Столбоушкиным. Им было показано, что при обжиге керамических материалов на основе малопластичного техногенного и природного сырья происходит формирование в ядре пор с размерами 0.04-4.4 мкм и образование значительного количества замкнутых макропор по границам гранул [10].

Для формирования матричной структуры керамических материалов в качестве связующего (опудривающий слой) использовали глиноподобную часть шихты – хвосты обогащения медно-никелевых руд в количестве 10-15 %. Соотношение гранул и связующего определяется распределением размеров и упаковкой зерен заполнителя. Из полученных пресс-порошков при формовочной влажности были отпрессованы при давлении 20 МПа образцы-цилиндры. Проведенные предварительные испытания образцов после обжига на прочность при сжатии и морозостойкость показали перспективность использования агрегации (гранулирования) пресс-порошков из техногенных отходов в технологии керамических строительных материалов. Морозостойкость таких материалов (более 50 циклов) превышает это значение для материалов, полученных традиционным способом. Кроме того, формирование матричной структуры керамического материала оказывает положительное влияние и на прочностные характеристики изделий. Происходит незначительное повышение прочности при сжатии – до 118 МПа при температуре обжига 1050 °C.

Выводы

Обоснована возможность получения высококачественных керамических строительных материалов полусухого прессования (компрессионного формования) на основе отходов обогащения медно-никелевых руд.

Показано, что увеличение давления прессования приводит к повышению физико-механических характеристик керамических материалов, снижению огневой усадки и водопоглощения.

Получены керамические материалы полусухого прессования (компрессионного формования) с морозостойкостью 50 и более циклов.

Библиографический список

1. Raut S.P., Ralegaonkar R.V., Mandavgane S.A. Development of sustainable construction material using industrial and agricultural solid waste: A review of waste-create bricks // *Construction and Building Materials*. 2011. V.25. P.4037-4042.
2. Zhang L. Production of bricks from waste materials – A review // *Construction and Building Materials*. 2013. V.47. P.643-655.
3. Muñoz Velasco P., Morales Ortíz M.P., Mendivil Giry M.A., Muñoz Velasco L. Fired clay bricks manufactured by adding wastes as sustainable construction material – A review // *Construction and Building Materials*. 2014. V.63. P.97-107.
4. Monteiro S.N., Fontes Vieira C.M. On the production of fired clay bricks from waste materials: A critical update // *Construction and Building Materials*. 2014. V.68. P.599-610.
5. Глодин Ю.Н. Отходы (хвосты) флотации медно-никелевых руд как сырьевой материал для производства кислотоупорных и износостойчивых керамических изделий // *Труды НИИ Стройкерамики*. 1966. Вып.26. С.37-59.
6. Макаров В.Н., Калинин А.М., Бастрыгина С.В., Трофименко Т.А. Изменение технологических свойств слоистых силикатов в составе горнопромышленных отходов в процессе хранения // *Новое в экологии и безопасности жизнедеятельности*. СПб: БГТУ. 2000. С.368-370.
7. Zhao Q., Liu C., Jiang M., Saxén H., Zevenhoven R. Preparation of magnesium hydroxide from serpentinite by sulfuric acid leaching for CO₂ mineral carbonation // *Minerals Engineering*. 2015. V.69. P.116-124.
8. Котляр В.Д., Терехина Ю.В., Котляр А.В. Методика испытания камневидного сырья для производства стеновых керамических изделий компрессионного формования (в порядке обсуждения) // *Строительные материалы*. 2014. №4. С.24-27.
9. Бадашкеева Е.М., Архинчева Н.В., Щукина Е.Г. Гиперпрессованные керамические материалы // *Строительные материалы*. 2005. №2. С.61-63.
10. Столбоушкин А.Ю. Стеновые керамические материалы матричной структуры на основе неспекающегося малопластичного техногенного и природного сырья. Дисс. докт. техн. наук. Новосибирск. 2014. 365 с.

УДК 691.175

ИССЛЕДОВАНИЕ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ БЕТОНА С ПОВЕРХНОСТНОЙ МОДИФИКАЦИЕЙ ПРОПИТОЧНЫМИ СОСТАВАМИ

Фомина Н.Н., Полянский М.М.

ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»,
Саратов, Россия, fominanani@rambler.ru, polyan_m.m@mail.ru

Аннотация. Работа нацелена на изучение возможности повышения коррозионной стойкости бетона поверхностной модификацией пропиточными составами. Исследованы варианты пропиточных составов на основе жидкого стекла, водной дисперсии бутадиен-стирольного сополимера, раствора полистирола. Определено качество пропиточных покрытий, а также их защитные свойства. Пропитка раствором полистирола позволяет существенно снизить водопоглощение пропитанного бетона и увеличить его морозостойкость.

Ключевые слова: вторичная защита, пропитка, раствор полистирола, защитное покрытие, морозостойкость бетона.

Широкое использование железобетонных конструкций и сооружений при строительстве в районах с засоленными грунтами и высокоминерализованными грунтовыми

водами требует поиска эффективных и экономичных антикоррозионных защитных мероприятий, применение которых гарантирует проектную долговечность конструкций и нормальную эксплуатацию сооружений в целом.

Согласно ГОСТ 31384-2008 «Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии» выделяют способы первичной, вторичной и специальной защиты для предотвращения коррозионного разрушения бетона. Если защита от коррозии не может быть обеспечена первичными мерами (применение специальных вяжущих, уплотнение структуры бетона и др.), применяют способы вторичной защиты - окраску, обмазку, облицовку, оклейку, оштукатуривание, гидрофобизацию, пропитку и прочие более или менее распространенные методы изоляции бетона. Причем, при воздействии жидких агрессивных сред, а также при эксплуатации конструкций в грунтах рекомендуется пропитка, проникающая в структуру бетона на некоторую глубину и обеспечивающая долговечность и надежность защиты.

В качестве пропиток для бетона могут быть использованы:

- полимерсиликатные (жидкостекольные) композиции;
- остаточные продукты переработки углеводородного сырья (битумы, дегти, пеки, петролатум);
- термопластичные полимеры, при этом пропитка производится при их нагреве;
- термореактивные смолы, с обеспечением их последующей полимеризации;
- растворы полимеров;
- дисперсии полимеров;
- растворы солей металлов и др.

Так, разработчиками [1] предлагается пропиточная композиция «Силор», обеспечивающая защиту бетона в условиях воздействия растворов кислот, щелочей, солей, нефтепродуктов, растворителей. Композиция наносится на поверхность бетона послойно с обязательным отверждением каждого слоя в течение 6-10 часов. Глубина пропитки при этом составляет доли миллиметра.

В работе [2] предлагается в качестве комплексной защиты системы «свая – ростверк – полы» экологически безопасная технология пропитки бетона с применением электрофизических методов (переменного тока промышленной частоты и эффекта электрического резонанса). В качестве пропиточного состава используются композиции на основе латекса ВХВД-65. Такая технология обеспечивает повышение коррозионной стойкости бетона при капиллярном подсосе в 10%-ном растворе сульфата натрия не менее чем в три раза.

Авторы [3] отмечают, что эффективным вариантом пропитки является поверхностное флюатирование, т.е. обработка бетонной поверхности водными растворами солей - гексафторсиликатов магния, кальция, цинка и других металлов. Авторами синтезирован гексафторсиликат магния, на его основе разработан пропиточный состав «Сифтом».

Оптимальным режимом обработки бетона является его пропитка в два приема с концентрацией гексафторсиликата магния 5 % и 15 % по массе. В результате обработки водорастворимый гидроксид кальция взаимодействует с гексафторсиликатом магния с образованием водонерастворимых фторидов магния и кальция. Предложенный пропиточный состав по эффективности действия не уступает зарубежным аналогам, в частности «Burke-O-Lith» (производства США).

В работе [4] для пропитки свай предлагается топочный мазут как доступный материал с относительно стабильными свойствами. Определена оптимальная вязкость раствора мазута – 50 с по ВЗ-4, позволяющая обеспечить глубину пропитки плотных бетонов не менее 5 мм за 12 часов при нормальной температуре и атмосферном давлении. Пропитка бетона раствором мазута повышает его коррозионную стойкость в жидких кислых средах в 3 раза, в сульфатных средах в 3-4 раза.

В работе [5] разработан способ антикоррозионной защиты железобетонных конструкций путем их пропитки на глубину 8-10 мм расплавом модифицированного низкомолекулярного полиэтилена. Процесс пропитки стимулируется за счет многократного расширения и сужения устья заполненных пор при переменном охлаждении и нагревании поверхности конструкции.

Давно и хорошо зарекомендовавшими себя пропитками являются композиции на основе расплавленных битумов, пеков, петролатума, мазута однако при этом требуется предварительная сушка изделий. Также классическими являются пропитки стирольно-инденовыми смолами, пиропластом, полиизоцианатом [6, 7]. Для получения пропиточных растворов с определенной вязкостью используется толуол, ксилол.

Таким образом, для антикоррозионной защиты бетона могут применяться разнообразные пропиточные составы, как готовые к применению импортного и отечественного производства, так и композиции, приготавливаемые непосредственно на предприятии-изготовителе железобетонных конструкций. Выбор варианта пропитки должен производиться на основании технико-экономического анализа и с учетом условий эксплуатации и проектного срока службы конструкции, доступности и надежности свойств пропиточного состава и других важных факторов.

В данной работе представлены результаты исследований эффективности следующих вариантов пропиток:

- жидкое натриевое стекло (ЖС);
- водная дисперсия (ВД) бутадиен-стирольного полимера - латекс СКС-65ГПБ ;
- раствор полистирола (ПС).

Вязкость пропиточных составов находилась в интервале от 15 до 45 с по ВЗ-4. С целью определения адгезионных свойств пропиточного покрытия, а также степени защиты бетона пропиткой при водонасыщении и замораживании и оттаивании в агрессивной среде было подготовлено 5 серий образцов-балочек из мелкозернистого цементного бетона: 1 серия контрольных и 4 серии основных – без пропитки и с тремя разными пропитками. Пропитка осуществлялась выдержкой образцов в пропиточной композиции в течение 48 часов с последующей сушкой и выдержкой в течение 10 суток.

Оценивался внешний вид пропиточного покрытия, адгезия пропиточного покрытия к подложке, толщина пропиточного покрытия.

При пропитке **жидким стеклом** оно впитывается в структуру бетона. Есть области, где пропитка полностью впиталась в бетон, и пленка пропиточного покрытия отсутствует. Там, где пропиточное покрытие наблюдается, его толщина не превышает 0,3 мм. При определении адгезии пропитки ЖС к бетону наблюдается когезионный отрыв по бетону, что свидетельствует о высокой адгезии пропитки к подложке.

Пропитанные **водной дисперсией** образцы полностью покрыты достаточно толстым полимерным покрытием. Покрытие ложится «волной», образуя непрерывную, но бугристую поверхность прозрачно-белого цвета. Толщина пропиточного покрытия находится в интервале от 1 до 3 мм. Адгезия покрытия к бетону более 0,6 МПа, что свидетельствует о хороших адгезионных свойствах.

Пропитка **раствором полистирола** придает образцам гладкий блестящий вид. Толщина пропиточного покрытия от 0,3 до 0,8 мм; пленка пропиточного покрытия качественная, сплошная. Адгезия покрытия к бетону также более 0,6 МПа, что свидетельствует о хороших адгезионных свойствах.

Далее образцы водонасыщались в 5%-ном растворе хлорида натрия при температуре 20 ± 2 °С до стабилизации массы, которая наступила через 5 суток. Динамика процесса водонасыщения образцов в течение первых 4 суток представлена на рисунке 1. Водопоглощение образцов по массе после 5 суток водонасыщения составило:

- для контрольных образцов - 2,14%;

- для основных образцов без пропитки - 2,13%;
- для основных образцов с пропиткой ЖС – 1,71%;
- для основных образцов с пропиткой ВД – 0,52%;
- для основных образцов с пропиткой ПС – 0,41%.

По окончании водонасыщения у образцов также оценивался внешний вид пропиточного покрытия, адгезия пропиточного покрытия к подложке, толщина пропиточного покрытия.

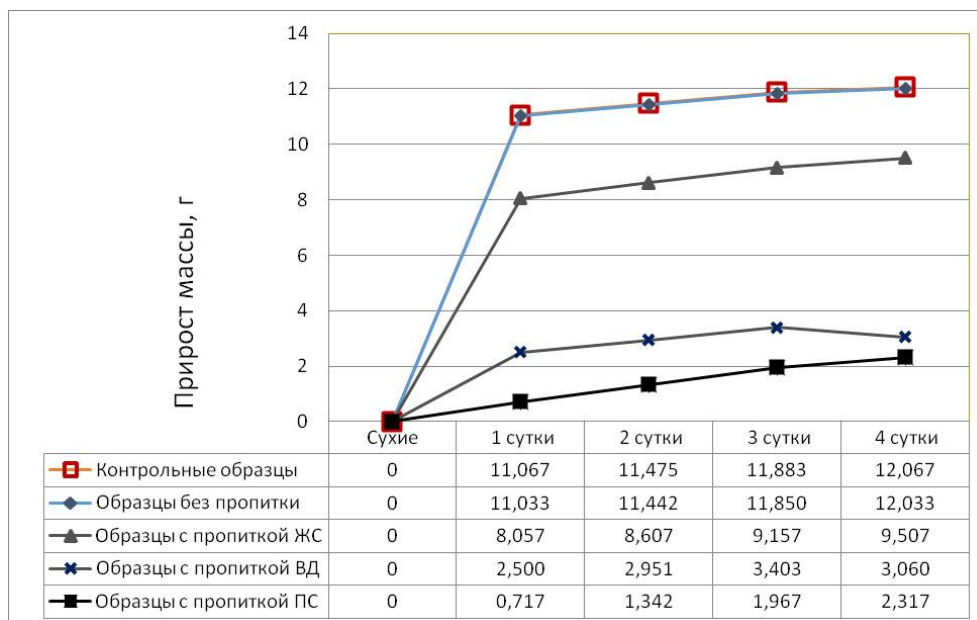


Рисунок 1 – Динамика процесса водонасыщения образцов 5%-ным раствором хлорида натрия в течение первых 4-х суток.

Поверхностная пленка на образцах, пропитанных **жидким стеклом**, полностью отсутствует, вероятно, растворившись в процессе водонасыщения.

Покрытие, полученной пропиткой **водной дисперсией**, в некоторых местах потрескалось. Тем не менее, образцы покрыты полимерным покрытием. Толщина пропиточного покрытия не изменилась. Адгезия покрытия к бетону имеет большой разброс, от минимальных до удовлетворительных (более 0,4 МПа) значений.

Пропитка **раствором полистирола** не претерпела никаких изменений в процессе водонасыщения. Поверхность образцов гладкая и блестящая; пленка пропиточного покрытия качественная сплошная. Адгезия покрытия к бетону более 0,6 МПа, что свидетельствует о хороших адгезионных свойствах.

Контрольные образцы сразу же после водонасыщения испытывались на изгиб и сжатие (рисунок 2, 3).

Основные водонасыщенные образцы без пропитки и с пропитками подвергались испытаниям на замораживание и оттаивание по следующему режиму:

- замораживание не менее 2 часов при температуре минус 18 ± 2 °С в воздушных условиях;
- оттаивание не менее 1,5 часов в 5%-ном растворе хлорида натрия при температуре 20 ± 2 °С.

Число циклов замораживания и оттаивания принималось равным 30. Согласно ГОСТ 10060-2012 30 циклов замораживания и оттаивания в минерализованной воде по второй ускоренной методике соответствует 150 циклам базового метода при замораживании и оттаивании в воде.

По окончании испытаний на морозостойкость поверхностная пленка на образцах, пропитанных **жидким стеклом**, отсутствует.

Покрытие, полученной пропиткой **водной дисперсией**, частично отслоилось. Толщина пропиточного покрытия не изменилась. Адгезия покрытия к бетону низкая - не превышает 0,4 МПа.

Пропитка **раствором полистирола** не претерпела существенных изменений после прохождения циклов замораживания и оттаивания. Поверхность образцов гладкая и блестящая; пленка пропиточного покрытия качественная сплошная. Адгезия покрытия к бетону более 0,6 МПа.

Сравнение прочностных показателей контрольных образцов и основных образцов после испытаний на морозостойкость приведены на рисунках 2, 3. Потери в массе по окончании испытаний на морозостойкость наблюдаются только у образцов, пропитанных водной дисперсией (потери составили 1,7%), что связано с отслоением пропиточного покрытия.

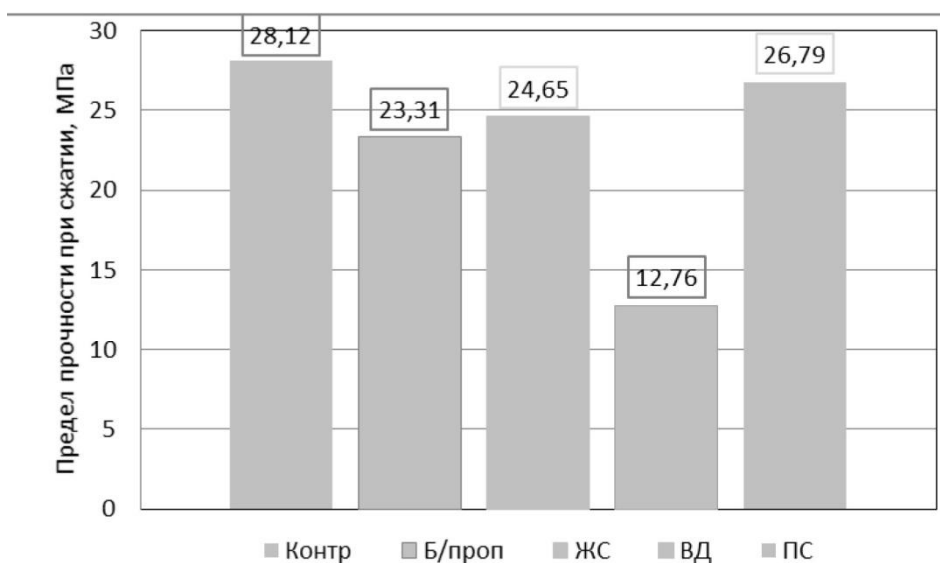


Рисунок 2 – Прочность при сжатии контрольных образцов и основных образцов после прохождения циклов замораживания и оттаивания.

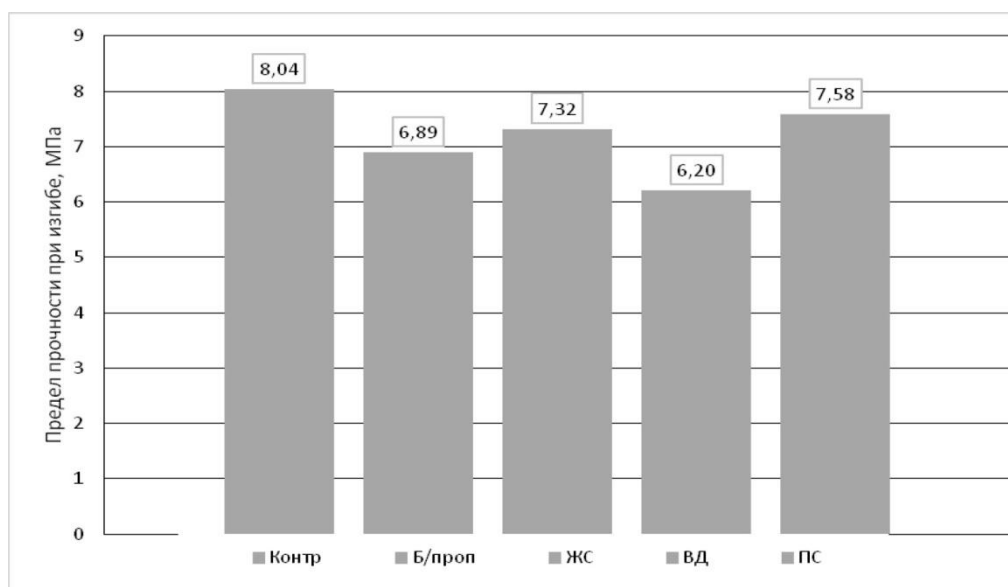


Рисунок 3 – Прочность при изгибе контрольных образцов и основных образцов после прохождения циклов замораживания и оттаивания.

Полученные экспериментальные данные позволяют сделать следующие выводы:

1. При пропитке **жидким стеклом** оно качественно впитывается в структуру бетона, образуемая поверхностная пленка быстро растворяется в водной среде. Проникшее в структуру бетона жидкое стекло, вероятно, связывается в нерастворимые соединения, реагируя с известью, выделяющейся в процессе твердения цемента. Поверхностная пористость пропитанного бетона снижается, что подтверждается некоторым снижением водопоглощения пропитанных жидким стеклом образцов. Пропитка жидким стеклом также повышает стойкость бетона в условиях замораживания и оттаивания: падение в прочности после 30 циклов ускоренных испытаний на морозостойкость для пропитанных составило 12%, в то время как для образцов без пропитки – 17%. Необходимо отметить, что расход жидкого стекла при пропитке небольшой.

2. Пропитка водной дисперсией затруднена, вероятно, из-за относительно крупных частиц полимера дисперсии. Для качественной пропитки с проникновением полимера в структуру бетона требуются специальные приемы (например, воздействие электрическим током). Получаемой при обычной выдержке полимерное покрытие из-за большой толщины будет подвержено отслоению при механических (например, забивка свай) и других воздействиях. Поверхностная пористость пропитанного бетона снижается, что подтверждается существенным снижением водопоглощения пропитанных дисперсией образцов. Однако, наблюдается падение в прочности образцов. Немаловажно, что расход дисперсии при пропитке высокий.

3. Пропитка **раствором полистирола** существенно улучшает внешний вид обработанных изделий, придавая им гладкий блестящий вид. Пленка пропиточного покрытия качественная, сплошная, сохраняет свою структуру и адгезионные свойства и при водонасыщении, и при многократном замораживании и оттаивании в минерализованной воде. Пропиточный состав достаточно легко проникает в структуру бетона, вероятно, из-за низкого поверхностного натяжения органического растворителя. Поверхностная пористость пропитанного бетона снижается, что подтверждается существенным снижением водопоглощения пропитанных раствором полистирола образцов. Пропитка также повышает стойкость бетона в условиях замораживания и оттаивания: падение в прочности после 30 циклов ускоренных испытаний на морозостойкость для пропитанных образцов составило 4,7%, в то время как для образцов без пропитки – 17%. Необходимо отметить, что расход раствора полистирола при пропитке небольшой.

4. Из исследованных вариантов наиболее эффективной оказалась пропитка раствором полистирола. Такой вариант пропитки рекомендуется при антикоррозионной защите бетонных и железобетонных изделий, с обязательным учетом требований по технике безопасности при организации пропитки, т.к. раствор полистирола горюч, а растворитель является летучей жидкостью с характерным запахом.

Библиографический список

1. Веселовский Р.А. Материалы и технология восстановления прочности и герметичности железобетонных башенных сооружений путем их пропитки полимерными материалами. 2014. URL: www.silor-sprut.ru

2. Кондрашов Г.М. Современные методы защиты железобетонных конструкций от коррозии с использованием электрофизического эффекта // Научный журнал «Фундаментальные исследования». 2008. №9.

3. Кузьменков М., Хотянович О. Флюатирование – эффективный способ повышения эксплуатационных свойств бетона // Строительная наука и техника. №4 (37). 2011.

4. Дедков В.И. Повышение долговечности забивных железобетонных свай в агрессивных грунтовых средах. Дисс. ... к.т.н. Уфа. 2005. 202 с.

5. Искандеров Р.А. Антикоррозионные покрытия-смазки и мастики на основе низкомолекулярного полиэтилена. Дисс. ... к.т.н. Казань. 2002. 165 с.

6. Рекомендации по низкотемпературной пропитке железобетонных свай и фундаментов полимерными материалами. М.: НИИЖБ, 1983. 13 с.

7. Павлова И.Л., Игольников А.К. Способы защиты бетонных и железобетонных конструкций от действия агрессивных сред // Повышение надежности и безопасности транспортных сооружений и коммуникаций: сб. тр. I Междунар. науч.-практ. конф.: в 2 т. / под ред. Н.Е. Кокодовой, Э.Ю. Шмагиной, А.В. Панкратовой. Саратов: Издательский Дом «Райт-Экспо», 2015. Т.2. 308 с. С. 213-217.

УДК 666.3.056:[658.567.1:622.7]

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОТХОДОВ ОБОГАЩЕНИЯ МАРГАНЦЕВЫХ РУД НА ОБЪЕМНОЕ ОКРАШИВАНИЕ КЕРАМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Ахст Д.В., Дружинин М.С., Столбоушкин А.Ю.

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»,
г. Новокузнецк, e-mail: daniel_axt@mail.ru

Аннотация. Представлены результаты исследований по объемному окрашиванию керамических образцов на примере новокузнецкого суглинка и марганецсодержащих добавок. Приведены химический и гранулометрический составы сырьевых материалов. Определено влияние различных красящих добавок на изменение окраски в зависимости от их количества в составе шихты. Установлена зависимость физико-механических свойств керамических образцов от содержания отходов обогащения марганцевых руд.

Ключевые слова: керамический образец, объемное окрашивание, полусухое прессование, техногенные отходы, марганецсодержащая добавка.

Дорожная карта развития отечественной отрасли строительных материалов наравне с интенсификацией производства за счет автоматизации и информатизации технологических процессов [1] направлена на расширение сырьевой базы путем использования нетрадиционных видов сырья [2]. Эта необходимость продиктована как сокращением и выработкой природных сырьевых ресурсов, так и накоплением огромных «запасов» техногенных отходов на территории промышленных регионов России, исчисляемых сотнями миллионов тонн [3].

В условиях отказа от многоуровневой типизации былых времен современная городская архитектура нацелена на строительство объектов сложной конфигурации [4]. Возросший в данной связи спрос на мелкоштучные стеновые материалы способствует развитию производства высококачественного облицовочного и декоративного кирпича и, прежде всего, керамического [5].

Традиционным способом получения «цветных» керамических изделий является объемное окрашивание керамики. Для этого в шихту вводятся различные минеральные добавки и оксиды металлов, таких как Fe_2O_3 , MnO_2 , TiO_2 , V_2O_5 и др. [6]. Обычно для этих целей производители кирпича используют дорогостоящие зарубежные красители. По мнению авторов, их альтернативная замена на отходы производства позволит не только снизить значительные затраты на импорт окрашивающих добавок, но и улучшить экологическую обстановку промышленных регионов, что является актуальной задачей [7].

Цель исследования заключалась в изучении влияния отходов обогащения марганцевых руд на структурное окрашивание керамических изделий.

В качестве керамического сырья использовался новокузнецкий суглинок, относящийся к полукислотному, умеренно пластичному, легкоплавкому глинистому сырью каолинит-монтмориллонит-гидрофлюидного типа с низким содержанием крупнозернистых включений и высоким содержанием красящих оксидов ($Fe_2O_3 + TiO_2 = 5,76\%$). В роли окрашивающих добавок выступали перманганат калия ($KMnO_4$) и отходы обогащения марганцевых руд (ОМР) Селезеньского месторождения Кемеровской обл.

Химический и гранулометрический составы ОМР и новокузнецкого суглинка представлены соответственно в таблице 1, 2.

Ранее были проведены исследования по объемному окрашиванию на примере образцов, приготовленных по пластической технологии, которые дали неудовлетворительные результаты по равномерному распределению $KMnO_4$ с учетом его малого количества в составе шихты (0,5-2,5%).

Таблица 1 – Химический состав сырьевых материалов на абсолютно сухое вещество

Сырьевой компонент	Массовая доля компонентов, %										
	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MnO_2	V_2O_5	SO_3	MgO	CaO	R_2O	ППП
Суглинок новокузнецкий	62,85	0,85	14,17	4,91	-	-	0,45	2,38	4,44	3,8	5,4
Отходы обогащения марганцевых руд	12,65	9,52	-	-	8,77	14,24	-	5,40	2,14	-	-

Таблица 2 – Гранулометрический состав сырьевых материалов

Сырьевой компонент	Содержание фракций в %, размер частиц в мм				
	>0,06	0,06-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	<0,001
Суглинок новокузнецкий	-	2,6	62,15	4,18	28,17
Отходы обогащения марганцевых руд	41,71	36,71	7,5	12,73	1,35

В настоящей работе при постановке эксперимента и формовании образцов была использована технология полусухого прессования с традиционной сушильно-помольной подготовкой пресс-порошка. С учетом количества сырьевых добавок были изготовлены две серии образцов, соответственно, с перманганатом калия и отходами обогащения марганцевых руд.

Для приготовления первой серии образцов-цилиндров диаметром 45 мм и высотой 40-50 мм глинистое сырье высушивалось в сушильном шкафу до остаточной влажности 2-3 % и измельчалось на лабораторных бегунах до полного прохождения через сито № 063. Измельченный суглинок тщательно перемешивался с перманганатом калия ($KMnO_4$) в количестве 0,5; 2,0; 5,0 мас. %. Далее смесь увлажнялась и для выравнивания влажности и гомогенизации пресс-порошка перетиралась через проволочное сито с размером ячейки 1,2 мм. Фактическая формовочная влажность приготовленных масс составляла 9-11 %.

Образцы прессовались на лабораторном гидравлическом прессе при давлении 15 МПа. Режим прессования двухступенчатый с односторонним приложением нагрузки. Обжиг производился в лабораторной муфельной печи при температуре 1000 °С.

Внешний вид первой серии керамических образцов представлены на рисунке 1.

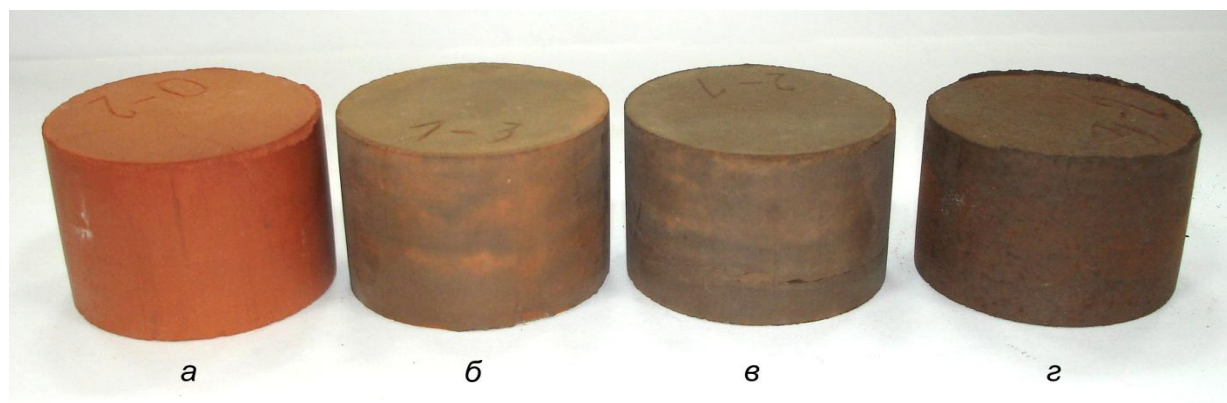


Рисунок 1 – Изменение окраски керамических образцов полусухого прессования в зависимости от количества перманганата калия ($KMnO_4$) в составе шихты, мас. %:
 а – без добавки; б – 0,5; в – 2,0; з – 5,0

По сравнению с контрольным образцом кирпично-красного цвета (рисунок 1, а) образцы с добавкой $KMnO_4$ имеют выраженное изменение окраски от светло- до темно-коричневого цвета (рисунок 1, б-г), причем действие окрашивающего эффекта проявляется уже при введении перманганата калия в количестве 0,5 мас. %.

При детальном изучении объемного окрашивания можно отметить наличие муаровых разводов и пятен на поверхности изделий. Также наблюдается различие цвета на поверхности и внутри образцов (более красный оттенок), что свидетельствует о неравномерном распределении красящего пигмента в шихте и влиянии газовой среды на протекание окислительных процессов при обжиге. Очевидно, что при незначительном количестве (до 1,5 мас. %) добиться его равномерного распределения в концентрированных глиняных порошках без специального смесительного оборудования весьма проблематично.

При увеличении процентного содержания добавки $KMnO_4$ (более 2 мас. %) визуально наблюдается отсутствие разводов и пятен, при этом возрастает насыщенность и цветового тона.

Физико-механические свойства первой серии образцов приведены в таблице 3 и на рисунке 2.

Таблица 3 – Физико-механические свойства керамических образцов полусухого прессования при различном содержании перманганата калия

Содержание $KMnO_4$, мас. %	Воздушная усадка, %	Огневая усадка, %	Средняя плотность, $кг/м^3$	Прочность при сжатии, МПа	Водопоглощение, %	ККК
0	3,0	1,1	1871	44,6	13,9	23,8
0,5	2,8	0,7	1895	40,8	14,7	21,5
2	3,4	0,9	1865	40,6	17,1	21,8
5	3,3	1,0	1890	38,6	21,8	20,0

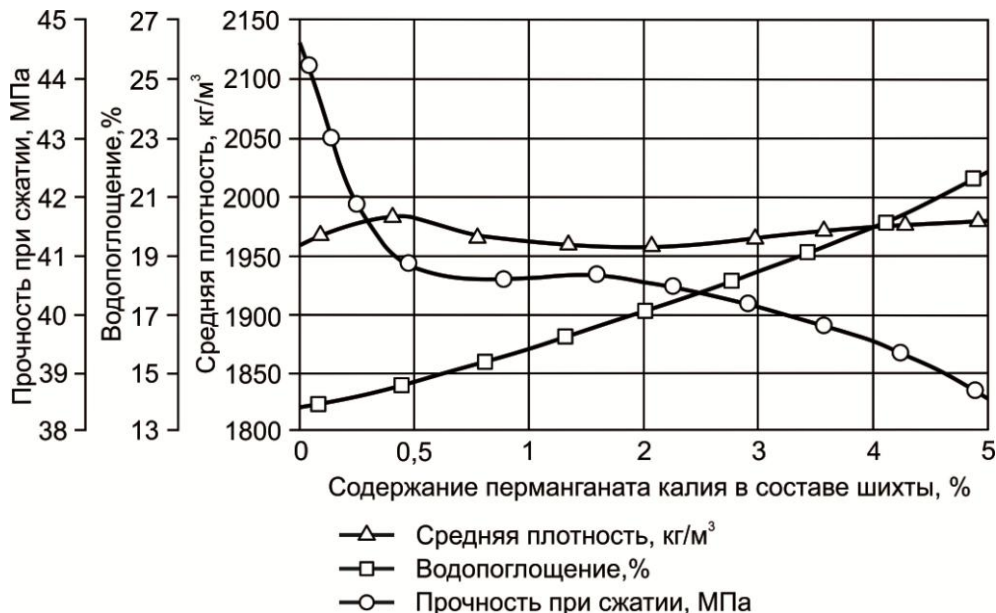


Рисунок 2 – Зависимость физико-механических свойств керамических образцов на основе новокузнецкого суглинка от количества окрашивающей добавки перманганата калия

Исследование зависимости физико-механических свойств от количества окрашивающего компонента в составе шихты показало, что увеличение содержания оксида марганца снижает прочность при сжатии и увеличивает водопоглощение керамических образцов, при этом, заметное ухудшение их эксплуатационных свойств наступает при содержании $KMnO_4$ более 4 %.

Вторая серия образцов готовилась аналогичным образом. Для приготовления кра-

сящего компонента отходы обогащения марганцевых руд измельчались в стержневой мельнице до прохождения через сито с размером ячейки 1,2 мм. Окрашивающая добавка ОМР вводилась в состав шихты в количестве 2, 5 и 10 % по массе. Фактическая влажность приготовленных составов пресс-порошка менялась от 9 до 10 %. Прессование, сушка и обжиг образцов осуществлялись по параметрам и режимам, аналогичным первой серии образцов. Внешний вид керамических образцов из глинистого сырья с отходами ОМР представлен на рисунке 3.

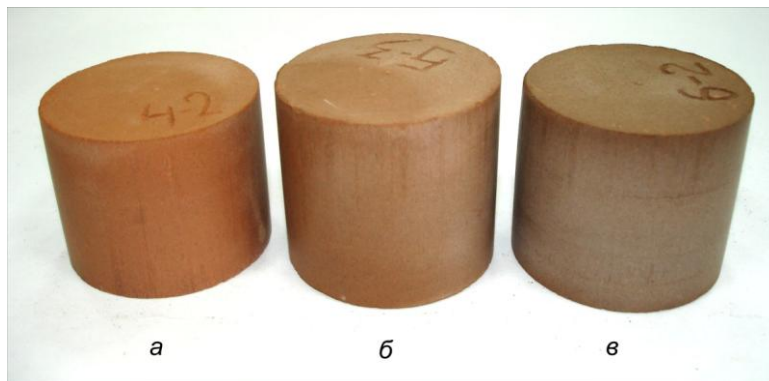


Рисунок 3 – Изменение окраски керамических образцов полусухого прессования в зависимости от количества отходов обогащения марганцевых руд в составе шихты, мас. %: а – 2; б – 5; в – 10

Физико-механические свойства образцов с добавкой ОМР приведены в таблице 4 и на рисунке 4.

Таблица 4 – Физико-механические свойства керамических образцов полусухого прессования при различном содержании отходов обогащения марганцевых руд

Содержание ОМР, мас. %	Воздушная усадка, %	Огневая усадка, %	Средняя плотность, кг/м ³	Прочность при сжатии, МПа	Водопоглощение, %	ККК
2	1,3	0,8	1831	28,7	11,7	21,5
5	1,2	0,6	1844	26,6	14,2	21,8
10	0,9	0,6	1846	22,5	16,0	20,0

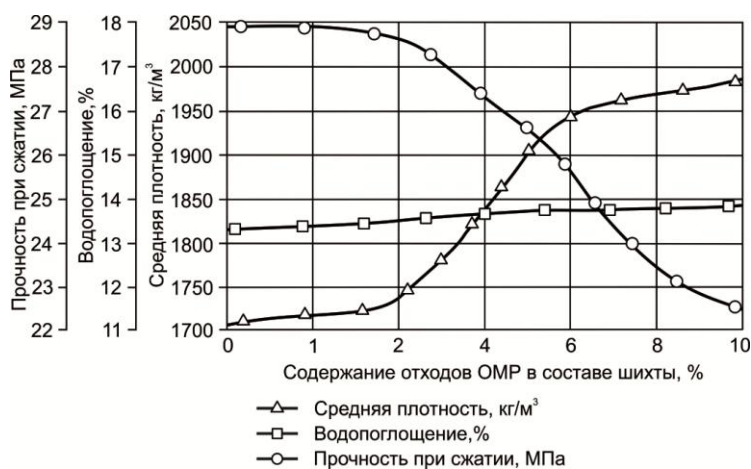


Рисунок 4 – Зависимость физико-механических свойств керамических образцов на основе новокузнецкого суглинка от количества отходов обогащения марганцевых руд

Как видно из рисунка 3, введение тонкомолотой добавки отходов обогащения мар-

ганцевых руд приводит к изменению цветовой окраски в сторону красно-коричневой области спектра. По сравнению с добавкой перманганата калия интенсивность действия ОМР менее выражена и дает осязаемый красящий эффект при ее содержании в шихте 5-10 % по массе. Это связано с тем, что перманганат калия содержит большее количество четырехвалентного оксида марганца, являющегося известным пигментом для окрашивания керамики. Однако при добавлении 10 % отходов происходит снижение эксплуатационных характеристик материала (порядка 25% падения прочности), поэтому дальнейшее увеличение количества ОМР не целесообразно, так как приведет к неприемлемому ухудшению физико-механических свойств керамики.

Оптимизация красящего и структурирующего действия добавки отходов обогащения марганцевых руд для получения наилучших результатов требует проведения дальнейших исследований. На наш взгляд, наращивание интенсивности окраски может осуществляться за счет разработки новых подходов при массоподготовке и формировании структуры объемноокрашенных изделий.

Выводы по результатам исследования:

- добавка отходов обогащения марганцевых руд в глинистое сырье в количестве 2-10 мас. % окрашивает керамические образцы в различные оттенки красно-коричневого цвета от светлых до темных тонов;

- выявлено отрицательное влияние этих отходов на физико-механические свойства керамических изделий, которое выражается в снижении прочности и увеличении водопоглощения, что косвенно свидетельствует о нарушении механизма спекания глинистых минералов при обжиге;

- установлено оптимальное содержание отходов обогащения марганцевых руд в составе шихты в количестве 5-10 мас. % при использовании «классической» технологии полусухого прессования керамического кирпича;

- использование промышленных отходов в качестве окрашивающих добавок требует разработки новых способов и составов для производства стеновой керамики.

Библиографический список

1. Сухарев, О.А. Инновации в кирпичном производстве. Автоматизация технологических процессов сушки и обжига керамического кирпича / О.А. Сухарев // Строительные материалы. – 2011. – № 4. – С. 18–19.

2. Павлов, В.Ф. Способ вовлечения в производство строительных материалов промышленных отходов / В.Ф. Павлов // Строительные материалы. – 2003. – № 8. – С. 28–29.

3. Storozhenko, G. Ceramic bricks from industrial waste / G. Storozhenko, A. Stolboushkin // Ceramic & Sakhteman. Seasonal magazine of Ceramic & Building. – Teheran, Iran. – 2010, Winter. – No 5. – Pp. 2–6.

4. Столбоушкин, А.Ю. Комплексная застройка при проектировании и строительстве биосферносовместимых городов из керамических материалов на основе техногенного сырья / А.Ю. Столбоушкин, А.И. Иванов, К.В. Алюнина, В.А. Сыромясов // Биосферносовместимые города и поселения: материалы Международной научно-практической конференции. – Брянск: БГИТА, 2012. – С. 97–102.

5. Альперович, И. А. Лицевой керамический кирпич объемного окрашивания в современной архитектуре / И.А. Альперович, А.В. Смирнов. // Строительные материалы. – 1990. № 12. – С. 4–6.

6. Столбоушкин, А.Ю. Улучшение декоративных свойств стеновых керамических материалов на основе техногенного и природного сырья / А.Ю. Столбоушкин. // Строительные материалы. – 2013. – № 8. – С. 24–32.

7. Дружинин, С.В. Использование техногенных отходов в качестве минеральных добавок для объемного окрашивания керамического черепка / С.В. Дружинин, А.Ю. Столбоушкин, А.И. Иванов. – Пенза : Приволжский дом знаний, 2008. – 220 с.

ФОРМИРОВАНИЕ ЯЧЕИСТОЙ СТРУКТУРЫ КЕРАМИКИ С УПОРЯДОЧЕННЫМ КАРКАСОМ ИЗ МАКРОПОР, ИМЕЮЩИХ СТЕКЛОКРИСТАЛЛИЧЕСКУЮ ОБОЛОЧКУ

Иванов А.И., Столбоушкин А.Ю., Злобин В.И.

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»,
г. Новокузнецк, Россия, ivanovaliv1989@gmail.com

Аннотация. Представлены результаты исследования ячеистой структуры эффективного керамического кирпича на основе гранулированного пеностеклокристаллического материала и природного кремнистого сырья. Установлено, что в результате обжига происходит расплавление гранул заполнителя, и при охлаждении расплава на месте гранул образуется полая стеклокристаллическая оболочка, обеспечивающая формирование замкнутых, водонепроницаемых пор размером преимущественно 0,5-2 мм. Приведены результаты фазового анализа полученных стеновых керамических материалов.

Ключевые слова: кремнеземистые породы, гранулированный пеностеклокристаллический материал, опудривание гранул, стеклокристаллическая оболочка, ячеистая структура, теплоэффективный керамический кирпич.

Производство долговечных стеновых керамических материалов с повышенными теплоизоляционными характеристиками является одним из приоритетных направлений развития строительных технологий в XXI веке [1]. Поэтому, для возведения однослойных наружных стен с учетом современных нормативных требований по теплозащите актуально использование материалов, относящихся к группам изделий повышенной и высокой эффективности со средней плотностью менее 1000 кг/м³.

В настоящее время производители кирпича все чаще сталкиваются с необходимостью использования тощего малопластичного сырья, требующего введения значительного количества пластичной глины в состав шихты [2]. Как показали исследования, исключение ввода добавок при производстве керамических изделий из мало- и умеренно пластичных суглинков и кремнистых пород возможно за счет направленного формирования рациональной упорядоченной структуры уже на стадиях массоподготовки и прессования сырья [3, 4].

Исходя из вышеизложенного, очевидно, по мнению авторов, одной из лучших перспектив здесь может быть создание пространственно организованной ячеистой структуры кирпича. Для решения этой задачи авторами был разработан новый способ изготовления теплоэффективных стеновых керамических изделий на основе нетрадиционного низкокачественного природного сырья с пространственно организованной ячеистой структурой [5].

Целью настоящей работы являлось изучение особенностей формирования ячеистой структуры керамики с упорядоченным каркасом из макропор, имеющих стеклокристаллическую оболочку.

Реализация возможности получения эффективных стеновых керамических материалов с ячеистой структурой была проведена на примере гранулированного пеностекла и природного кремнистого сырья. В работе использовался гранулированный пеностеклокристаллический теплозвукоизоляционный материал (ГПСКМ) «Кервуд» производства ООО «Баскей Керамик» (г. Челябинск) из кремнистых пород Потанинского месторождения (Челябинская область). ГПСКМ представляет собой пористый стеклокристаллический материал, стенки пор которого остеклованы и водонепроницаемы. Гранулометрический состав 0,63-2,5 мм, насыпная плотность 260 кг/м³. Минеральный состав представлен в основном рентгеноаморфной фазой, кварцем и полевым шпатом [6]. Химический состав приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав сырьевых материалов

Наименование сырья	Массовая доля компонентов в % на абсолютно сухую навеску								
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MnO	TiO_2	MgO	CaO	R_2O	ппп
ГПСКМ «Кервуд	78,43	7,81	4,45	-	0,45	0,75	0,22	7,89	-
Потанинский трепел	81,16	8,52	4,64	-	0,43	0,75	1,45	2,23	7,5

В качестве добавки, используемой для формирования каркаса ячеистой структуры керамических изделий, был выбран трепел Потанинского месторождения, который является тонкопористой умереннопластичной опаловой осадочной породой и состоит из мелких сферических опаловых телец (глобул) размером 0,01-0,001 мм. По химическому составу (таблица 1) сырье кислое с высоким содержанием красящих оксидов.

При планировании и проведении исследований была разработана модель формирования структуры кирпича-сырца из увлажненного ГПСКМ, опудренного природным силикатным тонкодисперсным материалом (рисунок 1). На начальном этапе компрессионного формования сырца происходит переорганизация и сближение гранул. Далее при нарастании прессового давления происходит удаление воздуха из межгранульного пространства и одновременно необратимая пластическая деформация опудривающего слоя, в результате которой создается непрерывный каркас. Установлено, что при оптимальном давлении прессования в процессе уплотнения сырца гранулы ГПСКМ не деформируются и не разрушаются.

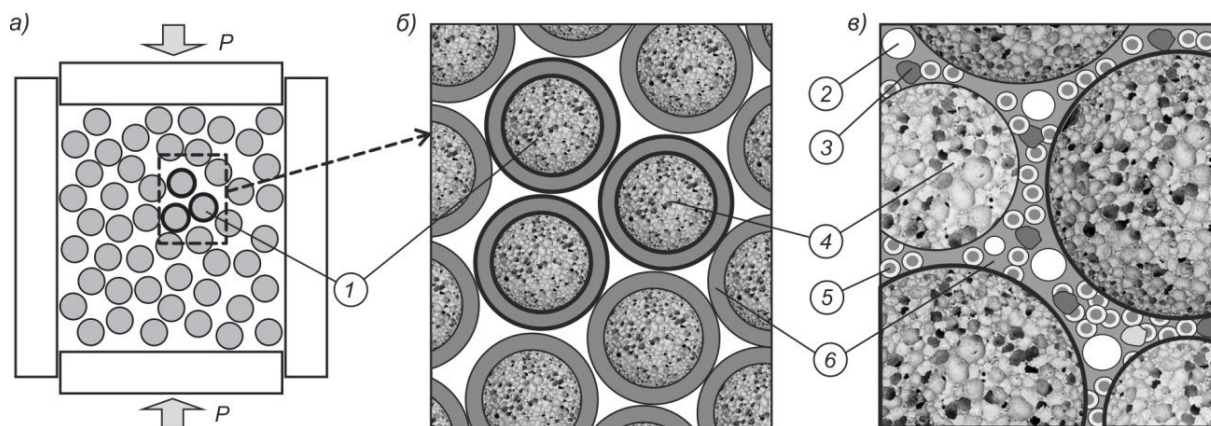


Рисунок 1 – Модель формирования ячеистой структуры кирпича-сырца: *а* – схема компрессионного формования; *б* – опудренные гранулы из пеностекла до формования; *в* – структура сырца после формования: 1- гранулированный пресс-порошок, 2 – поры, 3 – неглинистые минералы, 4 – пеностеклокристаллическая структура гранул, 5 – коллоидная фракция глинистых минералов, 6 – опудривающий слой из тонкодисперсного силикатного сырья

Керамическая шихта оптимизированного состава готовилась способом грануляции с опудриванием [4]. Состав шихты (мас. %): ГПСКМ – 70, трепел потанинский – 30. Изучение ячеистой структуры полученных керамических композиционных материалов проводилось на лабораторных образцах и керамическом кирпиче, выпущенном в условиях Бердского (Новосибирская область) кирпичного завода, которые показали высокие эксплуатационные характеристики (средняя плотность менее 1000 кг/м^3 , морозостойкость более 50 циклов, предел прочности при изгибе более 4 МПа). Полученные физико-механические свойства керамического материала обычно нехарактерны для изделий полусухого прессования.

На рисунке 2 показана макроструктура эффективного керамического кирпича, обожженного при $900 \text{ }^\circ\text{C}$. При наблюдении поперечного разреза кирпича можно отметить развитую поровую текстуру материала. На макроуровне отмечается равномерное распределение пор округлой формы в твердой фазе керамического черепка, сформированной

при обжиге из опудривающего слоя трепела по поверхности гранул. Наличие системы из пространственно-организованного каркаса и макропор с преимущественными размерами 0,5-2 мм обеспечивает ячеистую структуру полученного керамического матричного композита.

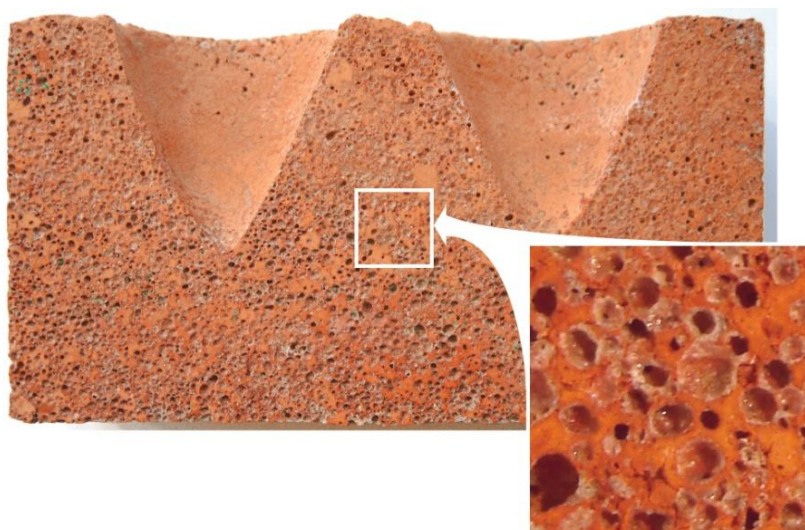


Рисунок 2 – Ячеистая структура на изломе керамического кирпича из ГПСКМ и трепела

Петрографическое исследование микроструктуры керамики (рисунок 3) показало особенности строения микро- и макропор. Поровые ячейки в основном округлой формы состоят из газовой фазы, при этом практически отсутствует частичное или полное заполнение их внутреннего пространства веществом из аморфной или кристаллической фаз. На границе раздела между твердой и газовой средой (рисунок 3, в, г) можно отметить выраженный оплавленный слой, имеющий стеклокристаллическое строение (рисунок 3, г).

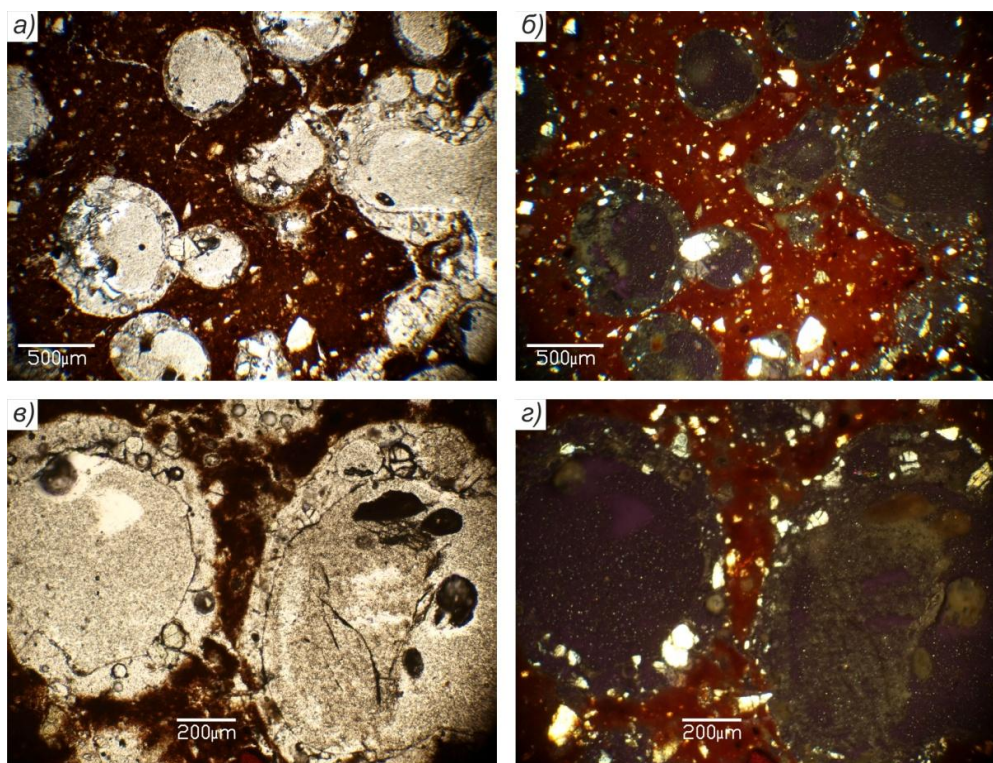


Рисунок 3 – Петрография ячеистой структуры керамического черепка на основе трепела Потанинского месторождения с использованием ГПСКМ: увеличение $\times 5$ николи II (а), николи \times (б); увеличение $\times 10$ николи II (в), николи \times (г)

Более детальное изучение строения пор под сканирующим электронным микроскопом (рисунок 4) выявило, что по сечению пор на поверхности их внутреннего пространства практически повсеместно наблюдается образование монолитного слоя толщиной 30-100 мкм (рисунок 4, б, в), представляющего собой цельную сферическую водонепроницаемую оболочку. При большем увеличении на СЭМ-микрофотографиях также отмечается ее стеклокристаллическая структура (рисунок 4, г).

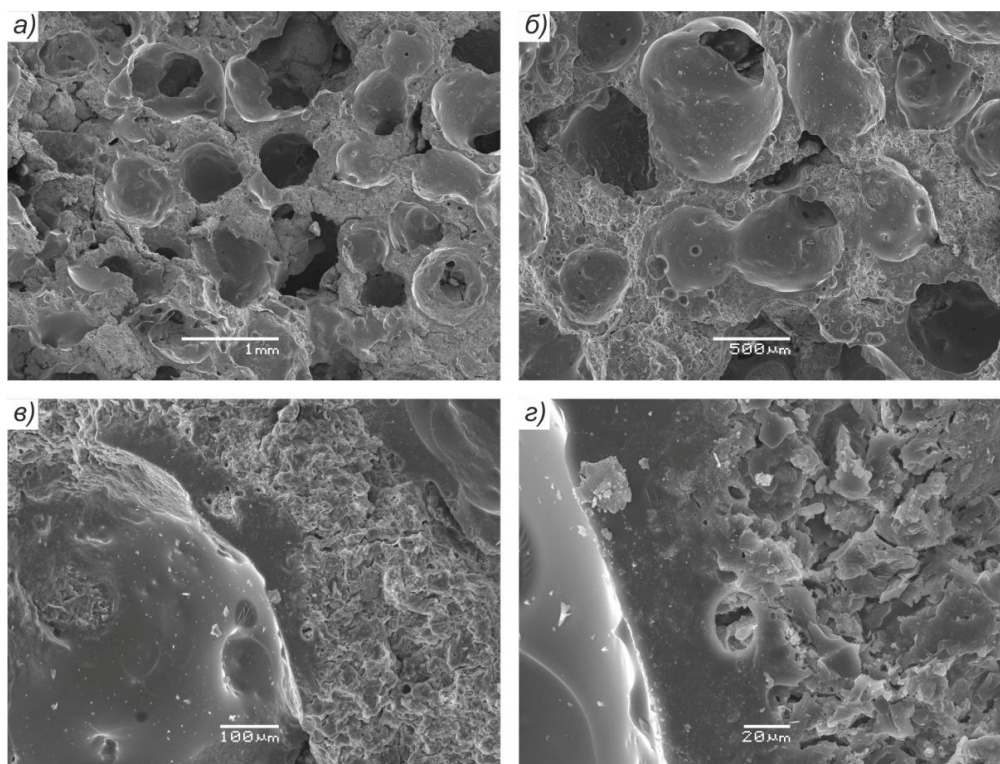


Рисунок 4 – СЭМ микрофотографии ячеистой структуры керамического черепка на основе трепела Потанинского месторождения с использованием ГПСКМ

Структура ячеистой керамики, полученной путем компрессионного формования и обжига увлажненных ГПСКМ, опудренных природным силикатным тонкодисперсным материалом, согласуется с разработанной моделью (рисунок 1). Особенности структуры можно объяснить тем, что в процессе обжига при температуре 850-900°C внутреннее вещество пеностеклокристаллических гранул переходит в пиропластичное состояние и образовавшаяся из него жидкая фаза выстилает внутреннюю поверхность макропоры, образовавшейся на месте гранулы за счет сил парциального давления нагретой газовой фазы и поверхностного натяжения образовавшейся жидкой фазы внутри гранулы. В результате при охлаждении расплава на месте гранул образуется стеклокристаллическая оболочка, обеспечивающая формирование замкнутых, водонепроницаемых пор и равномерно распределенную ячеистую структуру керамики.

Исследования минерального фазового состава методами петрографии и рентгеновской дифрактометрии (рисунок 3, 5) показали, что в аморфной остеклованной массе внутренней поверхности пор находятся оплавленные и частично растворенные обломки исходных реликтовых минералов кварца и полевого шпата, а также минеральные новообразования, синтезированные в процессе обжига из твердой фазы ГПСКМ и трепела.

Данные порошковых рентгенограмм (рисунок 5) показали наличие в керамическом кирпиче следующих основных минеральных фаз: кварца, гематита, полевого шпата. Выраженное рентгеноаморфное гало свидетельствует о значительном количестве стеклофазы, что также согласуется с вышеприведенными результатами исследования.

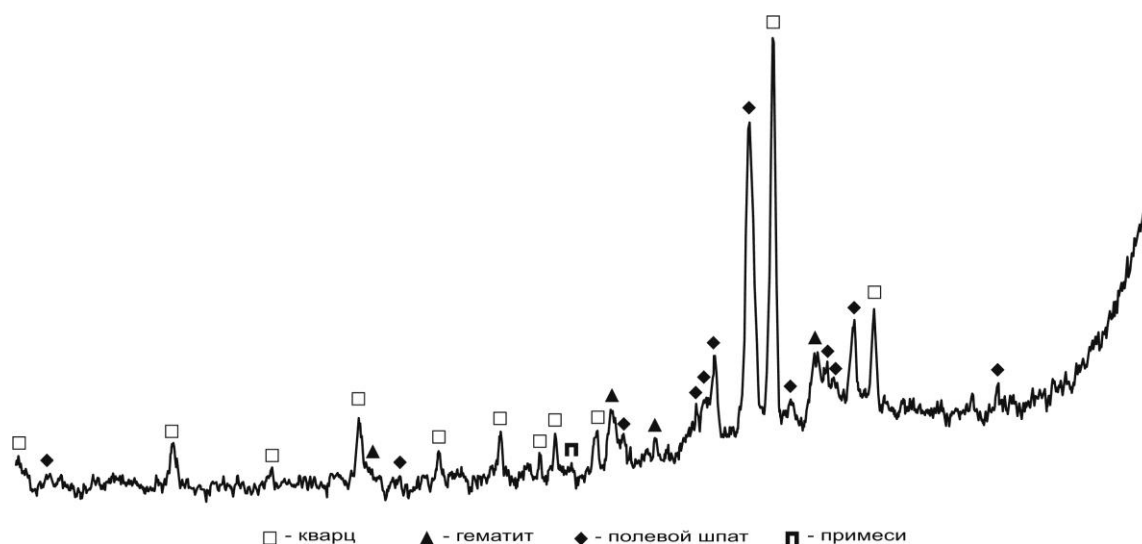


Рисунок 5 – Рентгеновская дифрактограмма эффективного керамического кирпича на основе ГПСМК и трепела

Выводы по результатам проведенных исследований:

- установлено, что внутренняя поверхность пор, сформированная из расплава ГПСМК, представлена аморфной фазой с частично растворенными в ней и оплавленными обломками реликтового кварца и полевого шпата;

- полученные по разработанному способу керамические стеновые материалы ячеистой структуры соответствуют требованиям ГОСТ 530-2012 «Кирпич и камень керамические. Общие технические условия» для марки М150 и относятся по теплотехническим характеристикам к классу изделий повышенной эффективности.

Библиографический список

1. Ашмарин, Г.Д. Состояние и перспективы развития производственной базы керамических стеновых материалов в России / Г.Д. Ашмарин // Строительные материалы. – 2006. – № 8. – С. 6.
2. Шлегель, И.Ф. Проблемы полусухого прессования кирпича / И.Ф. Шлегель // Строительные материалы. – 2005. – № 2. – С.18–19.
3. Иванов, А.И. Принципы создания оптимальной структуры керамического кирпича полусухого прессования / А.И. Иванов, А.Ю. Столбоушкин, Г.И. Стороженко // Строительные материалы. – 2015. – №4. – С. 65–69.
4. Столбоушкин, А.Ю. Рациональные способы массоподготовки сырья в технологии стеновой керамики компрессионного формования / А.Ю. Столбоушкин, Г.И. Стороженко, А.И. Иванов, В.А. Сыромясов, Д.В. Акст // Строительные материалы. – 2016. – № 04. – С. 26–30.
5. Патент № 2593832 Российская Федерация, МПК С1 С 04 В 33/13. Способ изготовления стеновых керамических изделий / А.И. Иванов, А.Ю. Столбоушкин, Г.И. Стороженко; опубл. 10.08.2016, Бюл. № 22.
6. Никитин, А.И. Теплоизоляционные материалы и изделия на основе трепелов Потанинского место рождения / А.И. Никитин, Г.И. Стороженко, Л.К. Казанцева, В.И. Верещагин // Строительные материалы. – 2014. – № 8. – С. 34–37

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ С ЦЕЛЬЮ УСТАНОВЛЕНИЯ ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ МИКРОСФЕР ПЛАЗМЕННЫМ МЕТОДОМ

Шеховцов В.В., Волокитин Г.Г., Скрипникова Н.К., Волокитин О.Г., Гафаров Р.Е.

*Томский государственный архитектурно-строительный университет
г. Томск, Россия, volokitin_oleg@mail.ru, shehovcov2010@yandex.ru, GreexRayne@gmail.com*

Аннотация. В данной работе излагаются результаты исследований получения микросфер из агломерированных порошков на основе золы Экибастузских углей в высокотемпературном потоке плазмы. Разработан экспериментальный стенд по получению микросфер из агломерированных порошков. С точки зрения размера и формы, полученные микросферы имеют сферическую форму с диаметром от 30 до 150 мкм. Более мелкие частицы в основном прозрачные, в то время как более крупные частицы непрозрачные и имеют различные оттенки.

Ключевые слова: золошлаковые отходы, низкотемпературная плазма, микросферы, агломерированные порошки.

Уровень переработки твердых отходов на тепловых электростанциях на сегодняшний день крайне низкий, что приводит к значительному накоплению золошлаковых отходов в золоотвалах. Главной проблемой при утилизации золошлаковых отходов является высокая температура плавления (1600 - 1700°C), зависящая на прямую от крайне неоднородного химического состава. Одним из наиболее важных компонентов в золоотвалах являются микросферы, которые образуются при сжигании углей в печах. Микросфера представляет собой мелкодисперсный порошок фракцией 5-500 мкм, с химическим составом SiO₂ (51-70%), Al₂O₃ (18-40%), относящийся к группе алюмосиликатных материалов. Уникальные свойства микросфер на основе золы определяют целесообразность использования их в качестве основы для получения легких теплоизоляционных и других строительных материалов [1-3].

Цель настоящей работы: изучение возможности получения микросфер на основе золы с использованием энергии низкотемпературной плазмы. Морфология частиц определяется свойствами исходного сырья (дисперсионный, химический состав), и электрофизическими характеристиками плазменного генератора [4]. В связи с неоднородным химическим составом золы необходимо провести ряд предварительных преобразований для получения микросфер с заданными характеристиками.

В экспериментальной работе использовалась зола Экибастузских углей. Химический состав золы характеризуется высоким содержанием алюмосиликатов, оксидов железа, кремния, кальция и магния, следовательно, имеет высокую температуру плавления (1700 °C) [5]. Дисперсный состав сухой золы приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Дисперсный состав сухой золы Экибастутского угля

Дисперсионный состав золы (массовая доля фракций диаметром менее)				
2,5 мкм	5,0 мкм	10,0 мкм	20,0 мкм	40,0 мкм
0,5	3,0	15,0	50,0	85,0

Рентгенофлуоресцентный анализ (РФА) проводили с помощью спектрометра Филипс PW1480, позволяющий определить любые корреляции между составом исследуемого сырья. Результаты рентгенофлуоресцентного анализа сведены в таблице 2, в которой все элементы представлены относительно кремнезема. Это делает результаты более надежными и точными.

На основе данных химического состава исследуемого сырья на трехкомпонентную систему, была найдена фигуративная точка (рисунок 1), которая расположена в элементарном треугольнике S – CaS₂ – Al₃S₂.

Таблица 2 – Элементный состав сухой золы экибастутского угля

Химические элементы, мас. %						
Si/Al	Si/Fe	Si/Ca	Si/Na	Si/Na	Si/Mg	Si/п.п.п.
2.779142	7.86024	19.41188	39.17294	84.92563	108.4221	14.4141

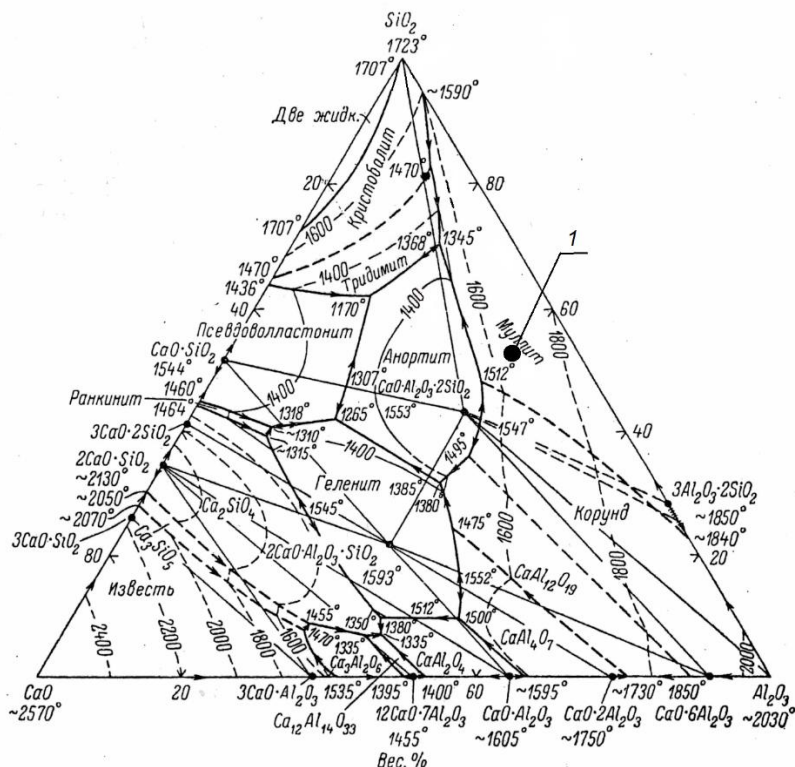


Рисунок 1 – Диаграмма состояния системы CaO–Al₂O₃–SiO₂: 1 – зола.

Исследуемое сырье (зола) находится на участке диаграммы состояния системы CaO – Al₂O₃ – SiO₂, примыкающем к стороне SiO₂ – Al₂O₃ и располагается в элементарном треугольнике S – CaS₂ – Al₂O₃, в поле кристаллизации муллита. То есть при охлаждении расплава, начиная с температуры 1640 °С выпадают кристаллы муллита. Путь кристаллизации идет по полю кристаллизации – по продолжению прямой Al₂O₃ – 2 и Al₂O₃ – 3 соответственно. Начиная с температуры 1540 °С, совместно выпадают кристаллы муллита и анортита. В точке тройной эвтектики выпадут кристаллы кварцевых соединений, и кристаллизация при 1345 °С полностью закончится. То есть при нагревании сырьевых материалов до температуры 1345 °С появляется жидкая фаза за счет плавления тройной эвтектики. Далее с повышением температуры расплавляются кварцевые соединения и постепенно плавятся кристаллы алюмосиликатов. В отмеченной точке 1 путь плавления заканчивается – все кристаллы расплавятся.

Следующий этап работы включает в себя подготовку исследуемого сырья (рисунок 2). На первом этапе приготавливается порошковая смесь на основе золы с добавлением 5 мас. % газовой сажи. На втором этапе производится помол порошковой смеси в планетарной шаровой мельнице со скоростью 600 об/мин в течении 10 минут до фракции 1-2 мкм. Целью помола является достижение равномерного распределения частиц сажи по всему объему смеси. На третьем этапе выполняется грануляция приготовленной порошковой смеси. Грануляция выполняется на тарельчатом грануляторе, в качестве связующего используется водный раствор поливинилового спирта (ПВС), который распыляется на поверхность приготовленной порошковой смеси. Отношения массы раствора к массе порошка – 3:7. Размер полученных гранул составляет 20-100 мкм.



Рисунок 2 – Блок-схема процесса подготовки исследуемого сырья для получения микросфер.

Условием формирования полый части в микросфере является, соответствие давления газа образовавшегося при нагреве, силам поверхностного натяжения на границе «расплав-газ». Таким образом, при попадании агломерированной частицы в высокотемпературный поток плазмы можно наблюдать одновременно два эффекта: переход частицы в вязкотекучее состояние при нагревании; параллельное выделение пара и образование полости внутри частицы. В силу этого размер образующихся частиц, будет определяться достигнутой вязкостью агломерированной частицы и количеством выделяемого газа при нагреве.

Обработка приготовленного агломерированного порошка производилась на электроплазменном стенде для получения микросфер и микрошариков (рисунок 3). Стенд включает в себя плазменный генератор 1, анодный узел и камеру для сбора 7 полученного продукта. Анодный узел состоит из сменной графитовой трубки 3, медного водоохлаждаемого контура 4 и регулируемого соленоида 5. Камера для сбора 7 готового продукта выполнена в виде заполненного водой отсека. Подача сырья в область формирования плазменной струи осуществляется из порошкового дозатора 6 по магистралям к инжекторам 2. Установка инжекторов 2 осуществлена под срез сопла плазменного генератора 1.

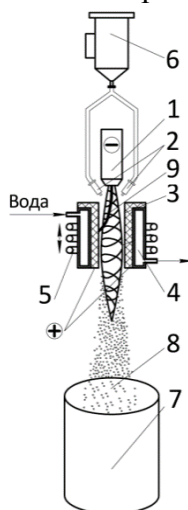


Рисунок 3 – Электроплазменный стенд для получения микросфер и микрошариков:

- 1 - плазменный генератор; 2 - инжектора; 3 - полая графитовая трубка (анод);
- 4 - водоохлаждаемый контур; 5 - регулируемый соленоид; 6 - порошковый дозатор;
- 7 - отсек для сбора; 8 - обработанные частицы; 9 - плазменная струя.

На рисунке 4 представлены микрофотографии полученных микросфер на которых видно наличие частиц различных цветов и размеров с диаметрами, варьирующимися от 30 мкм до 150 мкм, что является наиболее распространенным диапазоном размеров для микросфер. Большинство частиц имеют сферическую форму, остальные имеют непра-

вильную и искаженную форму. Кроме того, некоторые частицы полностью прозрачны (особенно малого размера). Цвет может меняться от белого до желтого или коричневого. Различные цвета зависят от таких микроэлементов, как Fe, Ti или Cu [6]. Прозрачные частицы, явно полые внутри, но в случае непрозрачных частиц это обусловлено количеством захваченной, так называемой полый области (выделения газа при нагреве).

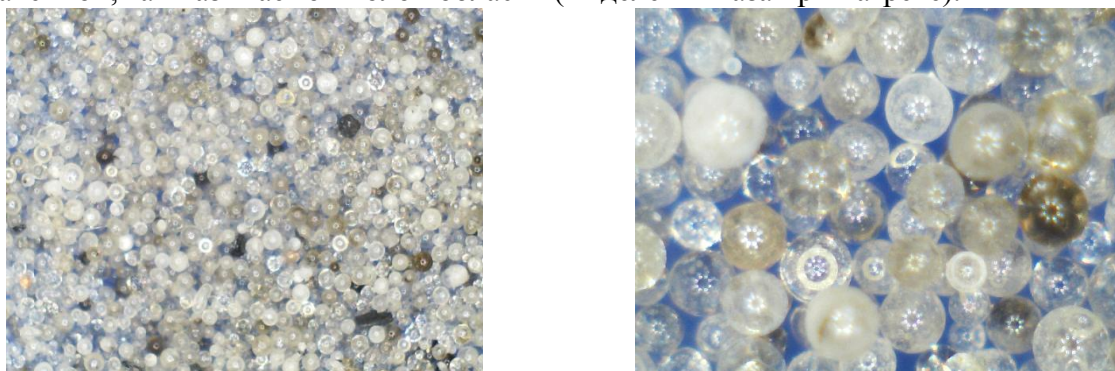


Рисунок 4 – Микрофотография полученных микросфер.

Установлена возможность получения микросфер из агломерированных порошков на основе золы Экибастузских углей в высокотемпературном потоке плазмы. Разработан экспериментальный стенд по получению микросфер из агломерированных порошков. С точки зрения размера и формы, полученные микросферы представляют собой сферическую форму с диаметром примерно от 30 до 150 мкм. Более мелкие частицы в основном прозрачные, в то время как более крупные частицы непрозрачные и имеют различные оттенки.

Библиографический список

1. Iordanidis A. Fly ash–airborne particles from Ptolemais–Kozani area, northern Greece, as determined by ESEM-EDX. / Iordanidis A., Buckmanb J., Triantafyllou A.G., Asvesta A. // *International Journal of Coal Geology* (2008) V. 73 pp. 63–73.
2. Bajukov O.A. Composition of ferrosphenel phase and magnetic properties of microspheres and cenospheres from fly ashes. / Bajukov O.A., Anshits N.N., Petrov M.I., Balaev A.D., Anshits A.G. // *Materials Chemistry and Physics* (2009) V. 114 pp. 495–503.
3. Wang D. Conversion of fly ash cenospheres to hollow microspheres with zeolite/mullite composite shells. / Wang D., Zhang Y., Dong A., Tang Y., Wang Y., Xia J., Ren N. // *Adv. Funct. Mater.* (2003) V. 13 (7) pp. 563–567.
4. Zhukov A.S. Evaluation of the morphology of particles produced by plasma-chemical synthesis of ceramic powders. / Zhukov A.S., Arkhipov V.A., Bondarchuk S.S., Gol'din V.D. // *Russian Journal of Physical Chemistry* (2013) V. 7 (6) pp. 777–782.
5. Volokitin O.G. Mineral fiber production based on ash from the republic of Kazakhstan using low-temperature plasma apparatus, / Volokitin O.G., Volokitin G.G., Skripnikova N.K. // *Steklo Keram.*, No. 9, 31 – 34 (2013).
6. Vassilev SV Phase-mineral and chemical composition of coal fly ashes as a basis for their multicomponent utilization. / Vassilev SV, Menendez R, Diaz-Somoano M, Martinez-Tarazona MR. // *Characterization of ceramic cenosphere and salt concentrates. Fuel* 2004;83:585–603.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ИЗ МЕСТНОГО СЫРЬЯ И ОТХОДОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРОИЗВОДСТВ КЫРГЫЗСТАНА

Касымова М.Т.

*Кыргызско-Российский Славянский университет имени Б.Н. Ельцина,
г. Бишкек, Кыргызстан, kasymova_mariam@mail.ru*

Аннотация. *Статья посвящена исследованию влияния добавки волластонита месторождения Кара-Корум (Кыргызстан) на физико-технические свойства керамического черепка. Приводятся теоретические расчетные критерии оценки сырья и композиций с волластонитовой породой, а также физико-механические свойства неавтоклавного фиброгазобетона, и исследования водостойкости и сроков схватывания гипсовых композиций, модифицированных химическими добавками.*

Ключевые слова: *волластонит, керамический черепок, сроки схватывания, гипсовые композиции, неавтоклавный фиброгазобетон.*

Нами в течение ряда лет проводятся исследования по разработке составов новых видов строительных материалов из местного сырья и отходов промышленных производств. В частности нами проведены исследования по использованию волластонита как перспективного вида сырья для керамической промышленности. Интерес к волластониту обусловлен его игольчатой структурой. Игольчатая форма зерна волластонита определяет его основное направление использования в качестве армирующего наполнителя. Объектом исследования являются волластонитовое сырье Кыргызстана месторождения Кара-Корум. Цель работы заключается в исследовании волластонитовых пород, которые рекомендуются для производства керамического кирпича для действующих кирпичных заводов Кыргызстана. Низкое качество используемых суглинков влечет за собой в технологии производства керамических изделий низкое качество полученных изделий. Физико-технические свойства керамических изделий при введении добавки волластонитовой породы будут значительно превосходить показатели исследованных образцов эталонных.

Для расчета фазового состава исходного глинистого сырья и композиций с добавкой волластонитовой породы использована методика расчета критериев оценки сырья и композиций составов, предложенная в работе Касымовой М.Т. [1, 7].

Экспериментальные исследования физико-механических свойств керамического черепка проводились при температурах обжига 950°C, 1000°C и 1050°C. Определение микроструктуры образцов были выполнены для оптимальных составов керамического черепка с добавкой волластонитовой породы и с гумусом.

Расчеты критериев оценки исходного сырья и с добавками волластонитовой породы приводятся с целью акцентирования внимания на природу химико-минералогического состава глинистых суглинков, используемых на действующих кирпичных заводах, и описания процессов фазообразования при разных температурах обжига. Так как используемые суглинки по минералогическому составу в большей степени относятся к группе запеченного каолинового и частично гидрослюдистого сырья, находящиеся примесные оксиды, содержащиеся в разных процентных соотношениях, будут также влиять на процессы спекания керамического черепка, и в том числе при добавлении волластонитовой руды.

В таблице 1 приведены расчеты критериев оценки сырья выполненные нами по данным химического состава исходных глин. Отношение критерия $Al_2O_3 : SiO_2$ было предложено А.И. Августиником [2] для описания процессов фазообразования керамических материалов при обжиге и в известной мере рассматриваемый диаграммой состояния двойной системы $Al_2O_3 - SiO_2$. Содержание силикатной, железистой и активных фаз в исследуемых суглинках рассчитывалось по химическому составу оксидов входящих в химический состав суглинков.

Таблица 1 – Содержание силикатной, железистой и активных фаз в исследуемых суглинках

Наименование суглинков месторождений Кыргызстана	Отношение $Al_2O_3 : SiO_2$ по А.И. Августинику	Содержание силикатной фазы $CaO+MgO/SiO_2$	Содержание железистой фазы FeO/SiO_2	Содержание активных фаз $Ka = \frac{(CaO+MgO+FeO)\%}{SiO_2\%}$
Без волластонита				
Ивановка	0,246	0,294	0,097	0,391
Ош	0,222	0,319	0,096	0,415
Токмок	0,257	0,206	0,081	0,284
Баш-Карасуу	0,243	0,232	0,082	0,315
Кара-Кече	0,35	0,017	0,027	0,044
5% волластонита				
Ивановка	0,236	0,315	0,093	0,408
Ош	0,213	0,340	0,092	0,432
Токмок	0,247	0,195	0,078	0,274
Баш-Карасуу	0,233	0,256	0,079	0,335
Кара-Кече	0,336	0,047	0,026	0,073
10% волластонита				
Ивановка	0,225	0,335	0,089	0,424
Ош	0,203	0,360	0,087	0,447
Токмок	0,238	0,185	0,075	0,260
Баш-Карасуу	0,223	0,279	0,076	0,355
Кара-Кече	0,322	0,077	0,026	0,103
15% волластонита				
Ивановка	0,214	0,356	0,084	0,440
Ош	0,193	0,380	0,083	0,463
Токмок	0,228	0,175	0,072	0,247
Баш-Карасуу	0,212	0,302	0,072	0,374
Кара-Кече	0,308	0,108	0,025	0,133

Известно, что в результате обжига керамического черепка из суглинков подобных исследованных нами формируется полиминеральная структура керамического черепка, которая определяет фазовый состав, строение структуры и свойства. Сначала образуются кристаллические β -кварц и гематит и рентгеноаморфные метакаолинит и стеклофаза. Стеклофаза образуется из расплава и выполняет роль связки, обеспечивающей формирование конгломерата, обуславливающего прочность керамического кирпича. При повышенном содержании кальцита в глинах при взаимодействии с метакаолинитом образуются кальцийсодержащие кристаллические фазы – геленит или анортит.

Вторым направлением исследований являлась разработка составов и сырья для теплоизоляционных материалов и гипсовых штукатурных смесей.

В условиях климата Кыргызстана производство эффективных теплоизоляционных материалов играет важную роль. Одним из основополагающих свойств теплоизоляционных материалов является пористость, которая определяет величину коэффициента теплопроводности. Газобетон относится к высокопористым материалам. Непосредственно в технологии газобетонных изделий формирование пористой структуры материала происходит на стадии формования, которая является весьма ответственной технологической операцией. Свойства исходных сырьевых материалов, применяемых в производстве неавтоклавногазобетона, влияют на его физико-механические показатели. На стадии формования одним из факторов формирующих пористую структуру бетона является температура воды затворения [3, 5, 8].

Многими исследователями было изучено влияние температуры воды затворения на свойства газобетона и процессы массопереноса в фибропенобетонах. Экспериментально доказано, что при понижении температуры воды затворения от $+20 \pm 2^\circ$ до $+4 \pm 2^\circ$ С уменьшение потребности в пенообразователе для получения равноплотных смесей со-

ставляет 20-30%. Также было выявлено влияние температуры воды на набор пластической прочности, сорбционную влажность и водопоглощение фибропенобетона.

Нами проведены исследования, направленные на изучение влияния температуры воды на физико-механические свойства неавтоклавнога фиброгазобетона. Для изучения свойств фиброгазобетона были изготовлены образцы балочки размерами 40×40×160 мм. В качестве наполнителей использованы песок Ивановского месторождения, зола Бишкекской ТЭЦ и порошкообразные отходы от производства облицовочных плит из известняка ракушечника месторождения «Сары-Таш».

В качестве вяжущего использованы Кантский портландцемент М400 и Курментинская известь. В качестве добавок использованы: суперпластификатор Melment L10/33, каустическая сода, гипс, жидкое стекло и стекловолокно. Добавки вводились с водой затворения в процентном отношении от содержания цемента. Поризация смеси производилась за счет введения газообразующей добавки алюминиевой пудры ПАП-2. Температура воды варьировалась в интервалах 20°С, 40°С, 60°С.

В таблицах 2 и 3 показаны физико-механические свойства фиброгазобетонов.

Таблица 2 – Составы композиций фиброгазобетона (наполнитель песок, зола)

№ п/п	Соотношение компонентов ячеистобетонной смеси, % по массе												
	t °С	Алюминиевая пудра	В/Т	Ц	Известь	Сода	Гипс	Жидкое стекло	Песок	Зола	Расплав, см	γ, г/см ³	Рсж, Мпа
1	20	0,08	0,59	0,48	0,1	0,75	0,03	0,02	18,1	18,1	27	0,647	1
2	20	0,08	0,59	0,48	0,1	0,75	0,03	0,02	18,1	18,1	27	0,604	0,9
3	20	0,08	0,59	0,48	0,1	0,75	0,03	0,02	18,1	18,1	27	0,587	0,9
4	40	0,08	0,59	0,48	0,1	0,75	0,03	0,02	18,1	18,1	29	0,630	0,8
5	40	0,08	0,59	0,48	0,1	0,75	0,03	0,02	18,1	18,1	29	0,622	0,9
6	40	0,08	0,59	0,48	0,1	0,75	0,03	0,02	18,1	18,1	29	0,606	0,8
7	60	0,08	0,59	0,48	0,1	0,75	0,03	0,02	18,1	18,1	29	0,683	1,1
8	60	0,08	0,59	0,48	0,1	0,75	0,03	0,02	18,1	18,1	29	0,680	1,1
9	60	0,08	0,59	0,48	0,1	0,75	0,03	0,02	18,1	18,1	29	0,664	1,1

В результате экспериментов установлено влияние температуры воды затворения на водопотребность бетонной смеси. При повышении температуры водопотребность уменьшается, раствор получается более жидкий. Если при температуре 20° расплав по вискозиметру Сутгарда равен 27см, то при 60° - равен 29см. Показатель средней плотности меняется в зависимости от температуры.

Таблица 3 – Составы композиций фиброгазобетона (наполнитель известняк ракушечник)

№ п/п	Соотношение компонентов ячеистобетонной смеси, % по массе									
	t °С	Алюминиевая пудра	В/Т	Ц	Известняк	Сода	Melment, %	Расплав, см	γ, г/см ³	Рсж, Мпа
1	20	0,08	0,40	0,5	0,49	0,75	0,8	24	0,874	2,1
2	20	0,08	0,40	0,5	0,49	0,75	0,8	24	0,855	2,0
3	40	0,08	0,42	0,5	0,49	0,75	0,8	25	0,811	1,6
4	40	0,08	0,42	0,5	0,49	0,75	0,8	25	0,818	1,62
5	60	0,08	0,42	0,5	0,49	0,75	0,8	27	0,787	1,2
6	60	0,08	0,42	0,5	0,49	0,75	0,8	27	0,782	1,22

Эксперименты показали, что высокая температура оказывает каталитическое действие на процесс газообразования. С увеличением температуры плотность уменьшается. При 20°С получаем плотности в пределах 0,855 г/см³ - 0,874 г/см³. При максимальной температуре плотность уменьшается до 0,782 г/см³.

Прочность в обоих составах также меняется при различных температурах. В первом составе с песком и золой с увеличением температуры воды прочность на сжатие уменьшается с одновременным уменьшением плотности. Максимальная прочность на

сжатие равно 1,1 МПа при плотности 0,680 г/см³ и 0,683 г/см³. Во втором составе с известняком ракушечником прочность и плотность возрастает с уменьшением температуры воды. Максимальная прочность на сжатие равна 2,1 МПа при плотности 0,874 г/см³.

Таким образом, эксперименты показали влияние температуры воды затвердения на физико-механические свойства ячеистого бетона. В результате было установлено, что для получения легкого фиброгазобетона с золой и песком оптимальная температура воды должна быть в пределах 20°C. Для фибробетона с известняком ракушечником вода должна иметь температуру выше 40°C. Полученные составы по прочности и плотности отвечают требованиям стандарта на неавтоклавный газобетон.

На сегодняшний день материалы и изделия на основе гипсовых вяжущих веществ активно вытесняют составы на основе цемента из рынка строительных материалов. К положительным свойствам гипсовых материалов относятся их пожаробезопасность, достаточную прочность и твердость затвердевшего материала, сравнительно низкую теплопроводность и хорошую звукоизолирующую способность, высокую паропроницаемость, высокую огнестойкость и экологическую чистоту.

Отрицательные свойства гипсовых смесей, к которым относятся низкая водостойкость и низкие показатели сроков схватывания, сокращают возможности применения их в строительстве.

Строительный гипс является быстротвердеющим вяжущим веществом. Сроки схватывания гипса зависят от свойств сырья, технологии изготовления, длительности хранения, водопотребности и др. Повышение температуры способствует ускорению схватывания, а понижение замедлению. Сроки схватывания можно изменить введением различных добавок, ускоряющих схватывание или замедляющих этот процесс. К замедлителям схватывания относятся лимонная и винная кислоты и их соли.

Многие исследователи занимались подбором составов и исследованием свойств различных композиционных гипсовых вяжущих с применением в качестве исходных компонентов различных видов активных минеральных добавок на основе природного сырья и отходов промышленности и пластифицирующих добавок.

В данной работе приведены результаты подбора составов сухих гипсовых смесей с применением воздухововлекающей добавки Micro Air 200 и модифицирующих добавок суперпластификаторов Melment L10/33, Rheobuild 1000K, Rheobuild 181K, Glenium 111 немецкой химической компании BASF. Ранее в наших работах [3, 4, 6, 9] были исследованы прочностные свойства вышеперечисленных составов гипсовых смесей.

В составе гипсовых смесей в качестве вяжущего вещества был использован строительный гипс Джалал-Абадского завода Кыргызской Республики. В нашей работе в качестве замедлителя схватывания также использовалась лимонная кислота в количестве 0,04% от массы гипсового вяжущего. Данная дозировка замедлителя позволяет получать высокие показатели прочности гипсовых составов, а сроки их схватывания отвечают требованиям ГОСТ 31377-2008.

Физико-механические показатели гипсовых композиций исследовались на стандартных образцах-балочках размерами 40×40×160 мм. Водогипсовые отношения данных составов подбирались для достижения нормальной густоты смеси, равной 16-18 см. После 7 суточного твердения в нормальных температурно-влажностных условиях образцы были высушены при температуре 100°C до постоянного веса и испытаны на прочность на сжатие и изгиб.

Для определения водостойкости гипсовых композиций были испытаны образцы, высушенные до постоянной массы и в водонасыщенном состоянии.

Коэффициенты размягчения гипсовых композиций приведены в таблице 4.

$R_{сж}$ и $R_{изг}$ эталонного образца равны 13,44 МПа и 4,22 МПа при водогипсовом отношении 0,6. Коэффициент размягчения эталонного состава равен 0,34, что доказывает низкую водостойкость гипсового вяжущего.

Анализируя физико-механические показатели композиций на основе гипса и до-

бавки Melment L10/33 (таблица 4) можно сказать, что наблюдается повышение прочностных показателей при уменьшении дозировки добавки. Самым высоким показателем прочности на сжатие равным 25,7 МПа обладает образец с добавкой Melment L10/33 в количестве 0,25% при водогипсовом отношении 0,4. Этот показатель в 2 раза больше прочности на сжатие эталонного образца, который равен 13,14 МПа. Коэффициент размягчения образца с добавкой 0,5% Melment равен 0,5, а при введении добавки 0,25% Melment $K_p=0,44$.

Таблица 4 – Физико-механические показатели композиций на основе гипса с модифицирующими добавками

№	Добавки	В/Г	$R_{изг}$, МПа	$R_{сж}$, МПа	Плотность γ , г/см ³	Коэффициент размягчения, K_p
1.	Без добавок (эталон)	0,6	4,22	13,14	1,2	0,34
2.	0,5% Melment L10/33+0,04% лимонная кислота	0,4	7,28	21,45	1,59	0,5
3.	0,25% Melment L10/33+0,04% лимонная кислота	0,4	8,39	25,7	1,55	0,44
4.	0,8% Rheobuild 181K+0,04% лимонная кислота	0,4	3,58	14,08	1,25	0,48
5.	0,4% Rheobuild 181K+0,04% лимонная кислота	0,4	6,41	22,6	1,5	0,52
6.	0,8% Rheobuild 1000K+0,04% лимонная кислота	0,4	10,83	27,87	1,62	0,37
7.	0,4% Rheobuild 1000K+0,04% лимонная кислота	0,4	9,98	20,4	1,49	0,46
8.	0,8% Glenium 111+0,04% лимонная кислота	0,4	11,06	16,9	1,57	0,6
9.	0,4% Glenium111+0,04% лимонная кислота	0,4	11,48	19,02	1,59	0,51
10.	0,4% Micro Air 200 +0,04% лимонная кислота	0,4	7,77	15,06	1,5	0,83
11.	0,2% Micro Air 200 +0,04% лимонная кислота	0,4	5,74	12,21	1,45	0,99

Экспериментальные данные показали что, составы, изготовленные с добавлением Rheobuild 181K в количестве 0,4% и 0,8%, имеют коэффициенты размягчения равные 0,52 и 0,48 соответственно. Образец №5 имеет высокие прочностные показатели: $R_{сж}$ равен 22,6 МПа и $R_{изг}$ равен 6,41 МПа при водогипсовом отношении 0,4.

Самым высоким показателем прочности на сжатие среди составов с добавкой Rheobuild 1000K, равным 27,87 МПа, обладает образец №6 с добавкой в количестве 0,8%. Данный образец обладает $R_{изг}$, равной 10,83 МПа, и самым высоким показателем плотности равным 1,62 г/см³. При этом коэффициент размягчения этого образца очень низкий и равен 0,37, это означает, что гипсовые композиции данного состава являются неводостойкими. $R_{сж}$ и $R_{изг}$ состава №7, содержащего добавку Rheobuild 1000K в количестве 0,4%, равны 20,4 МПа и 9,98 МПа соответственно. K_p данного состава равен 0,46.

При добавлении добавки Glenium 111 наблюдается повышение всех физико-механических показателей гипсового камня. Самым высоким показателем прочности на сжатие равным 19,02 МПа обладает образец в составе № 9, содержащий добавку Glenium 111 в количестве 0,4% при водогипсовом отношении 0,4. Показатели прочности на изгиб составов с данной добавкой оказались почти в 3 раза выше показателя прочности на изгиб эталонного образца и равны 11,06 МПа и 11,48 МПа. Коэффициенты размягчения составов с 0,4% и 0,8% добавкой равны 0,51 и 0,6 соответственно.

Анализируя физико-механические показатели композиций на основе гипса и воздуховлекающей добавки Micro Air 200 можно сказать, что данные образцы обладают самыми высокими показателями K_p . Коэффициенты размягчения составов №10 и № 11 равны 0,83 и 0,99, это означает что данные составы водостойкие. Показатели прочности на сжатие образцов с 0,2% и 0,4% добавкой Micro Air 200 равны 12,21 МПа и 15,06 МПа, это

низкие показатели по сравнению с прочностными свойствами композиций с добавками Melment L10/33, Rheobuild 1000K, Rheobuild 181K, Glenium 111.

Для определения сроков схватывания гипсового теста используют прибор Вика. Время начала схватывания характеризует продолжительность переработки растворной смеси, в течении которого смесь следует использовать по назначению. Сроки схватывания гипсового теста приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Сроки схватывания гипсового теста оптимальных составов

№	Добавки	Начало схватывания, мин	Конец схватывания, мин
1.	Без добавок (эталон)	8	12
2.	0,5% Melment L10/33+0,04% лимонная кислота	26	30
3.	0,8% Rheobuild 181K+0,04% лимонная кислота	35	45
4.	0,4% Rheobuild 1000K+0,04% лимонная кислота	34	50
5.	0,4% Glenium 111+0,04% лимонная кислота	56	68
6.	0,4% Micro Air 200 +0,04% лимонная кислота	51	60
7.	0,2% Micro Air 200 +0,04% лимонная кислота	50	59

Анализируя экспериментальные результаты исследования сроков схватывания композиций на основе гипса и химических добавок можно сказать, что требованиям ГОСТ 31377-2008 соответствует составы с добавками Glenium 111 и Micro Air 200. Начало схватывания смесей на гипсовом вяжущем должно происходить через 45 минут. Для составов с низкими показателями сроков схватывания следует увеличить дозировку замедлителя твердения.

Экспериментальные результаты наших исследований позволили сделать вывод, что образцы на основе гипса и добавки Micro Air 200 имеют высокие показатели сроков схватывания и водостойкости, но обладают низкими прочностными свойствами. Дальнейшие работы будут направлены на подбор составов гипсовых композиций с высокими показателями прочности, коэффициента размягчения и сроков схватывания.

Библиографический список

1. Касимова, М.Т. Вяжущие вещества и бетоны из техногенного и природного сырья. Методы оценки сырья, составы, свойства, технология / М.Т. Касимова // LAPLAMBERT Akademik Publishing GmbH&CO.KG. – Сарбрюкен, Германия. – 2012, 286 с.
2. Августиник, А.И. Общий курс технологии огнеупорных материалов / А.И. Августиник. – М. : ОНТИ, 1935. – 284 с.
3. Касимова, М.Т. Ячеистые бетоны и сухие гипсовые смеси из сырьевых материалов Кыргызстана / М.Т. Касимова, Н.А. Дыйканбаева, А.Т. Омурканова // Труды международной научно-практической конференции «Строительство 2013». – г. Ростов-на-Дону, 2013. – С. 40-44.
4. Касимова, М.Т. Применение добавок нового поколения для улучшения физико-механических свойств сухих гипсовых смесей / М.Т. Касимова, А.Т. Омурканова // Вестник КГУСТА. – 2014. – №3. – С. 38-42.
5. Касимова, М.Т. Температурный фактор в технологии производства фиброгазобетонов / М.Т. Касимова, Н.А. Дыйканбаева // Труды международной научно-

практической конференции «Архитектура, строительство, землеустройство и кадастры на дальнем востоке в 21 веке». – г. Комсомольск-на-Амуре, 2014. – С. 280-285.

6. Касимова, М.Т. Исследование водостойкости и сроков схватывания гипсовых композиций / М.Т. Касимова, А.Т. Омурканова // Труды международной научно-практической конференции «Архитектура, строительство, землеустройство и кадастры на дальнем востоке в 21 веке». – г. Комсомольск-на-Амуре, 2014. – С. 285-291.

7. Касимова, М.Т. Фазовый состав керамического черепка с добавкой волластонитовых пород Кара-Корум / М.Т. Касимова, А.С. Мавлянов // Труды международной научно-практической конференции «Архитектура, строительство, землеустройство и кадастры на дальнем востоке в 21 веке». – г. Комсомольск-на-Амуре, 2014. – С. 291-299.

8. Касимова, М.Т. Наполнители для неавтоклавного газобетона / М.Т. Касимова, Н.А. Дыйканбаева // Труды международной научно-практической конференции «Архитектура, строительство, землеустройство и кадастры на дальнем Востоке в 21 веке». – г. Комсомольск-на-Амуре, 2015. – С. 94-99.

9. Касимова, М.Т. Исследование свойств сухих гипсовых смесей / М.Т. Касимова, А.Т. Омурканова // Труды международной научно-практической конференции «Архитектура, строительство, землеустройство и кадастры на дальнем востоке в 21 веке». – г. Комсомольск-на-Амуре, 2015. – С. 100-104.

УДК 666

ВЫБОР ИСХОДНОГО СЫРЬЯ НА НАНОУРОВНЕ И МЕХАНИЗМ ОТВЕРДЕВАНИЯ СМЕСИ

Кучеренко А.А.

*Одесская государственная академия строительства и архитектуры,
г. Одесса, Украина, nano-aak@mail.ru*

Аннотация. *Статья посвящена методологии использования энергии межатомных связей, «спрятанную» в термодинамически устойчивом природном веществе разного фазового состава, для получения строительного материала с заданными свойствами. Искусственно активизировать эту энергию, введя её в возбуждённое состояние, и получить минеральные вяжущие вещества как более качественное исходное сырьё для бетона. По известным уравнениям и технологиям преобразовать исходное сырьё (минералы вяжущего и воду) в продукт (новообразования в виде гидроминералов). На наноуровне разработан механизм отвердевания уложенной в дело и уплотнённой строительной смеси. Изложены теоретические основы минералогенной инженерии в технологии строительного материаловедения.: По заданным термодинамическим характеристикам выбирать исходное сырьё и назначать технологические режимы создания строительного материала от нано– к макроуровню, от теории к практике. При выборе исходного сырья учтены термодинамические характеристики атомов, молекул и кристаллов. При отвердевании смеси обращено внимание на термодинамические характеристики электронов и энергию химических связей, т.е. кинетику межэлектронных, межатомных и межмолекулярных взаимодействий.*

Ключевые слова: *атом, электрон, энергия, связи, технология, материал, свойства.*

Введение. Технология строительных материалов и строительные материалы, как правило, связаны с твёрдым телом и жидкостью. Эйнштейн вывел уравнение, согласно которому любое твёрдое тело содержит в себе внутреннюю энергию, E , зависящую от его массы, m , при скорости света, $c=300\ 000\ \text{км/с}$: $E=m\cdot c^2$. Огромное количество не востребованной природной энергии горных пород (Закарпатья, Закавказья, Гималаев и др.) и воды (морей, океанов и др.), состоят из множества связанных друг с другом минералов и молекул H_2O . В них произошли определённые химические взаимодействия, обусловленные природой атомов, их количеством и строением, энергия связей которых обеспечила соответствующие физико-механические свойства. А их свойства таковы, что энергия межатомных связей (э.м.а.с.) в молекулах H_2O равна 969,3 кДж/моль [1], а межмолекулярных связей (э.м.м.с.) – около 20 кДж/моль. Тогда в 1 л воды скрытой энергии меж-

атомных и межмолекулярных связей содержится 54960 кДж. В основном минерале цемента – алите, $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$, с общей э.м.а.с. – 5239,2 кДж/моль [1], а в 1 кг содержится 22947,7 кДж. Это сопоставимо со сжиганием $54960:35845=1,53$ и $22947,7:35845=0,64$ м³ газа – метана. При этом известно, что э.м.а.с. исходного сырья (воды и минералов вяжущего) определяет свойства конечного продукта. Поэтому, всегда присутствующую в веществе, энергию химических связей (в кДж/моль) целесообразно принять за единый критерий оценки свойств исходного сырья, полуфабриката (на каждом технологическом переделе при любых режимах его переработки) и конечного продукта. Величины э.м.а.с. в процессе их преобразования, согласно химических реакций, можно найти в справочниках. Определяют их по величине энергии отрыва одного атома от другого. Методы отрыва известны: ИК-спектроскопические, кинетические, термохимические и др. [2], Проблема: научиться извлекать природную энергию, научиться управлять ею и создавать строительный материал с нужными величинами э.м.а.с., определяющих . требуемое качество.

Актуальность. Получение строительного материала с заданными свойствами и компьютерное управление этими процессами – актуальная задача. Так же актуальны и все более глубокие знания в области сознательного управления как технологическими, так и физико-химическими и химико-физическими процессами, формирующими твердое тело (например, бетон).

Цели и задачи. Цель – создать строительный материал с заданными свойствами, используя фундаментальные законы физики и химии.

Задача не только в том, чтобы энергия вещества работала на создание строительного материала с целью энергосбережения в технологии, а и извлечь её с целью изменения направления химических реакций и создания нового более качественного вещества (новообразования). Заменить слабые межатомные связи на более сильные (например, $\text{Ca}-\text{O}$ на $\text{Si}-\text{O}$), дающие новые более плотные, прочные и водостойкие образования (например, CSH вместо $\text{Ca}(\text{OH})_2$, т.е. в идеале преобразовать воздушное вяжущее в гидравлическое). Создать пространственную структуру твёрдого тела (например, введением многовалентных атомов металла, типа углерода и т.п.). По заданным термодинамическим характеристикам исходного сырья и конечного продукта обеспечить сквозное проектирование строительного материала с заданными или улучшенными свойствами.

Методы исследований. В настоящее время мировое интеллектуальное сообщество предъявляет к строительным материалам высокие требования с гарантированными свойствами, обеспечивающими длительную безотказную эксплуатацию зданий и сооружений. Ведутся разработки получения лунного бетона. Крайне актуальна утилизация химически разных отходов промышленности в области строительного материаловедения. Но методы исследований остаются прежними: от практики к теории. В основу минералогенной инженерии заложены методы исследований от теории к практике, от наноуровня к макроуровню на базе знаний фундаментальных законов химии и физики. Чётких наработок в этой области нет. Излагается методология работы исследователей в области минералогенной инженерии в промышленности строительных материалов.

Выбор исходного сырья. В природном исходном сырье (например, глинистой породе, известняке, воде и др.) электроны атомов находятся в покое (электронейтральны). Задача технолога вывести их из покоя, активизировать и придать возбуждённое состояние. Тогда атомы исходного сырья станут активными (электрозаряженными), например, вяжущими или клеящими веществами и вступят в реакцию между собой или с другими веществами. Мы уже имеем примеры получения минеральных вяжущих веществ как исходного сырья для бетона, искусственно (дроблением, обжигом, помолом) активизируя природную энергию, введя её в возбуждённое состояние.

Строительные материалы получают из разных веществ, разного строения, состава и свойств, но всегда построенных из химических веществ, простейшим из которых является атом. Атом состоит из положительно заряженного ядра и отрицательно заряженных электронов. Природа электрона характерна тем, что он в состоянии покоя имеет свойства

частицы (массу и др.), а в возбуждённом состоянии его движение напоминает волну и характеризуется длиной волны, амплитудой и частотой колебаний др. Представить себе электрон в виде материальной точки практически невозможно. Его движение по орбите можно представить не в виде линии, а в виде облака ширина которого равна амплитуде колебаний, как бы круглая вокруг атома «радуга» по траектории орбиты. Облако не имеет чётко очерченных границ. В каждом орбитальном слое электроны обладают разной энергией. Но химические свойства атомов в сильной мере определяются количеством электронов только во внешнем электронном слое атомов.

Черняевым И.И. была установлена закономерность так называемого «трансляция» – «внутримолекулярного катализа...». Суть его в том [2], что в любом кристалле, молекуле или комплексе их, состоящих из суммы разного рода атомов, один из атомов всегда более активен, чем другие. Поэтому, следуя этому понятию, в молекуле, кристалле остова твёрдого тела можно найти самый активный атом в среде других, который вступит в реакцию с аналогичным по активности атомом окружающей среды или химической добавки. Для этого по табличным данным [1,2] находим термодинамические характеристики каждого атома, входящего в состав строительного материала, а при необходимости и окружающей среды.

Выбор атомов с наименьшими величинами *потенциала ионизации, сродства к электрону и с максимальными электроотрицательностями* предпочтительно. Исходное сырьё с большим количеством таких атомов ускорит, например химический процесс отвердевания бетона, т.е. сработает как ускоритель. Это позитив при созидании строительного материала. А при эксплуатации железобетона в агрессивной окружающей среде есть свой наиболее активный атом-агрессор, который инициирует негативный коррозионный процесс. Зная этот атом в окружающей среде можно подкорректировать атомарный состав исходного сырья для строительного материала. Таким образом, выбор соответствующего атомарного состава исходного сырья определит технологию и эксплуатацию изделий и конструкций.

Количество атомов можно определить, соотношение разных атомов можно назначить, нужный атом можно выбрать. При соответствующем подборе исходного сырья, с большим или меньшим количеством того или иного вещества, можно получить строительный материал с заданными свойствами. Основные элементы, применяемые в строительном материаловедении: s-элементы H, Be, Na, Mg, K, Ca; p-элементы B, C, N, O, F, Al, Si, P, S, Cl и d-элементы Fe, Cr, Cu. Они носят названия s-, p-, d- или f-вещества, с соответствующими свойствами, которые и определяют свойства строительного материала. Учитывают, что если принять энергию связи s-вещества за единицу, то коэффициент перехода для p-вещества равен 1,7, а d-вещество сильнее в 3 раза. Выбранное вещество определит прочность бетона.

Как обеспечивается *химическая связь*? Она возникает при взаимодействии атомов. Причиной образования химической связи является стремление атомов приобрести более устойчивое состояние, т.е. состояние с минимально возможным запасом энергии. Это происходит при взаимодействии одних атомов с другими атомами. Следовательно, основным условием образования химической связи является понижение полной энергии (E) многоатомной системы по сравнению с суммарной энергией изолированных атомов, т.е.: $E_{AB} < E_A + E_B$ в случае образования молекулы АВ из атомов А и В, т.е. образование любой химической связи всегда сопровождается выделением энергии.

Природа химической связи - электростатическая, т.е. представляет собой различные виды взаимодействий между положительно заряженными ядрами и отрицательно заряженными электронами. При образовании химической связи между атомами основную роль играют валентные электроны, т.е. электроны, которые находятся на внешнем энергетическом уровне и слабо связаны с ядром атома. У них внешние энергетические уровни незавершенные, а в процессе химического взаимодействия атомы стремятся их завершить. Достигнуть такого электронного состояния атомы могут только за счет образова-

ния химической связи.

Химические связи по *кратности* могут быть одинарными, двойными и тройными. С увеличением кратности изменяются свойства связи и качество конечного продукта. Одинарные межатомные связи обладают гибкостью и потому полученный материал податлив и эластичен. Кратные (двойные и др.) связи более жёсткие и строительный материал характеризуется жёсткостью, хрупкостью, но и повышенной прочностью, так как кратные связи короче (следовательно материал плотнее) и сильнее (выше прочность строительного материала) чем одинарных.

Энергия π -связи меньше, чем энергия сигма-связи и потому π -связь менее прочная и при химических взаимодействиях с окружающей средой разрушается в первую очередь.

Длина химической связи – это расстояние между ядрами атомов в их соединениях. Чем короче связь, тем она сильнее, так как чем короче связь между атомами, тем выше плотность твёрдого тела.

По *валентности* атомов можно судить о будущей структуре продукта. 2-х валентные атомы (например, Са-содержащие и др.) дают цепочечную или плоскую структуру твёрдого тела. 3-х валентные (например, Al или Fe-содержащие) – на 2/3 дают цепочечную или плоскую структуры и на 1/3 – пространственную. 4^x валентные (например, Si-содержащие) дают пространственную структуру [4]. 6-ти и 8 [5] валентные (S-содержащие) формируют структуру строительного материала с еще большими элементами разветвленного пространства. Знание этого позволит нам выбрать нужное по качеству исходное сырьё (известняковый, кварцевый, алюминатный и др. или их комплекс) с содержанием нужных атомов а, следовательно, и. создать нужную структуру (плотную, пористую др.), обеспечивающую строительному материалу заданные свойства (например, теплопроводность, долговечность в конкретных условиях), И тогда при равной механической прочности, плоская или пространственная структуры придадут строительному материалу разные физико-механические свойства. Подобный подход особенно важен при работе с техногенным исходным сырьём, отходами промышленных предприятий, илом дноуглубления морей (Чёрного, Азовского и др.), лиманов, каналов и других водоёмов, отходами сельского хозяйства и химии.

Отвердевание смесей. Фундаментальные законы физики и химии «говорят», что в природе нет ничего, кроме электричества: плюса и минуса (*ионы*) [3]. Их взаимодействие порождает твёрдое тело, жидкую или газообразную фазы. Сила их взаимодействия определяет свойства конечного продукта. Процессы отвердевания смесей рассматриваются с точки зрения *вращения электронов вокруг ядра атома*. При химическом взаимодействии *электроны* (малые кружки) одного атома с электроном другого атома (большой кружок) образуют одну или несколько общих электронных пар, рисунок 1 (фигура 1, где одна точка - один электрон). Электронные облака трёх атомов (фигура 2) перекрываются с уплотнением в месте контактов (фигура 2, два тёмных пятна). В зоне двух тёмных пятен величина общего заряда и плотность облака повышаются. Стабилизация (уравновешивание) плотности зарядов приводит к обобществлению электронов: индивидуальные для каждого *атома* становятся общими для 3-х атомов, (фигура 3, затемнённая зона). Результатом общего (объединяющего три атома) электронного облака, рисунок1 (фигура 3, тёмная зона) стало новое вещество (молекула): плотное, жидкое или газообразное с соответствующими физико-механическими свойствами. Кроме того связь электронейтральных атомов, молекул и др. частиц между собой за счёт взаимного притяжения обеспечивается силами вандерваальса (рисунок1, фигура 4), носит название вандерваальсового взаимодействия и обозначается тремя точками (•••).

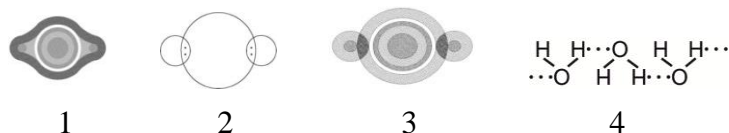


Рисунок 1 – Схема межатомных химических связей, создающих новое вещество

При сближении полученной молекулы и рядом расположенной на расстояние менее 1 нм, они превращаются в диполь, (с положительным зарядом в одной молекуле и отрицательным – в другой) силы притяжения и величина заряда обеих повышаются и электронное облако одной индивидуальной молекулы перекрывается с электронным облаком другой индивидуальной молекулы. Затем электронные облака 2-х молекул обобществляются в одно, соединительное электронное облако. Получаем твёрдое тело из двух молекул – квадруполь – в среде электронных облаков. Взаимодействие двух квадруполей дают октуполь в среде соединительных электронных облаков и т.д. до получения строительного материала заданного объёма.

Если молекулы не активны, то на близком расстоянии электронные облака положительно заряженные одной молекулы и отрицательно – другой молекулы реагируют на соседство друг друга. Из двух один заряд всегда сильнее. И от этого между электронными облаками «срабатывает эффект хамелеона», выбросившего язык и притягивающего жертву. Облака каждой, вытягиваясь больше со стороны сильного заряда притягиваются друг к другу. В точке сцепления облака перекрываются, плотность совмещённых облаков повышается, заряд увеличивается (фигура 2) и возникает обобществлённое облако (фигура 3). Это облако соединительное. Оно соединяет и удерживает внутри своего пространства все атомы двух молекул.

Коллектив физиков из Люксембурга, США и Германии предложил принципиально новый механизм образования межмолекулярного взаимодействия [4]. Исследователи рассматривают его не как взаимодействие частиц, а как связь между волнами плотности заряда (электронов), т.е. *электроны не вращаются* вокруг ядра атома. Они создают вокруг твёрдого тела (ядра атома) электромагнитные поля притяжения или отталкивания, обеспечивающие создание твёрдого тела. Плотность этих полей максимальна вблизи ядра атома и минимальна – на удалении от него. В зоне минимальной плотности происходят взаимодействия межатомных электрических и магнитных полей.

В строительном материаловедении природа исходного сырья (минералы цемента, гипса, извести и др.) – это проводники, полупроводники и диэлектрики. Проводники (Fe-, Al-содержащие минералы, жидкие растворы и др.) пропускают сквозь себя электрические заряды от заряженных тел к незаряженным. Полупроводники (Si-содержащие и др.) – это кристаллы, в которых атомы объединены ковалентной связью, а электрон может быть освобождён при энергии не более 1,5–2 эВ. Диэлектрики или изоляторы (минералы стекла, кремния и др.) – это кристаллы, электрон которых может быть освобождён при энергии более 1,5–2 эВ и не пропускают электрические заряды. В связи с этим надо учитывать разное поведение проводников, полупроводников и диэлектриков в электрических и магнитных полях и разные свойства зарядов в электрическом и магнитном полях. Не изучено их поведение в обеспечении прочности химических связей вяжущих и клеящих веществ. Это показано в наших опытах при определении зависимости между длиной связи (начала взаимодействия магнита и железа) и её силой в магнитном поле, таблица 1. Чем выше масса твёрдого тела, тем короче длина связи и сила взаимодействия проводника с зарядом.

Таблица 1 – Длина связи магнитного поля при взаимодействии спроводником (Fe)

Масса железа, г	20	40	50	100	200	400	500	600
Длина связи, мм	9,8	8,6	7,1	6,0	2,9	0,8	0,3	0,1
Сила связи, г/см ²	12,1	24,1	30,1	60,2	120,5	241	331,2	568,4

Совершенно очевидно, что процессы отвердевания строительных смесей надо рассматривать в системе «объект – среда». Если в качестве объекта рассматривать преобразующееся в ионы, и поставляющие заряды исходное сырьё, то в качестве окружающей среды – электромагнитное поле. Если в качестве объекта рассматривать твёрдую фазу исходного сырья, то в качестве окружающей среды – электрическое поле водного раствора. При этом надо понимать не буквально твёрдые вещества двух молекул соединяются друг

с другом. Практически строительный материал – это пространственная система «объект–среда» атомов (объект) в среде электронных облаков (окружающая среда). Знание этого заставляет технологов изучать природу подобных связей, сил, связывающих индивидуальные атомы в (молекулы, кристаллы, минералы, частицы), твёрдое вещество, в котором они удерживают друг друга, находясь на определённом расстоянии друг от друга. И опять же технолог обратит внимание на электрические заряды, всегда находящиеся в природе.

Затем наступает период стабилизации: возникновение усреднённых величин плотности электронных облаков и энергий межатомных и межмолекулярных химических связей, взаимодействующих молекул и между атомами внутри обобществлённого облака – т.е. обобществлённые облака создают элементный монолит твёрдого тела, будь то два и более атома, молекулы, кристалла, квадруполь, октуполь и т.п.

Однако, не ясно сколь велико это твёрдое тело. Можно представить, что размер его зависит от величины заряда электронных облаков на нём. Можно предугадать множество таких монотел. Очевидно, многие или все они соединены силами вандерваальса..и, местами, химическими связями. Возможно, что со временем вандерваальсовы связи трансформируются в химические. Если признать, что в формировании твёрдого тела определяющим является заряд, то возникает гипотеза: «Структура твёрдого тела формируется по закону постоянно убывающей энергии межатомных связей (валентности атомов): первыми синтезируются атомы максимальной валентности, затем – убывающей и последними – с минимальной энергией межатомных связей (атомы минимальной валентности, чаще Н и ОН)».

В отвердевании строительной смеси следует учитывать и гравитационное взаимодействие составляющих строительного материала. Например, в отвердевающей бетонной смеси возникающие кристаллы этtringита, $3\text{CaOAl}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$, молекулярной массы 1255,11 а.е.м. [5,6] сравнительно например с кристаллами портландита, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, (его в бетоне около 20-25%) молекулярной массы 76,1 а.е.м. ускоряют процессы седиментации, быстрее и плотнее упаковываются, изменяют вокруг себя процессы гравитационного взаимодействия соседних частиц и, в итоге, ускоряют сроки отвердевания бетона, влияют на его структуру и прочность

Молекула – нейтральная по заряду наименьшая совокупность атомов, химически связанных в определённом порядке, не имеющая неспаренных электронов. Молекула – понятие условное и им пользуются для оценки состава и количества соответствующих ионов в элементном соединении. Однако, она представляет собой устойчивую, электрически нейтральную частицу, способную к самостоятельному существованию. Энергия межмолекулярных связей обеспечивает качество и определяет технологию строительного материала.

Твёрдое тело, в большинстве, состоит из *кристаллов*, построенных из трёхмерных пространственных решёток, в узлах которых регулярно расположены атомы. Энергия кристаллической решётки – это работа, необходимая для её разрушения. Кристаллическая решётка разрушается при растворении, испарении или плавлении. Величины её свойств определяются энергией кристаллической решётки. Так, чем меньше их энергия, тем выше растворимость твёрдого тела (например, солей, минералов и др.), а чем больше, тем плотнее и прочнее строительный материал..

Выводы. На наноуровне изложены теоретические основы минералогенной инженерии в технологии строительного материаловедения на этапах выбора исходного сырья и отвердевании его смеси. Учтены все известные четыре фундаментальных взаимодействия: сильное, слабое, гравитационное и электромагнитное. При выборе исходного сырья используют термодинамические характеристики атомов, молекул и кристаллов. При отвердевании смеси учитывают термодинамические характеристики электронов и энергию химических связей, т.е. кинетику межэлектронных, межатомных и межмолекулярных взаимодействий.

Библиографический список

1. Кузнецова Т.В. Физическая химия вяжущих материалов / Т.В. Кузнецова, И.В. Кудряшов, В.В. Тимашев. – М.: Высш. шк., 1989. – 384 с.
2. Бацанов С.С. Структурная химия. Факты и зависимости / С.С. Бацанов. – М.: Диалог-МГУ, 2000. – 292 с.
3. Иоффе А.Ф. О физике и физиках Л.: Изд-во «Наука», 1985. 544 с.
4. <http://www.nkj.ru/news/28389/> (Наука и жизнь, Новое о старых силах).
5. Кучеренко А.А. Теория твердения бетона / А.А. Кучеренко Технологии бетонов. – 2009. – Ч. 2, № 6. – С. 5–7. РФ.
6. Кучеренко А.А. Структурные и термодинамические характеристики этtringита. А.А. Кучеренко // Технологии бетонов. – №9-10. 2012. – С. – .РФ.

УДК 666.3.3 – 121:[539.26:001.891.54]

ФАЗОВЫЙ СОСТАВ МИНЕРАЛЬНЫХ НОВООБРАЗОВАНИЙ НА ГРАНИЦЕ ЯДРА И МАТРИЦЫ В КЕРАМИЧЕСКОМ МАТЕРИАЛЕ МАТРИЧНОЙ СТРУКТУРЫ

Столбоушкин А.Ю., Верещагин В.И., Иванов А.И., Фомина О.А., Сыромясов В.А.

*ФГБУН «Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе» СО РАН,
г. Новосибирск, stanyr@list.ru*

*ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический
университет», г. Томск, vver@tpu.ru*

*ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»,
г. Новокузнецк, syromyasov@mail.ru*

Аннотация. Обоснована необходимость разработки новых концептуальных подходов при постановке экспериментов для изучения фазового состава и физико-химических процессов, протекающих при обжиге керамических материалов матричной структуры на основе малопластичного неспекающегося техногенного и природного сырья. Представлены результаты рентгенофазовых исследований граничного слоя между ядром и оболочкой матрицы на модельных образцах. Приведен качественный и полуквантитативный анализ новых минеральных фаз, являющихся продуктом взаимодействия при обжиге ядра из шлаковых железорудных отходов и матрицы из глинистого сырья.

Ключевые слова: керамический матричный композит, модельный образец, граничный слой, ядро и оболочка, рентгенофазовый анализ.

Одной из проблем сегодняшнего дня, сдерживающих развитие строительной индустрии, является истощение запасов традиционного природного силикатного сырья. В этой связи расширение сырьевой базы для получения изделий строительной керамики за счет использования некондиционного силикатного сырья и промышленных минеральных отходов является актуальным. Вместе с тем, медленное освоение техногенных месторождений в производстве стеновой керамики связано с недостаточной изученностью физико-химических процессов, протекающих при обжиге такого сырья [1-4].

Получение керамического кирпича с требуемыми физико-механическими характеристиками из некондиционного природного сырья и минеральных промышленных отходов требует новых подходов к процессам направленного структурообразования на стадии массоподготовки и прессования сырца. Авторами разработаны технологические принципы получения керамических материалов матричной структуры [5].

Для изучения физико-химических процессов, протекающих при обжиге на границе заполнителя из техногенных отходов и легкоплавкой глинистой оболочки в керамических матричных композитах, разработана концепция формирования на макроуровне переходных слоев, и изготовлены модельные образцы [6]. Моделирование послойного перехода между ядром и матрицей позволит управлять процессами структурообразования в компо-

зиционных материалах на основе различных видов техногенного сырья и в конечном итоге получать керамические изделия с заданными свойствами.

Цель настоящей работы заключалась в изучении фазового состава минеральных новообразований на границе между ядром и оболочкой керамического матричного композита с использованием рентгенофазового анализа макромодельных образцов.

Работа выполнена в ИТ СО РАН при поддержке Минобрнауки РФ, Соглашение № 14.607.21.0106, уникальный идентификатор RFMEF160714X0106.

Апробация предложенной модели (рисунок 1) была проведена на примере шламистых железорудных отходов Абашевской обогатительно-агломерационной фабрики (г. Новокузнецк), взятых для приготовления ядер, и умереннопластичного новокузнецкого суглинка – для оболочки ядер матричного композита.

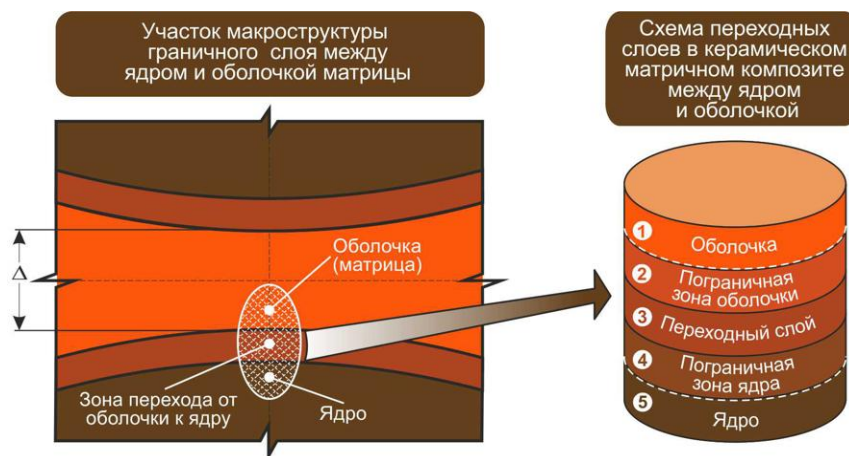


Рисунок 1 – Схема формирования переходных слоев между оболочкой и ядром матричного композита в процессе обжига при 1000 °С: 1 – оболочка; 2 – переходная зона со стороны оболочки; 3 – центральная область переходной зоны; 4 – переходная зона со стороны ядра; 5 – ядро

Железорудные отходы имеют полиминеральный состав, представленный полевыми шпатами, кварцем, слюдой, пироксеном, амфиболитами, хлоритами железистого типа с небольшим содержанием глинистых смешанослойных образований. Материал тонкодисперсный (средний размер частиц 15-18 мкм), малопластичный (число пластичности менее 4), неспекающийся с низкой чувствительностью к сушке [7].

Новокузнецкий суглинок имеет низкое содержание крупнозернистых частиц (зерен >0,5 мм менее 1 %). В соответствии с классификацией ГОСТ 9169-75 по содержанию тонкодисперсных фракций – материал низкодисперсный (количество частиц размером <0,001 мм 20-30 %, что соответствует содержанию глинистых минералов). Глинистое сырье, высокочувствительное к сушке, по минеральному составу относится к полиминеральным породам, по классификации глинистой составляющей – к монтмориллонит-гидрослюдистому типу [8]. Основным минеральным фоном глинистых фракций являются гидрослюды, непластичная часть суглинка представлена кварцем, карбонатами, полевыми шпатами, хлоритом и амфиболами (таблица 1).

Таблица 1 – Минеральный состав новокузнецкого суглинка

Наименование сырья	Преобладающие минералы	
	глинистые	остальные
новокузнецкий суглинок	гидромусковит, монтмориллонит, немного каолинита	кварц, плагиоклаз, хлорит вермикулит, К-шпат, кальцит, амфиболы

Химический состав сырьевых материалов представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Химический состав сырьевых материалов

Наименование сырья	Массовая доля компонентов, % (на абсолютно сухое вещество)											
	SiO_2	Al_2O_3	FeO	Fe_2O_3	CaO	MgO	TiO_2	MnO	R_2O	P_2O_5	SO_3	ппп
железорудные отходы	32,74	8,99	5,70	13,59	14,37	10,88	-	0,59	1,15	0,24	1,45	10,3
новокузнецкий суглинок	62,03	14,71	5,07		4,56	2,49	0,93	0,21	3,94	-	0,47	5,59

При приготовлении керамических модельных образцов, состоящих из последовательно расположенных слоев с различным процентным содержанием железорудных отходов и суглинка (рисунок 1), авторы исходили из того, что при формировании гранул из отходов с последующим «накатыванием» на их поверхность глинистой компоненты шихты, в граничной зоне оба сырьевых материала частично перемешиваются. При этом распределение обоих компонентов на границе «отходы↔глина» интегрально изменяется в общей массе от 100 до 0 мас. % и наоборот. Дифференцируя этот плавный переход на несколько зон с фиксированным соотношением компонентов, можно приближенно смоделировать границу раздела фаз (дисперсная фаза↔дисперсионная среда) в керамическом матричном композите. Отмеченный постулат лег в основу научной гипотезы при выполнении данной работы.

Предварительно количество переходных слоев менялось от 1 до 5. Экспериментально было установлено, что один-два переходных слоя дают очень грубое приближение модели к реальным условиям матричной структуры. При формовании образцов с пятью переходными слоями (общее количество слоев – 7) возникли технологические проблемы, связанные со сложностью изготовления образцов-цилиндров на обычном лабораторном оборудовании. Поэтому оптимальным, на наш взгляд, является формирование 3-х переходных слоев.

Таким образом, в настоящей работе для исследования минерального фазового состава были изготовлены образцы-цилиндры с общим количеством слоев, равным пяти (рисунок 1): 1 – оболочка; 2 – пограничная зона оболочки; 3 – переходный слой; 4 – пограничная зона ядра; 5 – ядро. Состав сырьевых смесей для приготовления слоев модельного керамического образца приведен в таблице 3.

Таблица 3 – Состав сырьевых смесей для приготовления модельных образцов

Наименование сырья	Содержание компонента в составе шихты в зависимости от номера слоя, мас. %				
	1-ый слой	2-ой слой	3-ий слой	4-ый слой	5-ый слой
железорудные отходы	-	25	50	75	100
новокузнецкий суглинок	100	75	50	25	-

В соответствии с предложенной концептуальной схемой методом полусухого прессования послойно из шихт, содержащих различное процентное соотношение сырьевых компонентов (таблица 3), при влажности 9-9,5 мас. % были отпрессованы керамические образцы-цилиндры диаметром 45 мм и высотой 45-50 мм. Модельные образцы формовались при удельном давлении прессования 15 МПа и после сушки в сушильном шкафу при 105 °С до постоянной массы обжигались в муфельной печи при максимальной температуре 1000 °С с выдержкой в течение 1 часа.

Особенность техники приготовления многослойных образцов заключалась в точном дозировании пресс-порошка каждого слоя по объему и аккуратной равномерной послойной засыпке материала в форму для получения слоев одинаковой толщины и высоты. Толщина каждого слоя составляла 9-10 мм. Также особое внимание уделялось выравниванию влажности пресс-масс каждого слоя при формировании общей многослойной формовки. Для этого измельченные сырьевые компоненты перед приготовлением пресс-

порошков высушивались до постоянной массы, рассчитывалось одинаковое количество воды для затворения приготовленных составов, и после увлажнения пресс-порошки одновременно выдерживались в эксикаторе для выравнивания влажности в течение 6 часов.

После обжига, методом малоугловой рентгеновской дифрактометрии порошков, были проведены исследования минерального состава слоев, моделирующих поэтапный переход в направлении от оболочки к ядру матричного композита. Результаты рентгенофазового анализа представлены на рисунке 2.

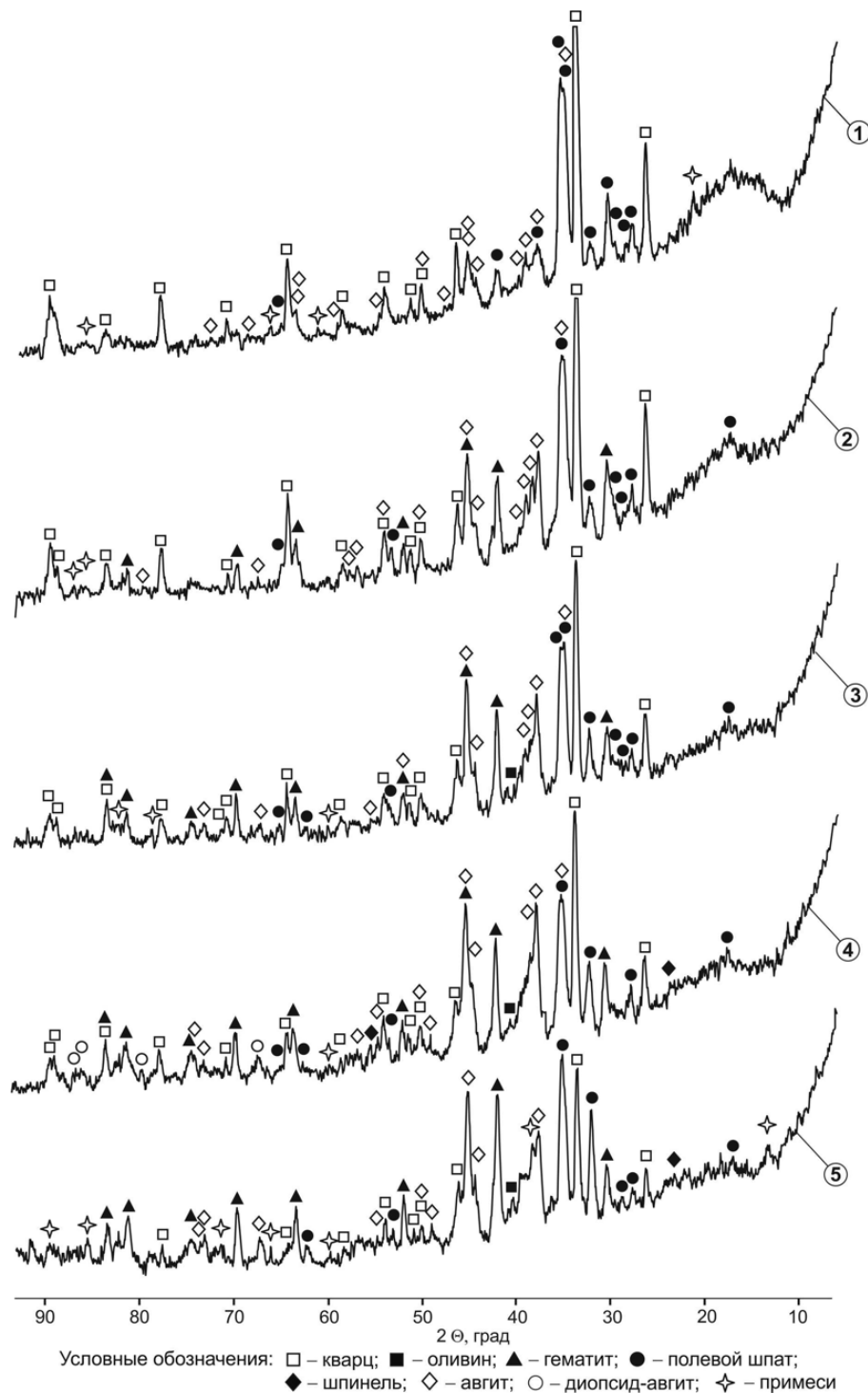


Рисунок 2 – Рентгеновские дифрактограммы слоев между оболочкой и ядром матричного композита, обожженного при 1000 °С: 1 – оболочка; 2 – переходная зона со стороны оболочки; 3 – центральная область переходной зоны; 4 – переходная зона со стороны ядра; 5 – ядро

Интенсивность и полуколичественный анализ минеральных фаз в слоях модельного образца приведены на рисунке 3.

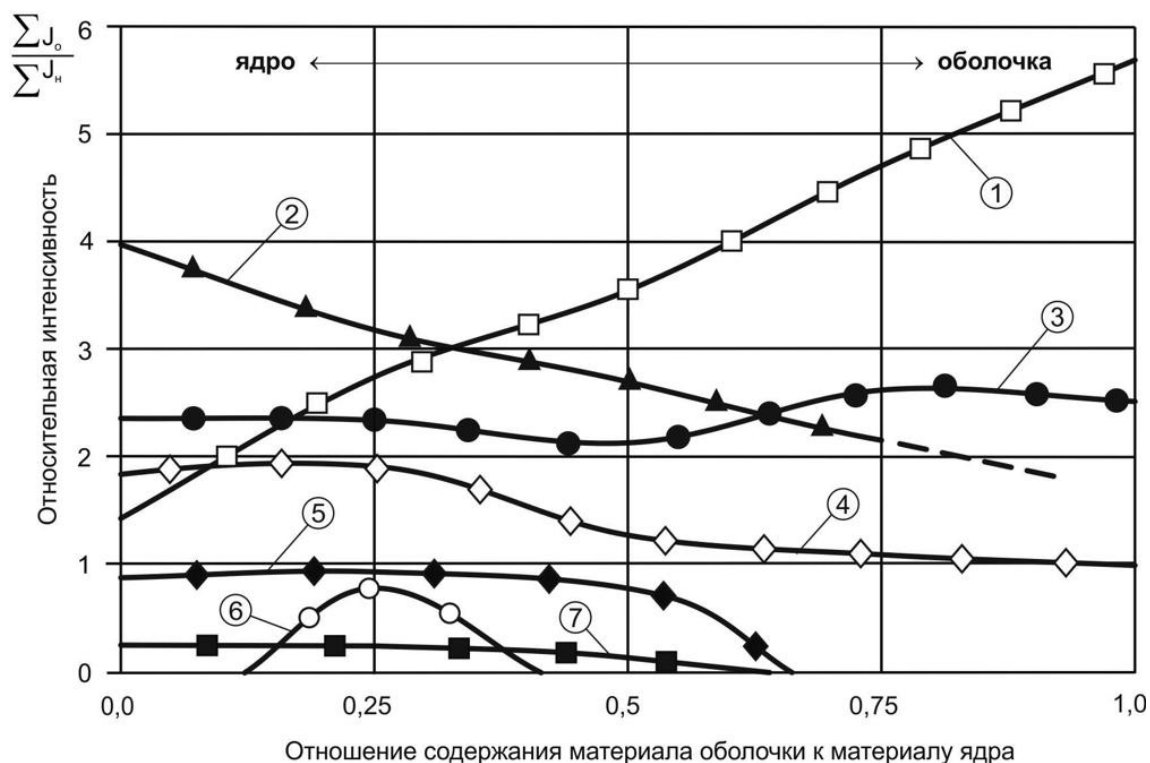


Рисунок 3 – Изменение суммарной интенсивности линий минералов при послойном переходе от ядра к оболочке керамического матричного композита, обожженного при 1000 °С: 1 – кварц; 2 – гематит; 3 – полевой шпат; 4 – авгит; 5 – шпинель; 6 – диопсид; 7 – оливин

Анализ кривых изменения интенсивности линий минеральных фаз показал, что с увеличением содержания материала оболочки к материалу ядра от 0 до 1 амплитуда кристаллического кварца возрастает, что объясняется более высоким его содержанием в суглинке. Послойное снижение интенсивности гематита по направлению к матрице обусловлено пониженным содержанием оксидов железа в глинистой компоненте по сравнению с шламистой частью отходов обогащения железных руд.

С увеличением процентного содержания суглинка в составе слоев отформованных образцов после обжига наблюдается снижение интенсивности линий шпинели и оливина и практически полное их отсутствие в слое, сформированном из одного глинистого сырья. Интенсивность линий полевого шпата остается практически неизменной от ядра к матрице керамического образца вне зависимости от исходного состава слоев.

Таким образом, основными кристаллическими фазами переходных слоев и ядра являются кварц, гематит, полевой шпат и авгит. За исключением гематита такие же минералы присутствуют в оболочке. При этом количество кварца линейно увеличивается от ядра к оболочке за счет кварцевой составляющей суглинка. В ядре в небольших количествах присутствуют шпинель и оливин, которые исчезают в слоях, близких к оболочке.

Послойная кривая интенсивности авгита свидетельствует о постепенном снижении рефлексов минеральных новообразований пироксеновой группы при движении в сторону матрицы композиционного материала.

Установленные зависимости изменения минеральных новообразований в зоне перехода от ядра к матрице свидетельствуют о взаимодействии продуктов ядра и оболочки при обжиге керамического материала матричной структуры.

Наличие одинаковых кристаллических фаз в ядре, переходных слоях и в керамической матрице (оболочке) спекшегося суглинка исключает появление термических напря-

жений на границе ядро – матричная оболочка.

Полученные экспериментальные данные совпадают с прогнозом протекания вероятных твердофазных реакций, основанным на расчетах энергии Гиббса в керамическом матричном композите из шламистых железорудных отходов и суглинка [9].

Проведенные исследования показали перспективность разработанной научной гипотезы моделирования перехода от ядра к оболочке керамического матричного композита в виде дискретных слоев с различным процентным содержанием сырьевых компонентов. По мнению авторов, оценка послойного изменения фазового состава минеральных новообразований в слоях модельных образцов позволит в комплексе с изучением их физико-механических свойств, химических и структурно-фазовых превращений при обжиге прогнозировать минимально необходимое количество глинистой компоненты в составе шихты для обеспечения требуемых эксплуатационных свойств изделий. Обобщение результатов позволит в дальнейшем разработать методику расчета состава шихты для получения керамических матричных композитов в зависимости от вида, химического, минерального составов и керамико-технологических свойств техногенного и природного сырья. Что делает перспективным продолжение научных исследований в этом направлении.

Библиографический список

1. Бурученко, А.Е. Влияние дисперсности непластичных компонентов керамических масс на спекание и свойства строительной керамики / А.Е. Бурученко, В.И. Верещагин, С.И. Мушарапова, В.К. Меньшикова // Строительные материалы. - 2015. - № 8. С. 64-67.
2. Котляр, В.Д. Кремнистые опоковидные породы Краснодарского края - перспективное сырье для стеновой керамики / В.Д. Котляр // Строительные материалы. - 2010. - № 4. - С. 34-36.
3. Гурьева, В.А. Структурно-фазовые особенности керамики на основе техногенного магнезиального сырья и низкосортных глин / В.А. Гурьева, В.В. Прокофьева // Строительные материалы. - 2014. - № 4. С. 55-57.
4. Кара-сал, Б.К. Стеновая керамика из нетрадиционных сырьевых материалов / Б.К. Кара-сал, Д.Х. Сат, Ш.В. Серен, Д.С. Монгуш // Строительные материалы. - 2016. - № 4. С. 33-36.
5. Столбоушкин А.Ю. Керамические стеновые материалы матричной структуры на основе неспекающегося малопластичного техногенного и природного сырья / А.Ю. Столбоушкин, Г.И. Бердов, В.И. Верещагин, О.А. Фомина // Строительные материалы. - 2016. - № 08. - С. 19-23.
6. Сыромясов, В.А. Приготовление лабораторных керамических образцов с послойным переходом от ядра из техногенного сырья к глиняной матрице / В.А. Сыромясов, А.Ю. Столбоушкин, А.И. Иванов, Д.В. Акст // Материалы и технологии XXI века сборник статей XIV Международной научно-технической конференции. - 2016. С. 235-239.
7. Столбоушкин, А.Ю. Технологическая оценка шламистой части отходов обогащения железных руд АОАФ как сырья для промышленности керамических строительных материалов / А.Ю. Столбоушкин, С.Ж. Сайбулатов, Г.И. Стороженко // Комплексное использование минерального сырья. - 1992. - № 10. - С. 67-72.
8. Столбоушкин, А.Ю. Необходимость и перспективы утилизации шламистых железорудных отходов Кузбасса в технологии стеновых керамических материалов / А.Ю. Столбоушкин, Г.И. Стороженко // Строительные материалы. - 2009. - № 4. С. 77-84.
9. Столбоушкин А.Ю. Прогнозирование твердофазных реакций при обжиге керамических стеновых материалов ячеистозаполненной структуры / А.Ю. Столбоушкин // Инновационные разработки и новые технологии в строительном материаловедении: Международный сборник научных трудов. - Новосибирск, 2014. - С. 57-65.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕГОРЕВШИХ ОТХОДОВ УГЛЕОБОГАЩЕНИЯ И НАПРАВЛЕНИЯ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

Панов С.А., Панова В.Ф., Горячев И.Е.

*ФГБОУ ВПО «Сибирский Государственный Индустриальный Университет»,
г. Новокузнецк, Российская Федерация, panov-kps@yandex.ru*

***Аннотация.** Исследованы горелые породы города Мыски и Байдаевского месторождения, рассмотрено их применение в промышленности строительных материалов как компонента вяжущего, как заполнителя, как активной минеральной добавки. Описана технология получения стенового блока с применением горелых пород. Рассмотрена и доказана возможность применения отходов углеобогащения в промышленности строительных материалов. Рассмотрены способы термоактивации отходов углеобогащения.*

***Ключевые слова:** техногенные продукты; горелая порода; бесклинкерный цемент, отходы углеобогащения, стеновая конструкция, мелкозернистый бетон, термоактивация.*

При добыче угля образуется так называемая «пустая» порода, которая подается отдельно и складировается в конусообразные терриконики или отвалы. Остаточный уголь в породах со временем самовозгорается и образуется обожженный сырьевой материал. Перегоревшими следует называть пустые шахтные породы, которые содержат минимальное количество углистых примесей. В Кузбассе горелые породы имеются как природные, так и искусственно образованные в конусообразных и плоских террикониках. В г. Новокузнецке – 2 терриконика примерно по 2 млн. м³, которые расположены в районе шахты «Байдаевская», около шахты «Абашевская» - около 600 тыс. м³. В г. Прокопьевске: шахта «Центральная» - примерно 600 тыс. м³, шахта «Красногорская» - приблизительно 700 тыс. м³[1]. Из терриконов горелые породы частично разобраны для подсыпки дорог, но часть сохранилась. Химический анализ этой породы показал содержание оксидов, представленное в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав горелых пород старых терриконов

Горелые породы	Содержание в % на сухое вещество								П.П.П.
	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	FeO	Fe ₂ O ₃	SO ₃	K ₂ O+Na ₂ O	
г. Мыски	66,65	7,29	0,41	9,43	0,35	5,98	0,68	8,6	0,61
ш. «Байдаевская»	61,41	11,49	0,41	9,52	0,43	5,58	0,49	9,96	0,72

Установлено, что горелые породы (далее - ГП) из старых терриконов могут использоваться в промышленности строительных материалов по нескольким направлениям: как компонент вяжущего, как заполнитель (патент RU 2462425), и др.

Лабораторией СибГИУ разработаны составы шихт с использованием ГП для производства клинкера, портландцемента и бесклинкерного вяжущего; получен патент на изобретение (патент RU 2521684 С1), разработаны технологические регламенты на их получение [2]. Горелые породы предложено использовать для того, чтобы заменить алюмосиликатный компонент клинкерной шихты – глину. Цемент имеет следующий состав: горелая порода – 5...80 %, добавка на основе сульфата натрия в виде отхода коксохимического производства в количестве 3...4 %, а остальное - клинкер, который получают из клинкера следующего состава: горелая порода – 22...24 %, отход метизного производства в качестве плавня – 3...5 %, остальное – известняк. Получен клинкер активностью 513 кгс/см² и на его основе получен портландцемент марки ПЦ 400 Д20, где в качестве активной минеральной добавки (Д20) предложено применить ГП – 20 %. Портландцемент имеет следующие свойства: Тонкость помола - 297 м²/кг; нормальная густота це-

ментного теста - 25,42%; водоцементное отношение - 0,38; расплыв конуса - 114,7 мм; сроки схватывания: начало через 2 часа 31 минуту, конец - 4 часа 20 минут; предел прочности при изгибе через 3 суток - 46 кгс/см², через 28 суток - 67 кгс/см², предел прочности при сжатии через 3 суток - 303 кгс/см², через 28 суток - 413 кгс/см². Полученный цемент имеет марку 400. В случае введения активной минеральной добавки до 80%, активность цемента уменьшается до 200 кгс/см² т.к. уменьшается количество клинкера[2].

С участием лаборатории СибГИУ получен стеновой блок размером 20×20×40 см из мелкозернистого бетона в заводских условиях. В качестве вяжущего была использована смесь тонкомолотой породы с небольшим количеством извести и добавки гипса. Для приготовления вяжущего горелая порода дробилась на щековой дробилке, затем измельчалась на бегунах, после этого добавлялись добавки: известь и гипс. Заполнителем служила также горелая порода. Бетонная смесь готовилась жесткая с осадкой конуса 0...1 см. Она закладывалась в формы и методом вибропрессования изготавливались изделия - блоки марки 50 и средней плотностью 1650 кг/м³ [3]. Применение блоков из горелых пород снижает вес стены на 40...45 % и толщину на 35...38 % по сравнению со стенами из кирпича.

Как заполнитель для промышленности строительных материалов используется щебень из горелых пород. Исследования Г.П. на распад показали, что они стойки ко всем видам распада (силикатный, железистый, известково-магнезиальный). Его подготовка к использованию выполняется следующим образом: горелую породу дробят, просеивают через сито с ячейками 20 мм и используют как заполнитель. Остаток на сите повторно дробят и просеивают через сита с ячейками меньшего размера с разделением на песчаные и щебеночные фракции, которые помещают в отдельные накопительные бункеры; последние используются для приготовления бетонной смеси.

На большинстве шахт Кузбасса имеются обогатительные фабрики(их уже более 10), после которых значительно возрастает число отходов углеобогащения. Предлагается следующая схема их использования (рис.1). Предложенные отходы углеобогащения (ОУО) с содержанием углерода 24% и более необходимо направить на дополнительное обогащение. Другие породы применяют в различных областях: сельское хозяйство, металлургия, строительство дорог. Подробно рассмотрены направления применения их в обжиговых и безобжиговых строительных изделиях. Изучен вопрос удаления остаточного углерода из ОУО, предложено применить термоактивацию.

Были проведены исследования, цель которых – получить горелые породы из отходов углеобогащения. Применение таких пород позволит сократить отвалы фабрик по обогащению угля и улучшить экологию. Недостатком ОУО, как сырья для стройиндустрии, является повышенное содержание остаточного углерода (до 15%), что способствует снижению прочности, морозостойкости, долговечности изделий.

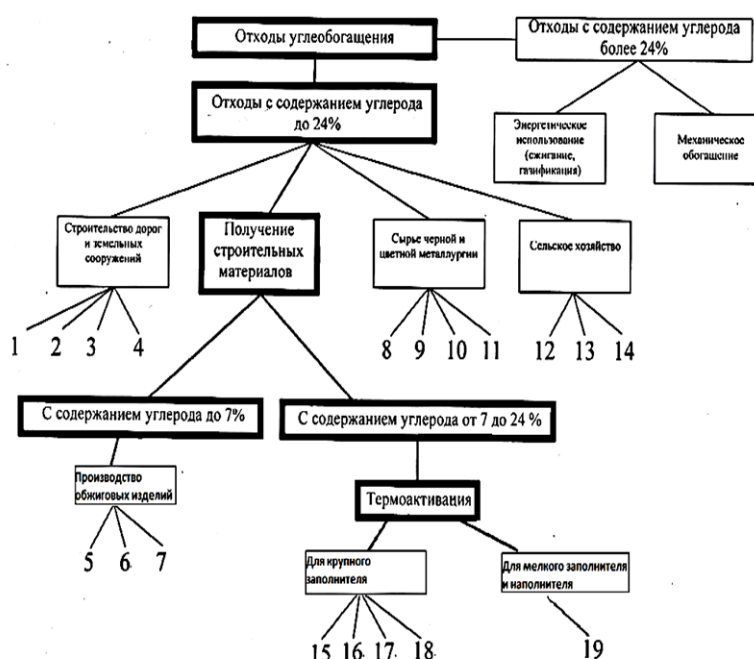
Изученные отходы углеобогащения представляют собой смесь метаморфизированных пород полиминерального состава. в их состав входят: глинистые минералы, углестое вещество, кварц, полевые шпаты, слюды, гематит, магнетит и другие вещества. Глинистые минералы представлены в основном гидрослюдами и каолинитом. При обжиге глинистые минералы претерпевают полиморфные превращения, что позволяет судить о пригодности ОУО для использования их в качестве сырья для керамических изделий[4].

Термогравиметрические исследования, а также пофракционный химический анализ ОУО показывают, что величина потерь при прокаливании и содержание углерода для различных фракций различное. Установлено, что чем меньше фракция, тем больше остаточного углерода. Например, для фракции 3 мм содержание его – 14,57 %, ППП – 23,94 %, для 25 мм – 6,54 %, ППП – 14,15 % (таблица 2). Рекомендовано на керамических заводах применять ОУО крупной фракции (25 мм и более).

Таблица 2 – Состав ОУО различных фракций

Фракции, мм	Зольность, %	Количество углерода, %	ППП, % (макс.)
3	79,7	14,57	23,94
6	87,8	7,21	15,22
13	89,0	6,29	13,48
25	88,9	6,54	14,15

Направления применения отходов углеобогащения



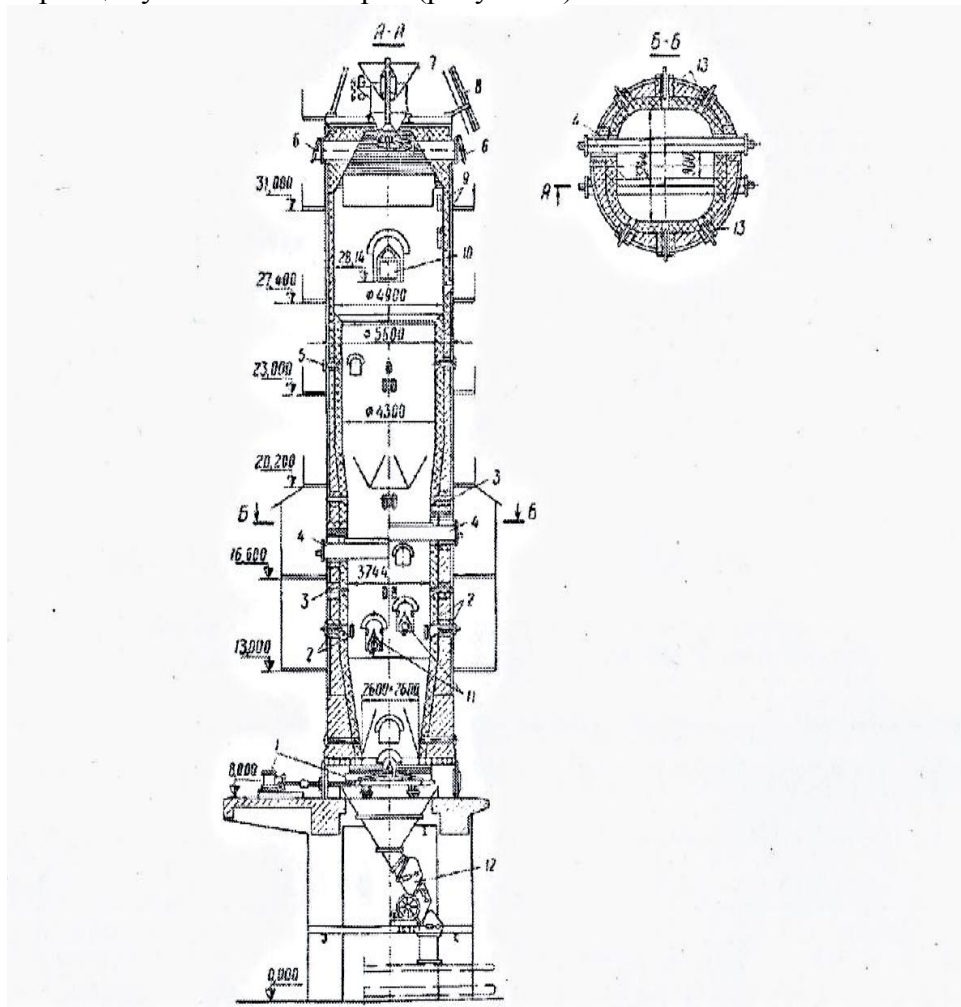
1 -щебеночный материал; 2-материал (в смеси с вяжущим) для верхних и нижних дорожных оснований; 3-заменитель грунта при сооружении дамб, фундаментов; 4-закладка подземных выработок, выравнивание рельефа; 5-керамические материалы; 6-клинкер; 7-камнелитые изделия; 8-концентраты редких рассеянных металлов; 9-кремнеалюминиевые сплавы и ферросплавы; 10-материалы на основе карбида кремния; 11-глинозем и другие кислородные соединения алюминия; 12-нейтрализация кислых почв; 13-носители микроэлементов и серы в удобрениях; 14-улучшение структуры почв; 15-обжиг в шахтной печи; 16-обжиг на агломерационной решетке; 17-обжиг во взвешенном состоянии; 18-обжиг во вращающейся печи; 19-обжиг в коксовой батарее

Рисунок 1 – Схема работы с отходами углеобогащения

Отходы углеобогащения имеют перспективу применения их как компонент клинкера и для получения малоклинкерного цемента после их термообработки (патент RU 120468 U1)[5].

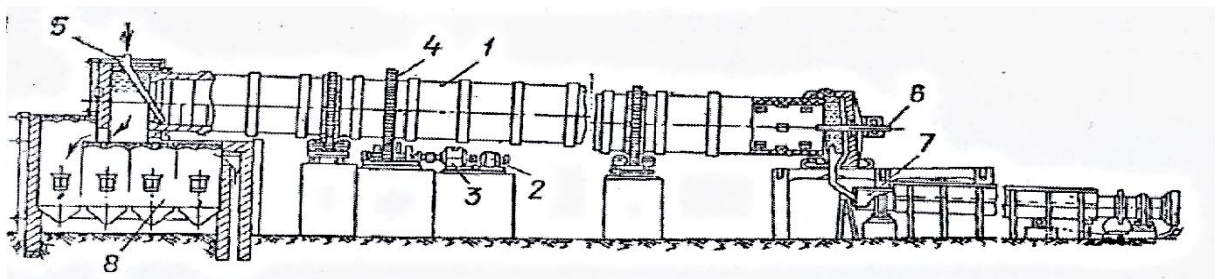
Доказано, что горелые породы из терриконигов имеют место применения как сырье, но их количество невелико. Объемы отвалов ОУО, напротив, возрастают, и в естественном состоянии они непригодны для стройиндустрии. Предлагается проводить их термообработку для удаления остаточного углерода с одновременной активацией глинистой составляющей. Можно использовать агрегаты, применяемые для обжига, например, из-

вестняка (рисунки 2,3), но их необходимо оборудовать системой аккумуляции тепла и дальнейшего его применения. Однако эти агрегаты нельзя применять для обжига пород фракцией менее 10 мм, поэтому предлагается для этой цели применить агрегаты, работающие по принципу коксовых батарей (рисунок 4).



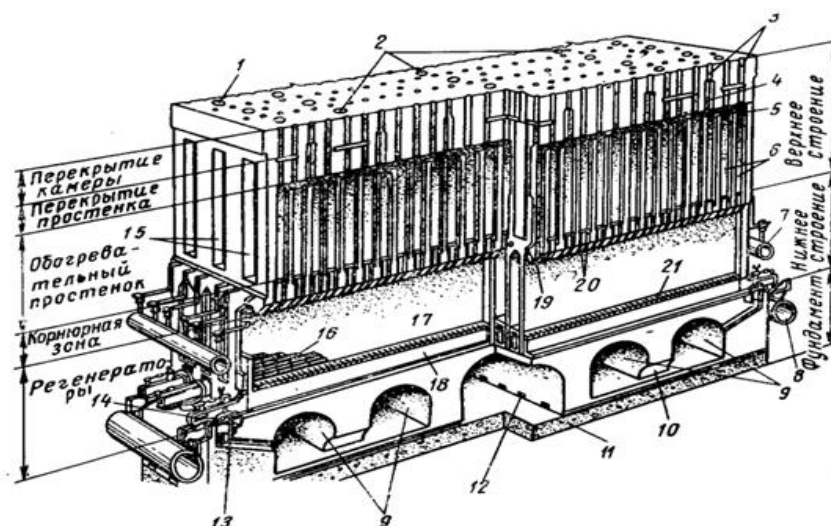
1-выгрузочная решетка; 2-периферийные горелки нижнего яруса; 3-отверстия для установки термопар; 4-две балочные горелки верхнего яруса; 5-гляделка; 6-предохранительный взрывной клапан; 7-вухлапанное загрузочное устройство; 8-скиповой подъемник; 9-отверстия датчиков уровнемера; 10-короб отсоса дымовых газов; 11-две балочные горелки; 12-трехшлюзовый затвор; 13-периферийные горелки верхнего яруса.

Рисунок 2 – Шахтная вращающаяся печь



1-стальной барабан; 2-электродвигатель; 3-редуктор-вариатор количества оборотов печи; 4-венцовая шестерня; 5-точка для подачи щебня ОУО в печь; 6-труба для подачи топлива; 7-барабан для охлаждения; 8-пылеосадительные камеры.

Рисунок 3 – Барабанная печь



1 — газоотводящие люки. 2 — загрузочные люки, 3 — смотровые шахточки» 4 — перекидной канал, 5 — сборный горизонтальный канал, 6 — вертикал. 7 — газопровод коксового газа. 8 — газопровод доменного газа, 9 — борова. 10 — соединительные окна. 11 — фундаментная плита. 12 — вентиляционный канал. 13 — дымовой канал. 14 — газоздушный клапан, 15 — камера коксования. 16 — насадка регенератора, 17 — регенератор, 18 — подовый канал, 19 — корнюр. 20 — косые ходы. 21 — колосниковая решетка

Рисунок 4. —Коксовая батарея

Вывод: Доказана возможность использования перегоревших шахтных отходов (так называемых горелых пород) в стройиндустрии: получен патент, разработаны технологические регламенты на получение клинкера, портландцемента и бесклинкерного вяжущего.

Из ГП получен стеновой блок, разработан технологический регламент на его изготовление.

Установлено, что запасы ГП истощаются, а запасы ОУО увеличиваются, но не используются. Разработан алгоритм по их применению.

Результаты пофракционного исследования ОУО показали наличие остаточного углерода (до 15%), который неравномерно распределен по фракциям. Рекомендовано на керамических заводах применять ОУО крупной фракции (25 мм и более).

Учитывая, что углерод отрицательно влияет на физико-механические свойства и снижает долговечность готовых изделий, предложено проводить их предварительную термообработку с аккумуляцией и применением выделяемого тепла. Даны примеры агрегатов для термоактивации как крупных, так и мелких фракций.

Библиографический список

1. Панова В.Ф. Техногенные продукты как сырье для стройиндустрии : монография / СибГИУ. — Новокузнецк, 2009. — 289 с.
2. Панова В.Ф., Панов С.А. Разработка технологических регламентов на производство строительных материалов и изделий из вторичных минеральных ресурсов (ВМР); учебное пособие/ сост. В.Ф. Панова, С.А. Панов; СибГИУ. — Новокузнецк, 2015. — 201 с.
3. Книгина Г.И. Строительные материалы из горелых пород. — М.: Стройиздат, 1965. — 205 с.
4. Методологические основы оценки ценности углепромышленных отходов для расширения масштабов их использования в хозяйственной деятельности / В.Б. Казаков, С.М. Попов, И.А. Стоянова и др. // Уголь. 2012. №4. С. 50-53.
5. Рубан, В.А. Использование отходов углеобогащения в промышленности / В.А. Рубан. — М. : Недра, 1990. — 223 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА ТЕХНОГЕННОГО И ПРИРОДНОГО ГЛИНИСТОГО СЫРЬЯ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИИ КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА

Фомина О.А., Щербинина Е.О., Столбоушкин А.Ю.

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»,
г. Новокузнецк, Россия, stoxan@gmail.com

Аннотация. Приведены результаты комплексного исследования химического, гранулометрического, минералогического составов крупнотоннажных промышленных отходов и природного глинистого сырья на примере шламистой части отходов обогащения железных руд, отходов обогащения углистых аргиллитов и новокузнецкого суглинка. Установлено, что отходы относятся к алюмосиликатам с высоким содержанием красящих оксидов и при введении легкоплавких глин в состав керамических шихт могут использоваться в технологии полусухого прессования керамического кирпича.

Ключевые слова: промышленные отходы, техногенное сырье, химический, минералогический и гранулометрический составы, керамические стеновые материал.

Актуальность работы. В производстве стеновых керамических материалов качество глинистого сырья является важнейшим фактором, определяющим технологические параметры производства и характеристики конечной продукции. Вследствие истощения промышленных запасов кондиционных глин и суглинков в Уральском, Сибирском и Дальневосточном федеральных округах для перспективного развития керамической технологии необходимо использовать новые виды сырья – неспекающиеся, малопластичные суглинки с высоким содержанием карбонатных включений, а также силикатсодержащие промышленные отходы [1, 2]. Решение проблемы получения изделий строительной керамики с высокими эксплуатационными свойствами из некондиционного силикатного сырья и промышленных минеральных отходов является актуальным.

Цель работы. Для разработки технологических основ производства прочного керамического кирпича из отходов проведены исследования химического, гранулометрического и минералогического составов техногенного и природного глинистого сырья.

Работа выполнялась при поддержке Федерального Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере в рамках программы «У.М.Н.И.К.-2015», договор № 0015495.

Методы исследования. В работе использовались стандартные и прецизионные методы исследований сырьевых материалов и готовых изделий. Дисперсность частиц исходного сырья определялась пипеточным (ГОСТ 21216.2-93), ситовым методами анализа и с помощью лазерной гранулометрии на приборе SALD-2101 Laser Diffraction Particle Size Analyzer. Определение минерального состава отходов и глинистых пород осуществлялось комплексом методов: дифрактометрии, дериватографии и электронной микроскопии. Химический состав сырьевых материалов определялся валовым и рациональным химическими анализами.

Технологические свойства сырья определялись в соответствии с ГОСТ 21216-93 и «Методическими указаниями на проведение испытаний глинистого сырья для производства кирпича, пустотелых камней и дренажных труб» ВНИИстрома. При исследовании реологических свойств сырьевых материалов наряду с ГОСТ 21216.1-93 был использован европейский стандарт определения пластичности по Пфедферкорну. Определение эксплуатационно-технологических свойств образцов и изделий производилось в соответствии с требованиями действующих стандартов (ГОСТ 7025-91 и др.).

При использовании методики компрессионных кривых [3] авторами разработан способ определения оптимальных параметров давления прессования и влажности пресс-порошка для получения стеновых керамических материалов. В ФИПС подана заявка на

изобретение № 2015141394 от 29.09.2015 г., и получено положительное решение Федеральной службы по интеллектуальной собственности Российской Федерации о выдаче патента от 17.06.2016 г.

Объекты исследования. В качестве объектов исследования рассмотрены отходы угледобывающих, горноперерабатывающих и металлургических предприятий Кузбасса и Урала. Исследовались представительные технологические пробы отходов обогащения железных руд Абагурской обогатительно-агломерационной фабрики (АОАФ) г. Новокузнецка, отходов сухого обогащения бурых углей Коркинского разреза Челябинской области и новокузнецкого суглинка, являющегося типичным представителем глинистых пород Кемеровской области.

Отходы мокрой магнитной сепарации железных руд (хвосты) АОАФ представляют собой очень мелкий дробленный песок, имеющий модуль крупности $\sim 1,12$. Он включает 54,5 % тонкодисперсной фракции класса $-0,14+0$ мм, где, в свою очередь, около 60 % (33 % ко всему объему) пылевидных, илистых и глинистых частиц класса $-0,05 +0$ мм. Истинная плотность хвостов – 3330 кг/м³; насыпная плотность – 1670 кг/м³; пустотность – 49,8 %; удельная поверхность – 167 м²/кг; влажность – 8,7 %; органика отсутствует. Наиболее перспективной составляющей хвостов для производства керамики является их тонкодисперсная (шламистая) часть (<100 мкм) [4], которая и являлась предметом исследований в настоящей работе.

Отходы сухого обогащения бурых углей Коркинского разреза Челябинской области – углистые аргиллиты имеют остаточное содержание угля от 10 до 18 %. Объем угля, не выделенного в процессе обогащения, может достигать 20 %. Отходы углеобогащения представлены тремя классами крупности: 0-13 мм; 13-40 мм и 40-80 мм. При этом содержание угля в каждом классе обычно существенно отличается. С увеличением крупности отходов повышается их зольность и снижается топливный потенциал [5, 6], поэтому для производства керамики была выбрана наиболее крупная фракция (40-80 мм), которая и являлась объектом исследований.

Глинистое сырье Новокузнецкого месторождения является типичным представителем сибирских лессовидных суглинков, которые, как правило, имеют полиминеральный состав, низкую дисперсность и высокую чувствительность к сушке.

Исследование химического состава. Химический состав сырьевых материалов представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав сырьевых материалов

Наименование сырья	Массовая доля компонентов, % (на абсолютно сухое вещество)											
	SiO_2	Al_2O_3	FeO	Fe_2O_3	CaO	MgO	TiO_2	MnO	R_2O	P_2O_5	SO_3	ППП
Шламистая часть хвостов АОАФ	32,74	8,99	5,70	13,59	14,37	10,88	-	0,59	1,15	0,24	1,45	10,3
Углистые аргиллиты	43,47	17,14	10,11	3,40	2,84	1,04	0,20	2,18	-	0,13	19,49	
Новокузнецкий суглинок	62,03	14,71	5,07	4,56	2,49	0,93	0,21	3,94	-	0,47	5,59	

В соответствии с требованиями ГОСТ 9169-75 по количеству глинозема шламистую часть железорудных отходов можно отнести к группе кислого сырья. Сумма Fe_2O_3 и TiO_2 составляет 13,59 %, что характеризует шламы как сырье с высоким содержанием красящих оксидов. Если соотношение Al_2O_3/SiO_2 в молярных долях равно 0,134, то сумма остальных оксидов в молях превышает 0,725, что выводит по химическому составу шламистую часть отходов обогащения железных руд на диаграмме промышленного назначения [7] за пределы зоны пригодности сырья для производства кирпича.

Углистые аргиллиты также относятся к глиноземистой группе (таблица 1), отмеча-

ется повышенное содержание оксида железа. Поскольку оксиды железа образуют с алюмосиликатной матрицей легкоплавкие эвтектики, то их содержание будет оказывать существенное влияние на спекаемость, плавкость, вязкость в термических процессах. Содержание же оксидов щелочных и щелочноземельных металлов в отходах невелико. О значительном содержании углистых остатков свидетельствуют высокие потери при прокаливании. Наличие горючего компонента обеспечивает отходам более высокую реакционную способность. По химическому составу углистые аргиллиты близки к глинам и относятся к группе полуокислого сырья с высоким содержанием красящих оксидов [8].

Глинистое сырье Новокузнецкого месторождения по ГОСТ 9169-75 в зависимости от содержания Al_2O_3 в прокаленном состоянии относится к полуокислой группе. В зависимости от содержания красящих оксидов ($TiO_2+Fe_2O_3$) в прокаленном состоянии материал классифицируется как глинистое сырье с высоким их содержанием, также имеет место высокое содержание свободного кварца (более 27 %). По диаграмме промышленного назначения глин в зависимости от их химического состава [7] новокузнецкий суглинок пригоден для производства керамического кирпича.

Исследование гранулометрического состава отходов мокрой магнитной сепарации железных руд по результатам ситового анализа приведено в таблице 2.

Таблица 2 – Гранулометрический состав отходов обогащения железных руд АОАФ

Наименование сырья	Класс частиц в мм, содержание частиц в %									
	+2,5	-2,5+1,6	-1,6+1,0	-1,0+0,63	-0,63+0,4	-0,4+0,2	-0,2+0,1	-0,1+0,074	-0,074+0,05	-0,056
Отходы обогащения железных руд АОАФ	0,2	0,2	0,8	2,4	4,8	13,5	15,8	6,4	5,3	50,6

Средний размер частиц шламистой части составляет 15-18 мкм (рисунок 1). Удельная поверхность, измеренная адсорбционным методом, равна $12000 \text{ м}^2/\text{кг}$. По гранулометрическому составу отходы можно отнести к пылевой супеси.

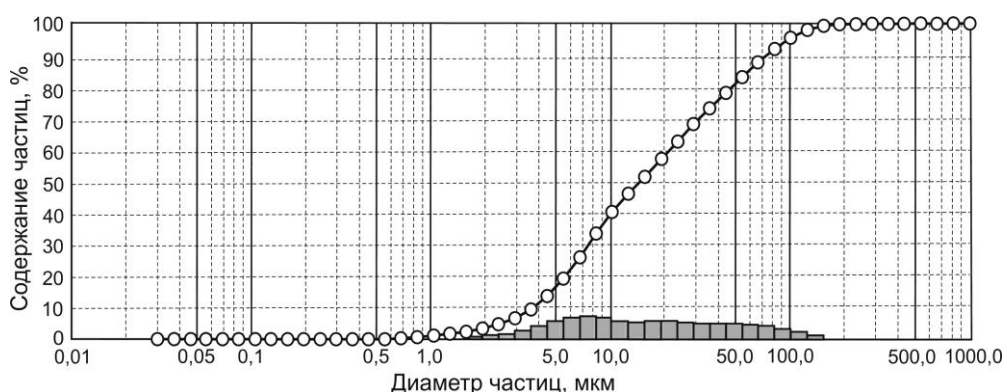


Рисунок 1 – Дисперсный состав шламистой части хвостов Абагурской обогатительно-агломерационной фабрики

Углистые аргиллиты представляют собой не размокающий в воде камнеподобный глинистый материал, образовавшийся в результате уплотнения, гидратации и цементации глин, отложившихся в угольной толще и не обладающих в естественных условиях пластичностью. Их можно отнести к малопластичному или непластичному глинистому сырью, содержащему тонкодисперсный уголь (таблица 3).

В соответствии с общепринятой классификацией глинистых пород и ГОСТ 9169-75 углистые аргиллиты относятся к низкодисперсному сырью.

Таблица 3 – Гранулометрический состав и пластичность углистых аргиллитов (класс 40-80 мм)

Содержание тонкодисперсных частиц в %, размер частиц в мм				
+0,063	0,01-0,063	0,005-0,01	0,001-0,005	-0,001
55,2-58,8	8,2-10,1	7,9-8,6	11,0-12,4	10,4-12,1

Комплексные исследования гранулометрического состава глинистого сырья приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Гранулометрический состав новокузнецкого суглинка

Засоренность природными крупнозернистыми включениями						
Полный остаток на сите №050, %	Частные остатки в % на ситах с размером отверстий, мм					Классификация по ГОСТ 9169-75
	5	3	2	1	0,5	
0,64	0,12	0,05	0,21	0,04	0,22	Низкое содержание
Запасоченность глинистого сырья						
Полный остаток на сите № 0063, %	Частные остатки в % на ситах с размером отверстий, мм					Классификация по ГОСТ 9169-75
	0,315	0,16	0,1	0,063	<0,063	
7,84	1,04	3,27	2,89	0,64	92,16	
Содержание тонкодисперсных фракций в сырье						
Содержание фракций в %, размер частиц в мм						Классификация по ГОСТ 9169-75
>0,06	0,06-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	<0,001		
-	2,6	62,15	4,18	28,17		Низкодисперсные

Крупнозернистых частиц (>0,5 мм) в суглинке Новокузнецкого месторождения практически нет, песчаных частиц чрезвычайно мало, что позволяет отнести его к алевритам. По содержанию глинистой фракции суглинок относится к низкодисперсному сырью.

Исследование минерального состава сырья проводился комплексом методов, включающих рентгенофазовый, дериватографический, петрографический анализы и ИК-спектроскопию поглощения порошков.

Шламистая часть отходов железных руд АОАФ сложена (в порядке убывания) гранатами, карбонатами, хлоритом, амфиболами, пироксенами и полевыми шпатами. На рисунке 2 показаны минимальные и максимальные значения содержания различных минералов.

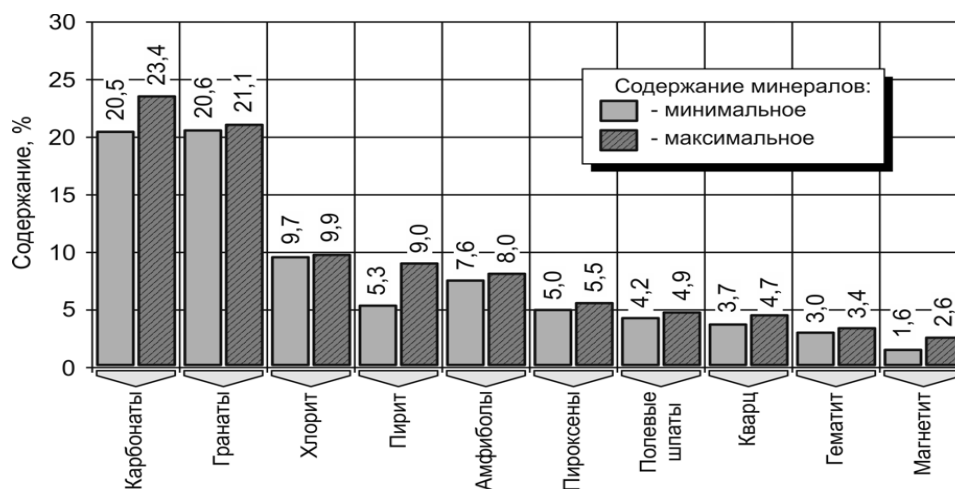


Рисунок 2 – Гистограмма минерального состава шламистой части отходов АОАФ

Основу материала (более 50 %) составляют гранаты, хлориты и карбонаты. Хлориты ($d/n = 1,43; 0,713; 0,477$ нм) имеют триоктаэдрическую разновидность железистого типа – $(Fe, Mg)_6(Si, Al)_4 \cdot O_{10} \cdot (OH)_8$, принадлежат к группе слоистых силикатов с переслаивающимися талькоподобными и бруситоподобными пакетами и характеризуются как псевдоглинистые минералы. Присутствуют в количестве менее 1 %: пирротин, гетит ($\alpha\text{-FeO} \cdot \text{OH}$), ильменит ($\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$), аринопирит, сфалерит (ZnS), оливин, эпидот, сефлентин, гидрослюда, шпинель, апатит, флюорит, барит (BaSO_4), сфен, циркон.

Минеральный состав отходов обогащения углистых аргиллитов характеризуется присутствием каолинита, определенного по характерным линиям с $d/n = 0,712; 0,45$ нм, кварца ($d/n = 0,405; 0,314; 0,212$ нм), мусковита, хлорита (рисунок 3). В качестве примесей идентифицируются кальцит, сидерит (FeCO_3), апатит и гематит [9]. По характерному гало на дифракционной картине определено наличие рентгеноаморфного вещества в отходах (бурый уголь).

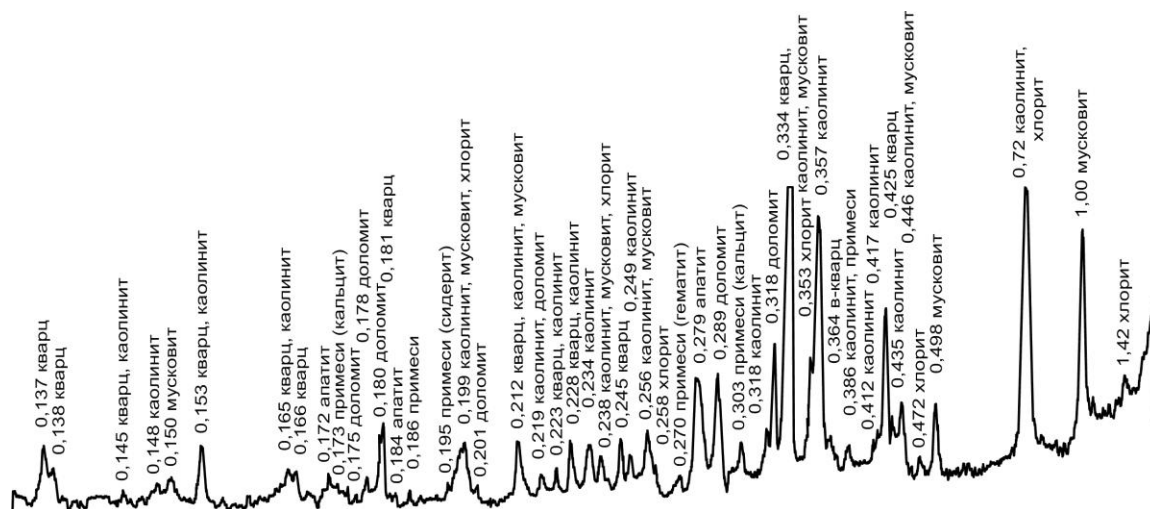


Рисунок 3 – Рентгеновская дифрактограмма отходов обогащения углистых аргиллитов Корkeinского разреза класса 40-80 мм

Минеральный состав новокузнецкого суглинка представлен в таблице 5.

Таблица 5 – Минеральный состав новокузнецкого суглинка

Наименование сырья	Преобладающие минералы		Классификация (ГОСТ 9169-75)
	глинистые	остальные	
Новокузнецкий суглинок	Гидромусковит, монтмориллонит, немного каолинита	Кварц, плагиоклаз, хлорит вермикулит, K-шпат, кальцит, амфиболы	Монтмориллонит-гидрослюдистые

Наряду с рентгенофазовым анализом электронная микроскопия (рисунок 4) позволила установить, что основным минеральным фоном глинистых фракций суглинка являются гидрослюды, проявляющиеся в виде мелких полупрозрачных чешуек и пластин неправильной формы. Монтмориллонит идентифицируется по расплывчатым, неясным очертаниям и довольно крупным формам. Чаще всего встречается ассоциация минералов: гидрослюда – монтмориллонит – кварц. Другими породообразующими минералами являются кварц, карбонаты, полевые шпаты, хлорит и амфиболы.

По минеральному составу глинистое сырье относится к полиминеральной группе, по классификации – к монтмориллонит-гидрослюдистому типу (ГОСТ 9169-75).

Таким образом, анализ вещественного состава глинистого сырья показал, что оно является типичным представителем сибирских лессовидных суглинков. В суглинке отсутствуют крупнозернистые включения, материал низкодисперсный и высокочувствительный к сушке.

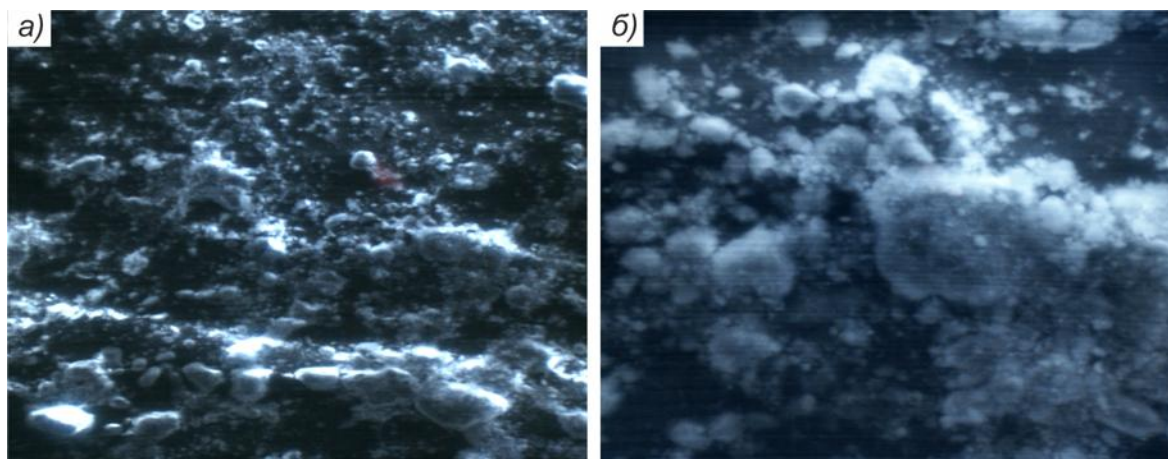


Рисунок 4 – Микрофотографии новокузнецкого суглинка: электронный микроскоп; увеличение $\times 100$ (а), $\times 500$ (б)

Заключение. В результате исследования определены химический, гранулометрический и минералогический составы шламистой части отходов обогащения железных руд, отходов обогащения углистых аргиллитов и новокузнецкого суглинка. Установлено, что отходы относятся к алюмосиликатам с высоким содержанием красящих оксидов и могут использоваться для производства стеновой керамики при корректировке состава. Несмотря на то, что новокузнецкий суглинок относится к умереннопластичному сырью, практика работы кирпичных заводов пластического формования, использующих данные виды пород, показывает, что без существенной корректировки шихты невозможно получить качественные керамические изделия.

Библиографический список

1. Котляр, В.Д. Опoki – перспективное сырье для производства стеновой керамики / В.Д. Котляр, Б.В. Талпа // Строительные материалы. – 2007. – № 2. – С. 31–35.
2. Женжурист, И.А. Об особенностях формирования керамического черепка из пресс-порошков пылеватого суглинка / И.А. Женжурист // Строительные материалы. – 2000. – № 6. – С. 26–28.
3. Столбоушкин, А.Ю. Необходимость и перспективы утилизации шламистых железорудных отходов Кузбасса в технологии стеновых керамических материалов / А.Ю. Столбоушкин, Г.И. Стороженко // Строительные материалы. – 2009. – № 4. – С. 77–80.
4. Столбоушкин, А.Ю. Оптимизация параметров прессования гранулированного техногенного и природного сырья для производства керамического кирпича / А.Ю. Столбоушкин, О.А. Столбоушкина, Г.И. Бердов // Строительные материалы. – 2013. – № 3. – С. 76–78.
5. Шпирт, М.Я. Рациональное использование отходов добычи и обогащения углей / М.Я. Шпирт, В.А. Рубан, Ю.В. Иткин. – Москва : Недра, 1990. – 224 с.
6. Физико-химический анализ шламов от обогащения Коркинских углей : отчет о НИР / Южно-Уральский государственный университет. – Челябинск, 2007. – 116 с.
7. Августиник, А.И. Керамика / А.И. Августиник. – Ленинград : Стройиздат, 1975. – С. 66.
8. Стороженко, Г.И. Переработка углистых аргиллитов для получения керамического сырья и технологического топлива / Г.И. Стороженко, А.Ю. Столбоушкин, А.И. Иванов // Строительные материалы. – 2015. – № 8. – С. 50–54.
9. Столбоушкин, А.Ю. Стеновые керамические материалы матричной структуры на основе отходов обогащения углистых аргиллитов / А.Ю. Столбоушкин, О.А. Столбоушкина, А.И. Иванов, В.А. Сыромясов, М.Л. Пляс // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2013. – № 2–3. – С. 28–36.

ВЛИЯНИЕ ВЛАЖНОСТИ И ДАВЛЕНИЯ ПРЕССОВАНИЯ НА ОСАДКУ ПРЕСС-МАСС И СВОЙСТВА СТЕНОВОЙ КЕРАМИКИ ИЗ ПЫЛЕВАТЫХ СУГЛИНКОВ

Щербинина Е.О., Фомина О.А., Столбоушкин А.Ю.

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»,

г. Новокузнецк, Россия shcherbinina-1993@mail.ru

Аннотация. *Исследовано влияние влажности и давления прессования на осадку пресс-порошков и свойства стеновой керамики из умереннопластичного глинистого сырья. Определены физико-механические свойства керамических образцов, отформованных при разном давлении, выбранном через небольшие равные промежутки. Выявлена зависимость их изменения от величины прикладываемого давления при различной формовочной влажности. Запатентованным методом по компрессионным кривым установлены оптимальные значения параметров полусухого прессования керамического кирпича из новокузнецкого суглинка.*

Ключевые слова: *давление прессования, влажность пресс-порошка, пылеватые суглинки, керамический кирпич, компрессионные кривые.*

В Российской Федерации для большинства районов Сибири и Дальнего востока характерно преобладание месторождений делювиальных глин, имеющих сложный неоднородный вещественный состав и «неудачные для экструзии» реологические свойства. Обычно использование таких видов сырья для производства качественных керамических стеновых материалов по пластической технологии весьма проблематично и часто не дает желаемых результатов. Например, при запуске крупных кирпичных заводов в Новосибирской области и Красноярском крае, построенных ведущими зарубежными фирмами, возникли проблемы качества изделий. Проблемы были решены только за счет введения в состав шихты значительного количества привозной пластичной глины, что, на наш взгляд, не рационально с учетом транспортной логистики России, имеющей огромную территорию [1]. Данная проблема в основном объясняется тем, что сибирские пылеватые суглинки имеют низкую пластичность и часто засорены различными включениями и примесями.

Хорошие результаты для такого сырья, по мнению авторов, могут быть получены при использовании технологии полусухого прессования керамического кирпича, незаслуженно скомпрометированной по ряду объективных и субъективных причин [2], одной из которых является грубый помол (до 3-5 мм) глины [3]. Для сравнения, современные кирпичные заводы, «работающие по пластике», используют глиномассы, измельченные на вальцах тонкого помола вплоть до 0,5 мм [4]. В связи с этим, были разработаны и предложены новые технологические принципы получения стеновой керамики из низкокачественного малопластичного природного и техногенного сырья, основанные на целенаправленном формировании будущей структуры уже на стадии массоподготовки исходных материалов с последующим компрессионным формованием изделий [5].

Для качественного и бездефектного прессования сырца по этой технологии очень важно подобрать оптимальные параметры и режимы с учетом требований физической механики дисперсных систем.

Цель настоящей работы заключалась в нахождении оптимальных параметров влажности, давления прессования, осадки пресс-масс и определении степени их влияния на свойства стеновой керамики из пылеватых суглинков.

Определение оптимальных значений давления прессования в зависимости от влажности и вида сырья, обеспечивающих максимальные эксплуатационные характеристики керамики, очень трудоемко и требует изготовления в лабораторных условиях большого количества (часто достигающего десятков и сотен) керамических образцов.

Для уменьшения объемов экспериментальных исследований авторами была разра-

ботана методика определения процессов прессования керамических масс по компрессионным кривым [6] и по полученным результатам запатентован способ определения оптимальных параметров давления прессования и влажности пресс-порошка для получения кирпича [7].

В соответствии с намеченной целью основной задачей в развитие способа являлось определение физико-механических свойств керамических образцов, отформованных при разном давлении, выбранном через небольшие равные промежутки в интервале работы лабораторного гидравлического пресса.

Для решения поставленных задач в качестве объекта исследования был выбран суглинок Новокузнецкого месторождения, являющийся типичным представителем пылеватого глинистого сырья, характерного для Западной Сибири. Подробная характеристика новокузнецкого суглинка, относящегося к умереннопластичному сырью с низким содержанием каменистых включений, приведена в работе [8].

При выполнении экспериментальной части работы использовалось лабораторное оборудование кафедры строительных технологий и материалов Сибирского государственного индустриального университета, включающее щековую дробилку, двухкатковые бегуны, стержневую мельницу, сушильный шкаф, турболопастной смеситель-гранулятор, гидравлический пресс и муфельную печь для обжига (рисунок 1).

Приготовление лабораторных керамических образцов проводилось по стандартной методике полусухого прессования. Глинистое сырье высушивалось в сушильном шкафу при температуре 100-105 °С до постоянной массы. Высушенный материал подвергался грубому дроблению в лабораторной щековой дробилке до фракции -10 мм и затем измельчался на бегунах в порошок до фракции -1 мм. В высушенный измельченный суглинок добавлялась вода при температуре 20-22 °С из расчета формовочной влажности 6-12 %.

Для гомогенизации смеси увлажненный порошок перетирался через проволочное сито с размером ячейки 1,2 мм и далее для выравнивания влажности помещался в эксикатор, где выдерживался в течение 2-6 часов. Из полученного пресс-порошка на гидравлическом прессе формовались образцы-цилиндры диаметром 45 мм и высотой 40-50 мм. Сушка сырца проводилась ступенчато, по мягкому режиму при температуре 30-100°С до остаточной влажности 1-2 %. Обжиг керамических образцов осуществлялся в течение 7 часов с часовой изотермической выдержкой при максимальной температуре 1000°С.



Рисунок 1 –Лабораторное оборудование для приготовления керамических образцов:

стержневая мельница (а); бегуны (б); турболопастной смеситель-гранулятор (в); сушильный шкаф (г); высушенные и обожженные образцы (д)

В классической трактовке процесс прессования керамических порошков представлен четырьмя стадиями: *механическое сближение частиц и удаление воздуха из системы; их пластическая необратимая деформация; стадия упругой деформации; хрупкое механическое разрушение* [9]. При разработке способа авторы исходили из того, что нецелесообразно прикладывать значительные прессовые усилия, приводящие к образованию трещин расслаивания в образце вследствие обратного последействия от упругих деформаций внутри трехфазной системы после снятия нагрузки. Использование прессовых давлений в области хрупкого разрушения частиц приводит к сильному уплотнению прессовки, повышению их средней плотности, что нежелательно для наружных стен, и повышенному износу заводского прессового оборудования.

Таким образом, задача сводилась к нахождению области прессового давления на границе между второй и четвертой стадиями прессования. Оптимальные значения прессового усилия сугубо индивидуальны для каждого вида сырья и зависят, прежде всего, от его пластичности, гранулометрии и влажности порошка. При повышении влажности системы увеличивается площадь и толщина сольватных водных оболочек на поверхности глиняных частиц, обеспечивая более легкое их скольжение друг относительно друга при меньших значениях механической нагрузки на формовку. Вместе с тем, излишнее переувлажнение так же нежелательно, поскольку избыток влаги повышает открытую пористость, снижает после обжига прочность и морозостойкость изделий и приводит к возникновению технологических проблем при прессовании.

При проведении исследований в соответствии с разработанной методикой были заданы три значения влажности пресс-порошка: 1 – 6-7 %; 2 – 9-10 %; 3 – 11-12 %. На авторской установке определена осадка порошка в форме, и построены ее кривые в зависимости от влажности и прикладываемого давления (рисунке 2).

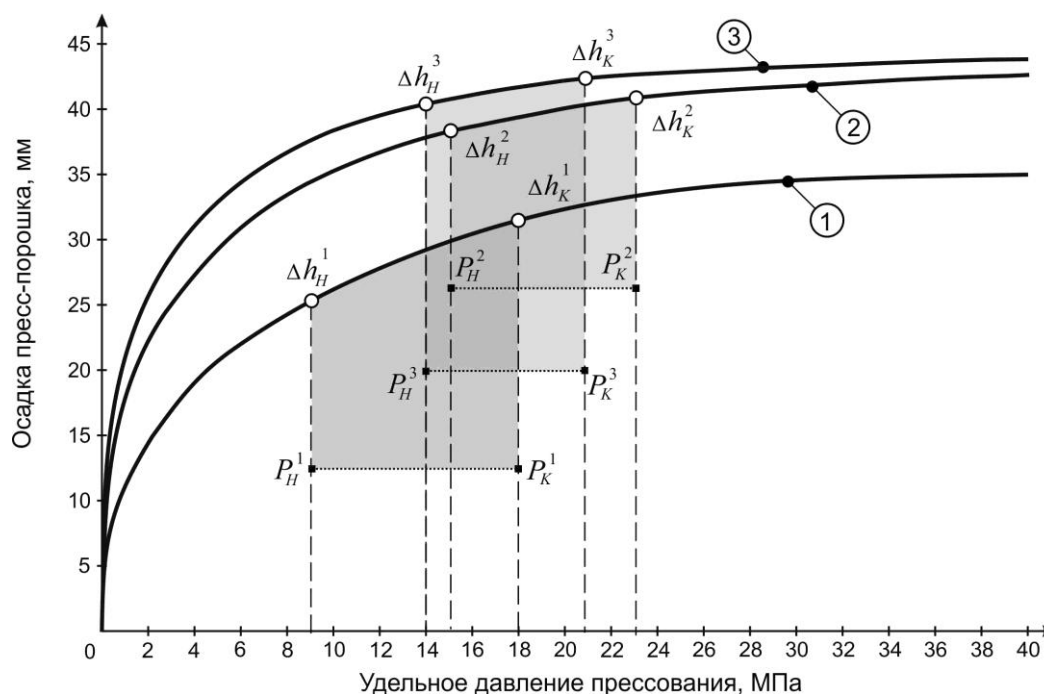


Рисунок 2 – Компрессионные кривые осадки керамических масс из суглинистого сырья с влажностью: 1 – 5,7 %; 2 – 9,6 %; 3 – 11,9 %

Из полученных пресс-масс были отформованы три серии образцов. В процессе их изготовления в каждой серии последовательно менялось прессовое давление в интервале от 4 до 26 Мпа с шагом 2 Мпа. Для определения физико-механических свойств и сниже-

ния риска случайной ошибки эксперимента при выбранных параметрах прессовалось по пять образцов.

При изготовлении первой серии образцов влажностью 5,7 % наблюдалась неудовлетворительная формовка изделий, связанная с недостатком влаги в пресс-порошке: *при прессовых давлениях от 4 до 8 МПа* – происходило рассыпание образцов; *при давлениях от 10 до 16 МПа* – образцы имели низкую сырцовую порочность, их приповерхностная зона со стороны матрицы выкрашивалась во время выпрессовки изделий; *при давлениях более 18 Мпа* – образовывались поперечные трещины расслаивания, которые нарушали целостность формовки. Таким образом, провести сравнительный анализ физико-механических свойств и определение оптимального прессового давления для данной влажности не представлялось возможным.

При формовании образцов второй и третьей серии с влажностью соответственно 9,6 % и 11,9 % проблем, отмеченных выше, не наблюдалось. Результаты исследования физико-механических свойства керамических образцов приведены в таблицах 1, 2.

Таблица 1 – Физико-механические свойства керамических образцов из пресс-порошка влажностью 9,6 %

№№, п/п	Давление прессования, МПа	Средняя плотность, кг/м ³	Водопоглощение	Прочность при сжатии, МПа	Коэффициент конструктивного качества
1	4	1500	28,5	6,3	4,2
2	6	1592	23,8	11,6	7,3
3	8	1650	20,7	20,0	12,1
4	10	1684	17,0	17,5	10,4
5	12	1749	16,6	28,1	16,0
6	14	1765	16,4	29,0	16,5
7	16	1728	16,0	29,1	16,3
8	18	1791	16,6	26,6	14,9
9	20	1791	16,8	30,5	17,0
10	22	1780	15,7	35,4	19,8
11	24	1811	16,7	25,0	14,0
12	26	1834	15,8	32,4	17,6

Таблица 2 – Физико-механические свойства керамических образцов из пресс-порошка влажностью 11,9 %

№№, п/п	Давление прессования, МПа	Средняя плотность, кг/м ³	Водопоглощение	Прочность при сжатии, МПа	Коэффициент конструктивного качества
1	4	1723	23,8	11,1	6,4
2	6	1777	20,6	12,5	7,1
3	8	1859	19,8	13,6	7,3
4	10	1902	17,3	25,3	13,3
5	12	1850	15,4	30,2	16,3
6	14	1943	15,1	38,9	20,0
7	16	1949	15,3	34,5	17,6
8	18	2031	13,7	31,1	15,6
9	20	2021	14,3	42,2	21,0
10	22	2053	10,9	46,2	23,1
11	24	2019	12,3	63,5	31,8
12	26	2049	11,8	77,6	38,8

Графическая интерпретация результатов оптимизации параметров прессования керамических образцов по значениям их физико-механических свойств представлена соответственно на рисунках 3, 4.

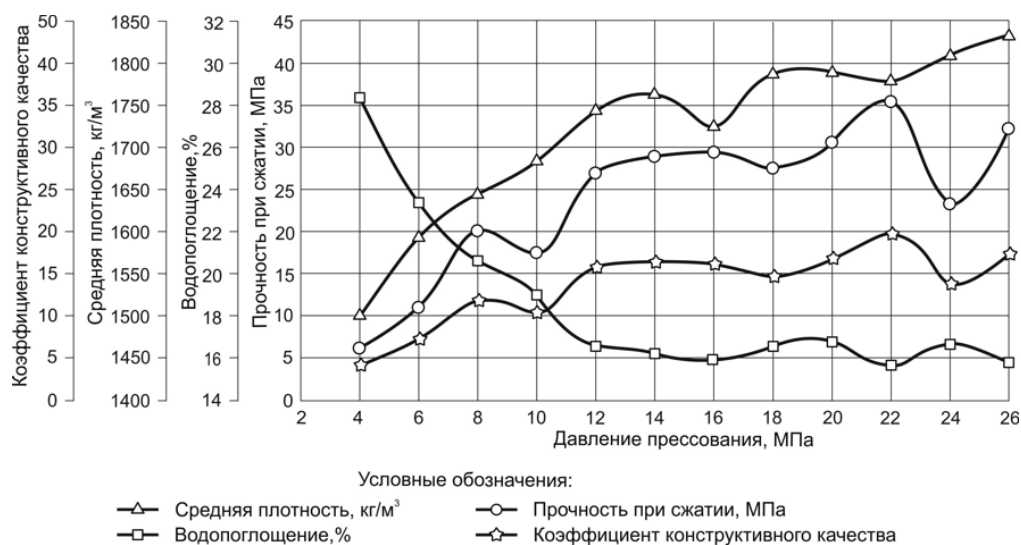


Рисунок 3 – Зависимость физико-механических свойств керамических образцов из глиняного пресс-порошка влажностью 9,6 % от величины прикладываемого давления

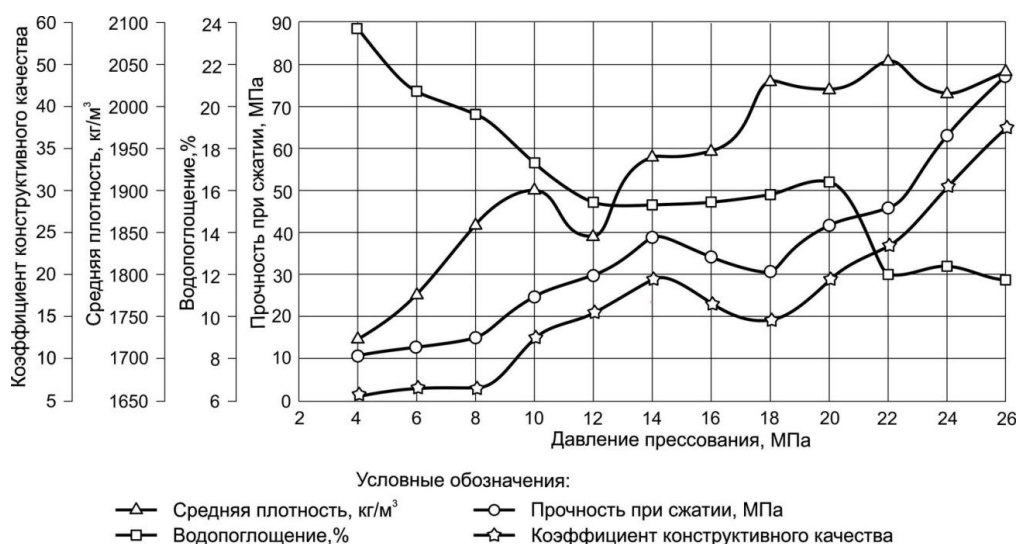


Рисунок 4 – Зависимость физико-механических свойств керамических образцов из глиняного пресс-порошка влажностью 11,9 % от величины прикладываемого давления

Анализируя изменение физико-механических свойств керамики из порошка влажностью 9,6 %, можно отметить, что в начальный период предел прочности при сжатии возрастает с ростом прессового давления и достигает экстремума при 16 МПа. В этом интервале происходит увеличение средней плотности и снижение водопоглощения образцов (рисунок 3). Дальнейшее увеличение давления прессования в интервале 18-20 МПа приводит к ухудшению их физико-механических свойств, при этом наблюдается появление трещин расслаивания на поверхности образцов. Дальнейшее увеличение сжимающей нагрузки до 22 МПа приводит к росту прочности и падению водопоглощения керамического черепка.

Полученные данные свидетельствуют о том, что при прессовом давлении 15-16 МПа заканчиваются пластические и начинаются упругие деформации зерен порошка, что соответствует переходу от второй к третьей стадии процесса прессования. На компрессионной кривой осадки керамических масс влажностью 9,6 % (рисунок 2) в этой об-

ласти прессового давления наблюдается «затухание» значительного приращения деформаций трехфазной системы в пресс-форме. Начиная с области давления 22-23 МПа, осадка компрессионной кривой резко замедляется, что соответствует точке касательной к этой кривой при переходе от третьей к четвертой стадии прессования [7]. В соответствии с принятыми положениями [8] оптимальное давление прессования для порошка данной влажности составляет 16 МПа.

Схожие зависимости изменения физико-механических свойств прослеживаются и для керамических образцов, отпрессованных из глиняного пресс-порошка влажностью 11,9 %. На рисунках 2, 4 отмеченные выше процессы сдвигаются в область более низких давлений прессования. Если в первом случае экстремумы свойств наблюдаются при 15-16 МПа и 22-23 МПа, то во втором – соответственно 14-15 МПа и 21-22 МПа. Незначительное смещение по прессовому давлению можно объяснить небольшой разницей в значениях формовочной влажности пресс-порошков (1-2 процента).

Заключение. Сравнивая показатели конструктивного качества для обеих серий образцов, приведенных в таблицах 2 и 3, выбираем оптимальные значения параметров полусухого прессования керамического кирпича для новокузнецкого суглинка:

- прессовое давление 14-15 МПа;
- формовочная влажность 11-12 %.

Работа выполнялась при поддержке Федерального Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере в рамках программы «У.М.Н.И.К.-2015», договор № 0015495.

Библиографический список

10. Столбоушкин, А.Ю. Рациональные способы массоподготовки сырья в технологии стеновой керамики компрессионного формования / А.Ю. Столбоушкин, Г.И. Стороженов, А.И. Иванов, В.А. Сыромясов, Д.В. Акст // Строительные материалы. – 2016. – № 04. – С. 26–30.
11. Шлегель, И.Ф. Проблемы полусухого прессования кирпича / И.Ф. Шлегель // Строительные материалы. – 2005. – № 2. – С. 18–19.
12. Справочник по производству строительной керамики. Том III. Стеновая и кровельная керамика под ред. Скрамтаева Б.Г. Москва : Стройиздат, 1962. – 608 с.
13. Грубачич В. Компания BEDESCHI: второе столетие в лидерах машиностроения для керамической промышленности // Строительные материалы. 2009. № 4. С. 30–31.
14. Иванов А.И. Принципы создания оптимальных структур керамического кирпича полусухого прессования / А.И. Иванов, А.Ю. Столбоушкин, Г.И. Стороженов // Строительные материалы. – 2015. – № 4. – С. 65–70.
15. Столбоушкин, А.Ю. Оптимизация параметров прессования гранулированного техногенного и природного сырья для производства керамического кирпича / А.Ю. Столбоушкин, О.А. Столбоушкина, Г.И. Бердов // Строительные материалы. – 2013. – № 3. – С. 76–78.
16. Патент № 2595879 Российская Федерация, МПК С1 G 01 N 33/38, G 01 N 3/08. Способ определения оптимальных параметров давления прессования и влажности пресс-порошка для получения стеновых керамических материалов / А.Ю. Столбоушкин, А.С. Фомин, О.А. Фомина, Андреас Яр; опубл. 27.08.2016, Бюл. № 24.
17. Столбоушкин, А.Ю. Исследование процессов гранулирования шламистых железорудных отходов и опудривания гранул глинистой фракцией для получения керамических материалов / А.Ю. Столбоушкин, Г.И. Стороженов // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 1995. – № 6. – С. 40–43.
18. Попильский, Р. Я. Прессование керамических порошков / Р. Я. Попильский, Ф. В. Кондрашев. – Москва: Металлургия, 1968. – 272 с.

СЕКЦИЯ 2. ТЕПЛОГАЗОВОДОСНАБЖЕНИЕ, ВОДООТВЕДЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ

УДК 697.34

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕМЕННЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ ПРИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИИ

Рафальская Т.А.

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)
Россия, г. Новосибирск, rafalskaya.ta@yandex.ru*

Аннотация. Рассчитаны переменные режимы работы системы теплоснабжения при повышенном графике центрального регулирования для условий низкотемпературного теплоснабжения. Определено суточное изменение температуры внутреннего воздуха в зависимости от температуры наружного воздуха и режима водопотребления в системе горячего водоснабжения. Расчёты показали, что повышенный график центрального регулирования возможно применять при центральном регулировании тепловой нагрузки при правильной настройке системы автоматизации тепловых пунктов. Это позволит значительно сократить расход сетевой воды и обеспечить температуру воды в системе горячего водоснабжения в соответствии с санитарными нормами.

Ключевые слова: система теплоснабжения, тепловая сеть, тепловой пункт, тепловой режим помещения, система отопления, система горячего водоснабжения.

Введение.

В системах централизованного теплоснабжения (СЦТ) в настоящее время существует ряд проблем, связанных с изношенностью тепловых сетей, арматуры, компенсаторов, а также с невозможностью обеспечить необходимые параметры на тепловых источниках в связи с состоянием теплообменного оборудования. Основные изменения в работе СЦТ по сравнению с проектными значениями, это:

1) повсеместное применение так называемой верхней срезки температурного графика в связи с невозможностью источников теплоты поддерживать принятые при проектировании высокотемпературные графики регулирования, [1, 2] что влечёт за собой повышение расходов сетевой воды, и как следствие, гидравлическую разрегулировку системы теплоснабжения;

2) необходимость повышения температуры воды в системе горячего водоснабжения (СГВ) до 75 °С в связи с обнаружением высоко контагиозных инфекционных возбудителей вирусного и бактериального происхождения, которые могут размножаться при температуре до 60 °С [3, 4].

Всё это вызывает необходимость поиска новых путей обеспечения качественного теплоснабжения при которых будет решена главная задача – обеспечение нормированных температур в помещениях и нормированной температуры воды на нужды горячего водоснабжения.

Применение центрального регулирования по совместной нагрузке отопления и горячего водоснабжения (повышенный температурный график), на наш взгляд, позволит решить многие из возникших проблем.

Повышенный график центрального регулирования тепловой нагрузки был разработан для высокотемпературного теплоснабжения, когда в системе теплоснабжения поддерживается постоянный расход сетевой воды, равный расчётному расходу сетевой воды на отопление. Для обеспечения нагрузки горячего водоснабжения подогрев воды на источнике теплоты производится до температуры более высокой, чем требуется по отопительному графику. В настоящее время, в связи с «невыдерживанием» расчётных температур, требуемых по графику центрального регулирования на источниках теплоты, повы-

шенный график был незаслуженно забыт. Однако и при низкотемпературном теплоснабжении возможно, и даже необходимо применение этого температурного графика.

1. Переменные режимы работы теплового пункта

Современные тепловые пункты (ТП) представляют собой систему взаимосвязанных теплообменников. Для расчёта переменных режимов работы ТП в течение отопительного сезона, автором была предложена методика, позволяющая рассчитать переменные режимы ТП при любой температуре наружного воздуха и различных соотношениях тепловых нагрузок [5, 6].

В качестве примера были рассчитаны режимы системы теплоснабжения жилого микрорайона от ЦТП-ц41 по ул. Орджоникидзе в г. Новосибирске. Расчётная нагрузка на отопление на ЦТП составляет $Q_{\text{отmax}} = 4,459$ МВт, средняя на горячее водоснабжение $Q_{\text{гвм}}=2,659$ МВт. Расчётная температура для проектирования отопления в Новосибирске $t_{\text{но}}=-37$ °С, расчётная температура внутреннего воздуха $t_{\text{вр}} = 20$ °С, в системе отопления $\tau_{\text{o1}}=105$ °С. На ТЭЦ применяется верхняя срезка температурного графика при 114 °С, поэтому был сделан расчёт режимов теплоснабжения при повышенном графике центрального регулирования с максимальной температурой воды в теплосети, не превышающей 114 °С.

На рисунок 1, 2 показаны результаты расчёта температур и расходов сетевой воды в течение отопительного периода в условиях максимального водоразбора в СГВ.

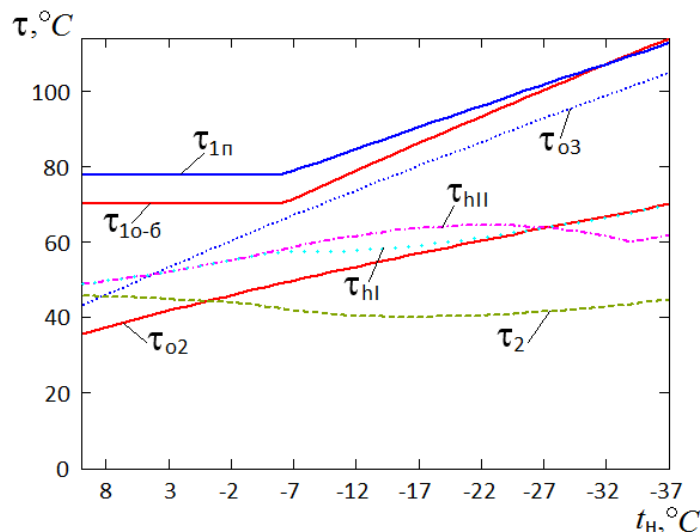


Рисунок 1 – Изменение температур сетевой воды в условиях максимального водоразбора в СГВ в течение отопительного периода

$\tau_{1п}$ – температура воды в подающей магистрали теплосети по повышенному температурному графику; $\tau_{1о-б}$ – то же, при отопительно-бытовом графике; $\tau_{о3}$ – температура воды в подающей магистрали системы отопления; $\tau_{о2}$ – то же, в обратной магистрали; τ_{hI} – температура сетевой воды после подогревателя СГВ I (нижней) ступени; τ_{hII} – то же, после II (верхней) ступени.

К достоинствам применения повышенного графика центрального регулирования можно отнести:

1) более высокая температура нижней срезки температурного графика (срезка производится при наружной температуре $t_{\text{ни}}$, соответствующей срезке отопительно-бытового графика регулирования), что позволяет нагревать воду в СГВ до более высокой температуры в соответствии с требованиями [7, 8];

2) постоянный расход воды в теплосети, равный расчётному расходу сетевой воды на отопление, значительно меньше расчётного расхода воды в теплосети при регули-

ровании по отопительно-бытовому графику, что повышает гидравлическую устойчивость системы теплоснабжения.

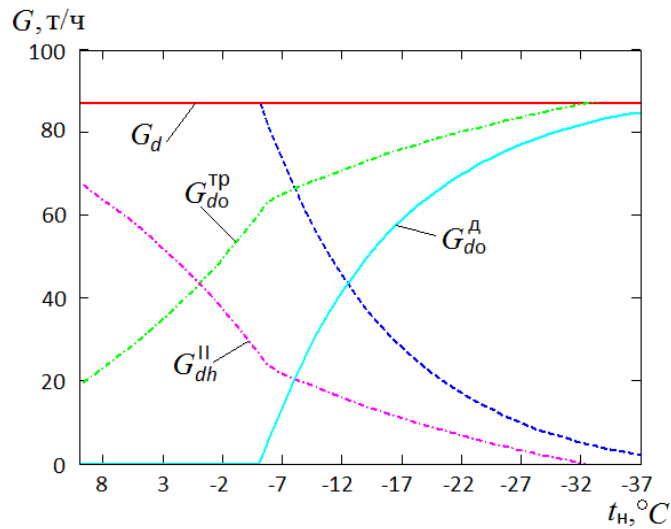


Рисунок 2 – Изменение расходов сетевой воды в условиях максимального водоразбора в СГВ в течение отопительного периода

G_d – суммарный расход сетевой воды в теплосети; G_{do}^{TP} – требуемый расход воды из теплосети для системы отопления; G_{do}^A – действительный расход воды из теплосети, поступающий в систему отопления; G_{dh}^{II} – расход сетевой воды, необходимый для нагрева водопроводной воды в подогревателе СГВ II ступени.

В то же время в работе системы теплоснабжения по повышенному графику имеются недостатки: в условиях максимального водоразбора в СГВ в систему теплоснабжения возвращается обратная вода с завышенной температурой (τ_2 на рисунке 1), количество воды из теплосети, поступающей в систему отопления уменьшается ($G_{do}^A < G_{do}^{TP}$ на рисунке 2, система отопления работает за счёт подмешивания воды из обратной магистрали). При этом располагаемая тепловая мощность системы теплоснабжения используется не полностью, т.е. возникают потери теплоты, что видно на рисунке 3.

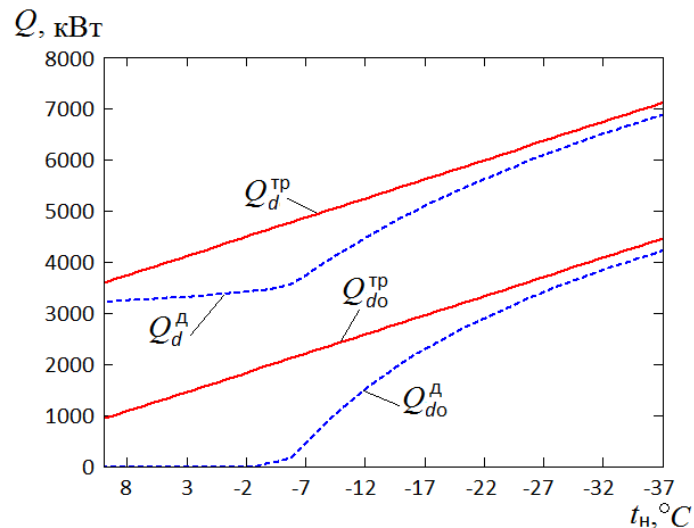


Рисунок 3 – Тепловая мощность системы теплоснабжения

Q_d^{TP} – требуемая (располагаемая) тепловая мощность теплосети; Q_d^A – действительная (используемая) тепловая мощность теплосети; Q_{do}^{TP} – требуемая тепловая мощность системы отопления; Q_{do}^A – действительная тепловая мощность системы отопления.

2. Внутренняя температура помещений при переменном водоразборе в СГВ

В двухступенчатых схемах присоединения подогревателей СГВ, широко применяемых в ТП современных систем теплоснабжения жилых районов, в первую очередь обеспечивается теплотой система горячего водоснабжения, т.е. изменение водоразбора в СГВ влияет на теплоподачу в систему отопления, и, следовательно, на температурный режим помещений. Рассмотрим изменение температуры внутреннего воздуха в течение суток для типового жилого здания, имеющего коэффициент тепловой аккумуляции $\beta = 60$ ч при различных температурах наружного воздуха.

Действительную температуру внутреннего воздуха для каждого часа z в течение суток можно найти по формуле

$$t_B^d = t_H + \left[\frac{Q_{do}^d}{Q_{do}^{tp}} + \left(\frac{t_B^r - t_H}{t_B^{tp} - t_H} - \frac{Q_{do}^d}{Q_{do}^{tp}} \right) \cdot e^{\frac{-z}{\beta}} \right] \cdot (t_B^{tp} - t_H), \quad (1)$$

где t_B^r – текущая температура внутреннего воздуха.

В этом уравнении неизвестна текущая температура внутреннего воздуха t_B^r , которая зависит как от наружной температуры t_H , так и от водоразбора в СГВ. Для решения уравнения был использован типовой график водоразбора в системе горячего водоснабжения, на основе которого к действительной тепловой мощности Q_{do}^d добавлялась часть тепловой мощности, которую могут обеспечить тепловые сети при незначительном водоразборе или его отсутствии. Расчёты проводились для каждого часа, с учётом водоразбора, определялась t_B , которая подставлялась в уравнение для следующего часа. Методом последовательных приближений была определена t_{B24} за 24 ч, которая равна t_{B0} в 0 ч. Результаты расчётов представлены на рисунке 4.

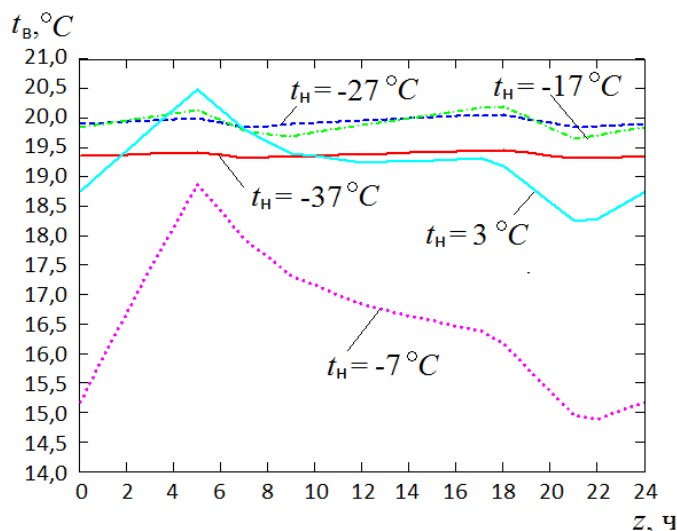


Рисунок 4 – Изменение температуры внутреннего воздуха в зависимости от наружной температуры и водоразбора в СГВ

Для поддержания температуры внутреннего воздуха в допустимых пределах, необходимо увеличивать расход воды из теплосети с высокой температурой в систему отопления при незначительном водоразборе или его отсутствии. Как показали расчёты (см. рисунок 4), при расчётной наружной температуре для проектирования отопления, возможно не увеличивать расход воды из теплосети для системы отопления. Снижение внутренней температуры при этом не превышает $0,7^\circ\text{C}$. При наружных температурах до точки излома температурного графика необходимо небольшое увеличение расхода воды из теплосети в систему отопления в часы минимального водоразбора для поддержания внутренней температуры помещений в пределах 20°C . Суточные колебания температуры внутреннего воздуха незначительны, и не превышают $0,5^\circ\text{C}$. Наиболее неблагоприятный

температурный режим наблюдается в точке излома температурного графика, когда в условиях максимального водоразбора почти весь расход сетевой воды поступает в подогреватель СГВ II ступени, и затем, в обратную магистраль тепловой сети, минуя систему отопления. Поскольку теплопотери помещений в этом случае ещё достаточно большие ($t_{\text{ни}} = -7,2 \text{ }^\circ\text{C}$), снижение расхода воды из теплосети вызывает снижение температуры внутреннего воздуха, которое может достигать $15 \text{ }^\circ\text{C}$ и колебания внутренней температуры помещений до $4 \text{ }^\circ\text{C}$. Однако, по мере увеличения наружной температуры, теплопотери помещений уменьшаются, и соответственно, повышается температура внутреннего воздуха.

Относительный расход теплоты из теплосети для системы отопления (отношение действительного расхода теплоты к расчётному расходу) в течение суток в зависимости от водоразбора в СГВ показан на рисунке 5.

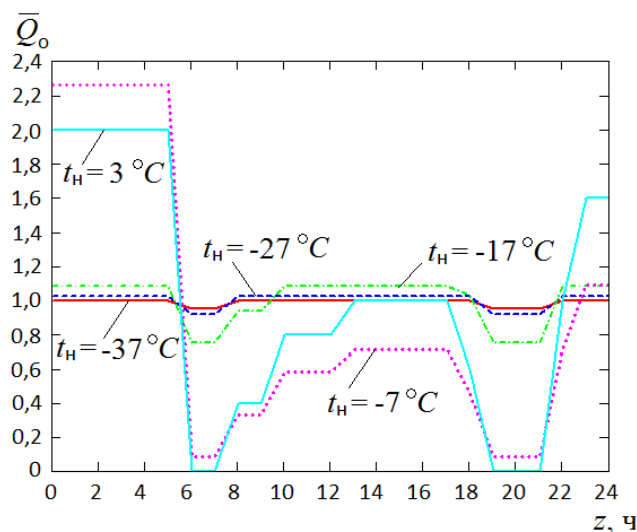


Рисунок 5 – Относительный расход теплоты в систему отопления в течение суток

При $t_{\text{но}}$ снижение расхода теплоты незначительно, поэтому его можно не увеличивать; при других $t_{\text{н}}$ ниже точки излома температурного графика, необходимо увеличение расхода теплоты (и воды в систему отопления из теплосети) от 0 до 10 %. При $t_{\text{н}}$ выше точки излома температурного графика в условиях незначительного водоразбора в СГВ или при его отсутствии необходимо весь расход воды из теплосети направлять в систему отопления.

Выводы

1. Применение повышенного графика центрального регулирования в условиях низкотемпературного теплоснабжения позволит сократить расходы воды в теплосети, повысить гидравлическую устойчивость СЦТ, обеспечить температуру воды в СГВ в соответствии с требованиями санитарных норм.

2. Необходима постоянная работа системы автоматизации и смесительных насосов в тепловом пункте.

Библиографический список

1. Петрущенко В.А. Обоснование пониженного температурного графика регулирования централизованных систем теплоснабжения // Новости теплоснабжения, 2015. №8. С. 30 – 37.

2. Гершкович В.Ф. Сто пятьдесят... Норма или перебор? (Размышления о параметрах теплоносителя) // Энергосбережение, 2004. №5. С. 14 – 19.

3. Научно-методическое обоснование микробиологической безопасности снижения температуры горячей воды в системах водоснабжения закрытого типа // Отчёт о научно-исследовательской работе – Москва: ФГБУ ФНИЦЭМ, 2015. – 48 с.

4. Рафальская Т. А. Проблемы энергетической эффективности систем теплоснабжения согласно действующему законодательству // Технические науки – от теории к практике: сб. ст. по матер. LV междунар. науч.-практ. конф. № 2(50). – Новосибирск: СибАК, 2016. – С. 141-151.

5. Рафальская Т.А., Басин А.С. Моделирование режимов работы двухступенчатой смешанной схемы подогревателей горячего водоснабжения при повышенном температурном графике // Известия вузов. Строительство, 2002. – № 7. – С. 76-81.

6. Рафальская Т.А. Прогнозирование переменных режимов тепловых пунктов в условиях повышенного графика центрального регулирования // Известия вузов. Строительство, 2012. – № 7-8.

7. СанПиН 2.1.4.2496-09 Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества: изм. к СанПиН 2.1.4.1074-01: введ. в действ. 2009-09-01 / Минздрав России, 2009. – 7 с.

8. СП 30.13330.2012. Внутренний водопровод и канализация зданий. Актуализированная редакция СНиП 2.04.01-85*: введ. в действ. 2011-12-29 / Минрегион России, 2011. – 65 с.

УДК 697.34

ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННЫЕ ПРИТОЧНО-ВЫТЯЖНЫЕ СИСТЕМЫ

Мансуров А.Р., Мансуров Р.Ш.

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)
г. Новосибирск, Россия, smansurov@mail.ru*

Аннотация. Проведено испытание трёх образцов децентрализованных приточно-вытяжных систем вентиляции с целью определения эффективности их работы. Анализ проведённых исследований позволяет сформулировать рекомендации для разработки и производства нового образца децентрализованной приточно-вытяжной системы вентиляции.

Ключевые слова: децентрализованная приточно-вытяжная система вентиляции, энергосбережение, энергетическая эффективность, теплопередача, воздушная струя, подвижность воздуха.

1. Проблема

В ныне существующих жилых и административных зданиях предусматривается система естественной вентиляции, работа которой основывается на принципе удаления воздуха из помещений за счет разности давлений между воздухом помещения и улицей. Однако при установке, главным образом, герметичных пластиковых окон и общей герметизации здания работа естественной вытяжной системы вентиляции нарушается за счет прекращения притока наружного воздуха через неплотности в наружных ограждениях. Тем самым возникает не просто проблема обеспечения вентиляции помещений здания, а энергетически эффективного проветривания. Эту задачу можно решить двумя способами: применением централизованной механической вентиляции с утилизацией теплоты удаляемого воздуха (мера пригодная в основном для вновь проектируемых и реконструируемых зданий) и применением децентрализованных приточно-вытяжных систем вентиляции (ДПВСВ), как для эксплуатируемых, так и для строящихся зданий.

2. Цели и задачи

1. Обзор современного вентиляционного оборудования данной категории.

2. Исследование выбранных образцов децентрализованных приточно-вытяжных систем вентиляции в натуральных условиях и анализ полученных результатов.

3. Формирование рекомендаций для проектирования новой децентрализованной приточно-вытяжной системы вентиляции с учетом климатических особенностей регионов России.

3. Принцип работы УВРК-50

УВРК-50 – ДПВСВ с регенеративным теплообменником, рисунок 1. Работа УВРК 50 делится на 4 основные фазы:

1. В первой фазе вентилятор установки удаляет воздух из помещения. Воздух, проходя через теплоёмкую вставку (регенеративный теплообменник), нагревает её.

2. Во второй фазе регенератор прогреет и происходит реверсирование вентилятора.

В третьей и четвертой фазе холодный наружный воздух, проходя через регенератор установки, нагревается почти до комнатной температуры, постепенно охлаждая регенератор. Далее процессы повторяются.

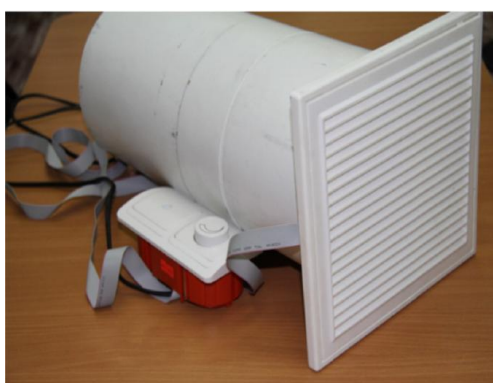


Рисунок 1 – УВРК-50

4. Принцип работы Прана-150

Прана-150 – ДПВСВ с рекуперативным теплообменником, рисунок 2. При установке рекуперативного теплообменника делается уклон в 3 градуса в сторону помещения для отвода конденсата. Конденсат образуется в результате конденсации водяных паров, находящихся в вытяжном воздухе на поверхности рекуперативного теплообменника, имеющего температуру ниже температуры точки росы.



Рисунок 2 – Прана-150

Вентиляция помещения происходит за счет того, что Прана-150 принудительно забирает тёплый отработанный воздух из помещения и удаляет его на улицу, одновременно с тем принудительно забирает с улицы холодный свежий и сухой воздух и подает его в помещение. При этом эти воздушные потоки разделены как внутри рабочего модуля, так и на входе-выходе специальным воздухораспределительным устройством и не перемешиваются.

ваются между собой. За счет прохождения воздушных потоков через медный рекуперативный теплообменник, расположенный внутри рабочего модуля, тёплый вытяжной воздух отдает свою теплоту наружному холодному приточному воздуху.

5.1. Принцип работы ТеФо

ТеФо – ДПВСВ с кожухотрубным рекуперативным теплообменником, рисунок 3. Воздухозаборный и выбросной патрубки располагаются на наружной стене. Воздух забирается через воздухозаборный патрубок с решёткой и поступает в рекуперативный теплообменник. Проходя внутри трубок, наружный воздух нагревается и подается вентилятором в обслуживаемое помещение. Вытяжной воздух удаляется вентилятором из помещения через патрубок. Проходя через межтрубное пространство рекуперативного теплообменника, выбрасывается наружу через патрубок с решёткой.



Рисунок 3 – ТеФо

5.2. Варианты монтажа ТеФо

ДПВСВ ТеФо оснащена двумя осевыми вентиляторами и конструктивно выполнена в виде цилиндра, внутри которого располагается система со специальным профилированием трубок. Воздух из помещения проходит через рекуператор за счет работы одного из вентиляторов, а воздух с улицы – за счет работы другого вентилятора. При этом один поток воздуха через стенки трубок отдает теплоту другому потоку воздуха.

6. Основные энергетические показатели оценки энергоэффективности работы ДПВСВ

1. Коэффициент энергосбережения – отношение количества возвращённой ДПВСВ теплоты к количеству теплоты, которое требовалось бы затратить для нагрева наружного воздуха до температуры воздуха помещения.

2. Коэффициент энергетической эффективности – отношение полезного эффекта от использования энергетических ресурсов к затратам энергетических ресурсов, произведённым в целях получения такого эффекта. Здесь данный показатель выражается как отношение возвращенной тепловой мощности, к электрической мощности, потребляемой при работе ДПВСВ.

3. Коэффициент теплопередачи – тепловой поток, передаваемый через поверхность теплообмена (стенку), отнесённый к единице площади поверхности и температурному напору в один градус между приточным (наружным) и вытяжным (внутренним) воздухом, выраженный в Вт/(м²·К).

4. Коэффициент эффективного использования поверхности теплообмена – отношение расхода воздуха к площади поверхности теплопередачи, выраженное в (м³/ч)/м². Показатель характеризует эффективность использования поверхности теплопередачи ДПВСВ.

7. Основные санитарно-гигиенические показатели оценки эффективной работы ДПВСВ

1. Фактическая температура приточного воздуха – показатель, который сравнивается с минимально допустимым значением температуры приточного воздуха.

2. Фактическая скорость воздушной струи на входе в обслуживаемую зону – показатель, сравниваемый с нормативным значением скорости (подвижности) воздуха в обслуживаемой зоне.

3. Фактический уровень шума при работе ДПВСВ – данный показатель сравнивается с нормативным значением.

Фактический расход наружного воздуха – данный показатель сравнивается с нормативным значением.

8. Основные показатели ДПВСВ

8.1. Основные массогабаритные показатели ДПВСВ

1. Коэффициент эффективного использования массы ДПВСВ – показатель характеризующий отношение расхода перемещаемого воздуха к массе ДПВСВ, выраженный в $(\text{м}^3/\text{ч})/\text{кг}$.

2. Коэффициент эффективного использования занимаемой площади – показатель характеризующий отношение расхода приточного воздуха к занимаемой площади на поверхности стены обслуживаемого помещения, необходимой для установки ДПВСВ, выраженный в $(\text{м}^3/\text{ч})/\text{м}^2$.

8.1. Основные ресурсные показатели ДПВСВ

1. Гарантийный срок эксплуатации.

2. Ремонтпригодность.

8.2. Основные эксплуатационные показатели ДПВСВ

1. Периодичность технических обслуживаний.

2. Удобство монтажа и демонтажа.

3. Сложность конструкции.

9. Техничко-экономический расчет эффективности ДПВСВ

1. Количество теплоты на нагрев приточного воздуха, требуемого по санитарногигиеническим нормам на 1 м^2 площади жилого помещения в г. Тюмени:

$$Q = 0,278 \cdot 1,2 [\text{кг}/\text{м}^3] 3 [\text{м}^3/\text{ч}] (20 [^\circ\text{C}] - (-35) [^\circ\text{C}]) \approx 55 [\text{Вт}].$$

2. ДПВСВ, оснащённая теплоутилизатором рекуперативного типа имеет коэффициент энергосбережения порядка 60 % (по литературным данным). В этом случае затраты теплоты на нагрев приточного воздуха будут составлять:

$$Q_{\text{вент(рекуп.)}} = Q \cdot k_{\text{эн.сб.}} = 55 \cdot (1 - 0,6) \approx 22 [\text{Вт}].$$

3. ДПВСВ оснащённая теплоутилизатором регенеративного типа имеет коэффициент энергосбережения порядка 80 % (по литературным данным). В этом случае затраты теплоты на нагрев приточного воздуха будут составлять:

$$Q_{\text{вент(реген)}} = Q \cdot k_{\text{эн.сб.}} = 57 \cdot (1 - 0,8) \approx 11 [\text{Вт}].$$

4. Следовательно, экономия теплоты за отопительный период при использовании теплоутилизатора рекуперативного типа для квартиры жилой площадью 40 м^2 составит:

$$Q_{\text{эконом}} = (55 - 22) \cdot 40 [\text{м}^2] \cdot 3600 [\text{с}] \cdot 24 [\text{ч}] \cdot 223 [\text{сут}] \cdot (20 - (-6,9)) / (20 - (-35)) = 12 439 [\text{МДж}] \approx 3 [\text{Гкал}].$$

5. Стоимость 1 Гкал с 01.01.2015 в г. Тюмени составляет 1059,64 руб, соответственно экономия в денежном выражении составит:

$$3 [\text{Гкал}] \cdot 1059,64 [\text{руб}/\text{Гкал}] = 3178,92 [\text{руб}].$$

Таблица 1 – Техничко-экономический расчёт эффективности ДПВСВ

№ п/п	Наименование показателя	УВРК-50
1	Количество теплоты по санитарно-гигиеническим нормам, $Q_{\text{сан.гигиен}}$, Вт	55
2	Затраты теплоты на нагрев приточного воздуха ДПВСВ рекуперативного типа, $Q_{\text{вент. (рекуперат.)}}$, Вт	22
3	Затраты теплоты на нагрев приточного воздуха ДПВСВ регенеративного типа, $Q_{\text{вент. (регенерат.)}}$, Вт	11
4	Экономия теплоты за отопительный период, $Q_{\text{эконом}}$, Гкал	3
5	Экономия за отопительный период, руб.	3178,92

Таблица 2 – Таблица показателей ДПВСВ

№ п/п	Наименование показателя	Фактические значения показателей ДПВСВ		
		УВРК-50	Прана 150	ТеФо
1	Коэффициент энергосбережения, %	70-83	29-36	52-61
2	Коэффициент энергетической эффективности, %	13-31	5-11	38-70
3	Коэффициент теплопередачи, Вт/(м ² ·К)	—	25-51	13-17
4	Коэффициент эффективного использования поверхности теплообмена, (м ³ /ч)/м ²	—	172	20
5	Фактическая температура приточного воздуха, °С	14-20	12-17	15-19
6	Скорость воздушной струи на входе в обслуживаемую зону, м/с	0,2	0,1	0,1
7	Уровень шума при работе рекуператора, дБА	47-55	30-44	35,5-41
8	Фактический расход наружного воздуха (максимальный), м ³ /ч	56	54	34
9	Коэффициент эффективного использования массы ДПВСВ, (м ³ ·ч)/кг	8,6	12,3	6,2
10	Коэффициент эффективного использования занимаемой площади, (м ³ ·ч)/м ²	1140	3060	340

10. Анализ результатов испытаний

По анализу результатов испытаний, были сформированы рекомендации для проектирования новой децентрализованной приточно-вытяжной системы вентиляции:

1. Основным недостатком для всех трёх представленных образцов ДПВСВ является недостаточное давление, развиваемое осевыми вентиляторами. Осевые вентиляторы присутствуют в каждой конструкции ДПВСВ. Недостаточное давление отчетливо проявляется в период наличия ветра на улице. Ветер создает на ветреной стороне здания избыточное давление воздуха, что приводит к снижению объёма вытяжки из помещения вплоть до «опрокидывания», т.е. вытяжной канал начинает работать на приток воздуха в помещение. То же самое происходит на заветренной стороне только с противоположным знаком – ветром создаётся разрежение, что приводит к снижению объёма приточного воздуха вплоть до «опрокидывания», т.е. приточный канал начинает работать на удаление

воздуха из помещения. Снижение на наветренной стороне здания расхода вытяжного воздуха приводит к снижению: коэффициентов энергосбережения, энергетической эффективности, температуры приточного воздуха. Снижение на заветренной стороне здания расхода приточного воздуха ведёт к снижению воздухообмена в помещении до полного его исчезновения, что в свою очередь приведёт к повышению влажности воздуха в помещении, концентрации углекислого газа [1].

2. Следующим существенным недостатком является акустический шум, создаваемый осевым вентилятором. Повышенный акустический шум является особенностью конструкции осевых, в отличие от центробежных, вентиляторов.

3. При проведении испытаний было выявлено существенно неравномерное распределение скоростей воздушного потока по сечению приточных и вытяжных каналов у ДПВСВ «Прана-150» и «ТеФо». Это характерно для осевых вентиляторов со стороны «выхлопа».

4. Применение реверсивных вентиляторов в конструкции ДПВСВ «УВРК-50» изначально приводит к снижению расхода воздуха в режиме реверса на 10-20 %.

5. Низкие значения показателей энергосбережения, энергетической эффективности, а также температуры приточного воздуха на выходе в помещение у ДПВСВ «Прана-150» обусловлены малой ($0,25 \text{ м}^2$) площадью поверхности теплообмена. Увеличение поверхности теплообмена ДПВСВ приведёт к росту этих показателей.

6. Низкие значения коэффициента теплопередачи у ДПВСВ «ТеФо» можно объяснить низкой скоростью движения потоков приточного и вытяжного воздуха внутри теплообменника. Для интенсификации процесса теплопередачи необходимо увеличить скорость воздуха внутри рекуператора путём установки более производительных вентиляторов на притоке и на вытяжке.

7. Все представленные образцы ДПВСВ в достаточной степени пригодны к ремонту различной степени сложности. В процессе эксплуатации теплообменное оборудование практически не нуждается в ремонте, так как не несёт механической нагрузки. Основные ремонтные работы будут связаны с системой управления.

8. В ДПВСВ «Прана-150» и «ТеФо» отсутствуют воздушные фильтры тонкой очистки воздуха со стороны помещения и улицы для защиты поверхности теплообмена от загрязнения. А также для защиты помещения от запылённого наружного воздуха.

9. У ДПВСВ «ТеФо» пониженный показатель эффективного использования занимаемой площади, что указывает на увеличение площади поверхности стены, отводимой под установку ДПВСВ и создаёт определённые проблемы при монтаже.

Анализ результатов проведённых исследований позволит сформулировать рекомендации для разработки и производства нового образца ДПВСВ.

Библиографический список

1. Мансуров Р.Ш., Костуганов А.Б., Мансуров А.Р. Оценка показателей эффективности работы децентрализованных приточно-вытяжных систем вентиляции // Материалы II Всероссийской научно-технической конференции. – Оренбург: ООО ИПК «Университет», 2013. – С. 79-84.

АНАЛИЗ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМАХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ МИКРОКЛИМАТА

Мансуров Р.Ш.

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)
г. Новосибирск, Россия, rmansurov@inbox.ru*

Аннотация. Представлены результаты экспериментальных исследований нагрева и охлаждения воздуха в системах обеспечения микроклимата. Приведена схема предварительной обработки и анализа полученных экспериментальных данных. В качестве основного подхода рассмотрена аппроксимация экспериментальных значений функцией, построенной методом наименьших квадратов. С помощью численных исследований определён наиболее адекватный вид функциональной зависимости. Исследованы методы оптимизации для решения задачи построения экспериментальных кривых.

Ключевые слова: система обеспечения микроклимата, термодинамический процесс, интеллектуальная система управления, воздухонагреватель, вентилятор, переходный процесс, относительная избыточная теплота.

Экспериментальное исследование термодинамических процессов в элементах систем обеспечения микроклимата (СОМ) является важной частью создания интеллектуальной системы управления.

С целью всестороннего изучения переходных процессов и оценки влияния различных факторов на результат функционирования элементов систем обеспечения микроклимата были проведены экспериментальные исследования совместной работы электрического воздухонагревателя ЕА 40-20/12 и центробежного канального приточного вентилятора VR 60-30/

Функциональная схема исследуемой системы воздухонагреватель-вентилятор приведена на рисунке 1.

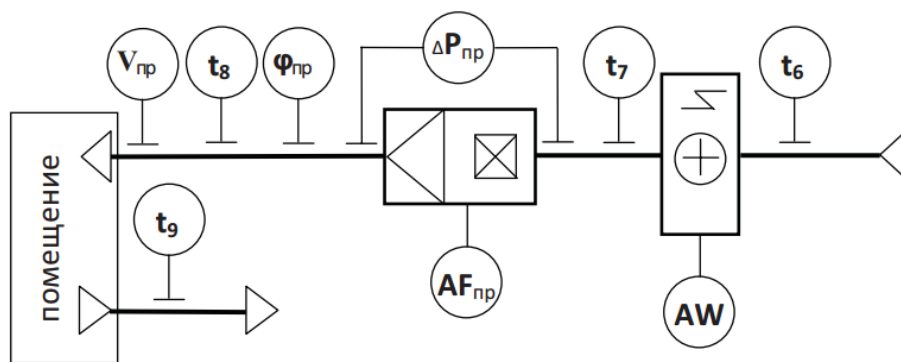


Рисунок 1 – Функциональная схема исследуемой системы

Цель экспериментальных исследований заключалась в установлении функциональных связей между параметрами, зависящими от результата работы элементов СОМ и изучении динамических характеристик параметров воздушного потока.

В результате исследований были получены экспериментальные зависимости переходных процессов совместной работы электрического воздухонагревателя и приточного центробежного канального вентилятора при скачкообразном увеличении мощности воздухонагревателя. На рисунках 2, 3 представлены осреднённые результаты обработки экспериментальных данных, показывающие изменения $Q_{\text{отн.вн}}^{\text{нагр}}(z)$, $Q_{\text{отн.вент}}^{\text{нагр}}(z)$, $Q_{\text{отн.пом}}^{\text{нагр}}(z)$ и $\Delta t_{\text{отн}}^{\text{нагр}}(z)$ во времени [1, 2].

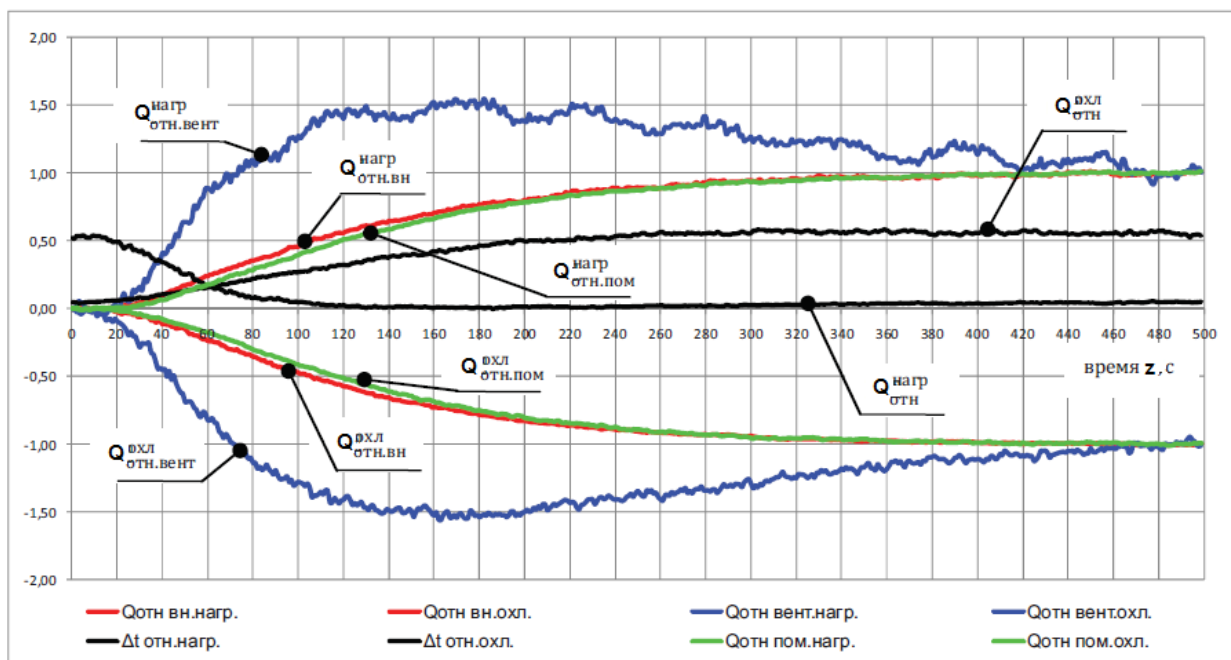


Рисунок 2 – Параметры работы блока «воздухонагреватель-вентилятор» при режимах: - вентилятора 0,6 ($70 \cdot 0,6 = 42$ Гц); - эл. воздухонагревателя при скачкообразном изменении мощности от 0,1 до 0,3

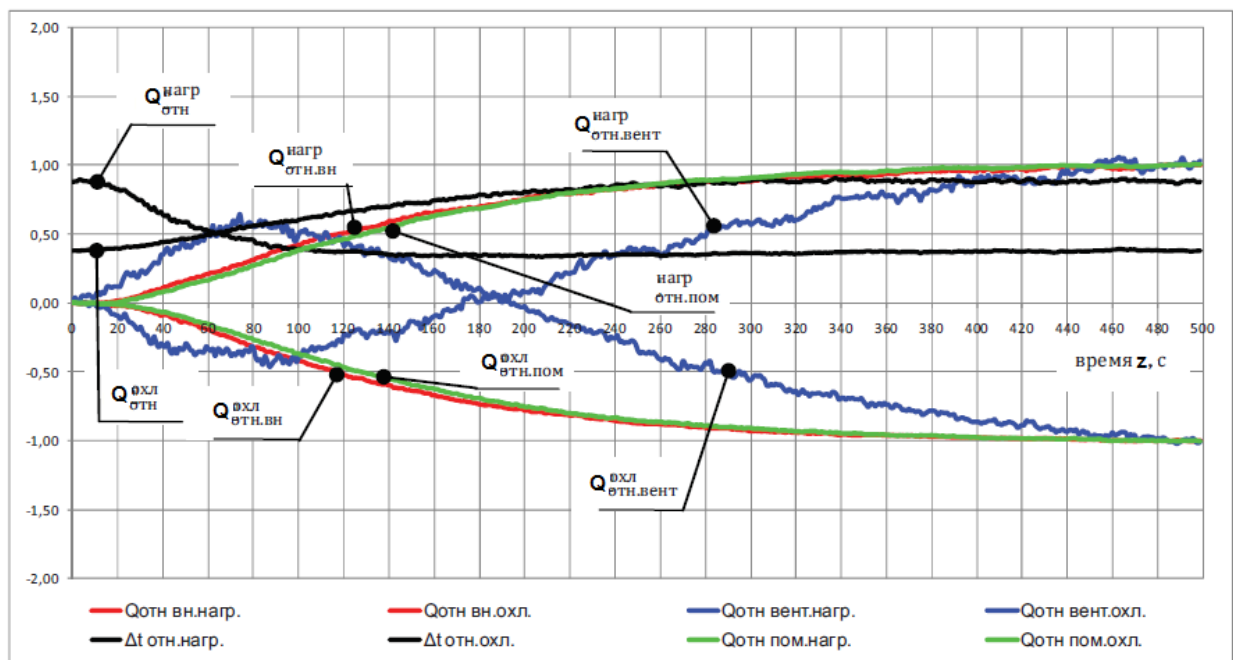


Рисунок 3 – Параметры работы блока «воздухонагреватель-вентилятор» при режимах: - вентилятора 0,7 ($70 \cdot 0,7 = 49$ Гц); - эл. воздухонагревателя при скачкообразном изменении мощности от 0,1 до 0,4

В первом случае (рисунок 2) на начальном этапе относительные тепловыделения вентилятора растут (в случае скачкообразного повышения мощности воздухонагревателя) или снижаются (в случае скачкообразного понижения мощности воздухонагревателя) быстрее, чем относительные тепловыделения воздухонагревателя. Это говорит о том, что на начальном этапе температура за вентилятором растёт быстрее, чем перед ним, в случае скачкообразного повышения мощности воздухонагревателя и, наоборот, в случае понижения. Далее происходит снижение (при повышении мощности воздухонагревателя) или

повышение (при понижении мощности воздухонагревателя) тепловыделений вентилятора с последующей их стабилизацией.

Во втором случае (рисунок 3) картина совершенно противоположная. На начальном этапе относительные тепловыделения вентилятора снижаются (в случае скачкообразного повышения мощности воздухонагревателя) или растут (в случае скачкообразного понижения мощности воздухонагревателя), в отличие от первого случая. Этот факт объясняется достаточно просто – часть избыточной теплоты, вносимой воздухонагревателем, расходуется на начальной стадии вентилятором на собственный прогрев. Далее происходит повышение (при повышении мощности воздухонагревателя) или снижении (при понижении мощности воздухонагревателя) тепловыделений вентилятора с последующей их стабилизацией.

В экспериментальных расчётах по исследованию переходных характеристик элементов СОМ использовались следующие формулы.

Нормированное время:

$$\bar{z} = \frac{z_{cur} - z_{in}}{z_{fin} - z_{in}}, \quad (1)$$

где z_{cur} , z_{in} , z_{fin} – время в текущий, начальный и конечный момент, с.

Относительная избыточная теплота, выделяемая воздухонагревателем:

$$Q_{отн.вн}^{нагр}(\bar{z}) = \frac{Q_{вн}^{нагр}(\bar{z})_{cur} - Q_{вн}^{нагр}(\bar{z})_{in}}{\left| Q_{вн}^{нагр}(\bar{z})_{fin} - Q_{вн}^{нагр}(\bar{z})_{in} \right|}, \quad (2)$$

где $Q_{вн}^{нагр}(\bar{z})_{cur}$, $Q_{вн}^{нагр}(\bar{z})_{in}$, $Q_{вн}^{нагр}(\bar{z})_{fin}$ – избыточная теплота, Вт, выделяемая или поглощаемая воздухонагревателем в текущий, начальный и конечный момент времени.

Относительная избыточная теплота, выделяемая вентилятором:

$$Q_{отн.вент}^{нагр}(\bar{z}) = \frac{Q_{вент}^{нагр}(\bar{z})_{cur} - Q_{вент}^{нагр}(\bar{z})_{in}}{\left| Q_{вент}^{нагр}(\bar{z})_{fin} - Q_{вент}^{нагр}(\bar{z})_{in} \right|}, \quad (3)$$

где $Q_{вент}^{нагр}(\bar{z})_{cur}$, $Q_{вент}^{нагр}(\bar{z})_{in}$, $Q_{вент}^{нагр}(\bar{z})_{fin}$ – избыточная теплота, Вт, выделяемая или поглощаемая вентилятором в текущий, начальный и конечный момент времени.

Относительный перепад температуры:

$$\Delta t_{отн}^{нагр}(z) = \frac{\Delta t_{вент.отн}^{нагр}}{\Delta t_{вн.отн}^{нагр}}.$$

Разогрев воздуха нагревательными элементами электрического нагревателя характеризуется экспериментальной кривой [3], на которой можно выделить четыре характерных участка (рисунок 4). Временные границы участков показаны ориентировочно и, как правило, зависят от конкретного режима совместной работы электрического воздухонагревателя и приточного центробежного канального вентилятора.

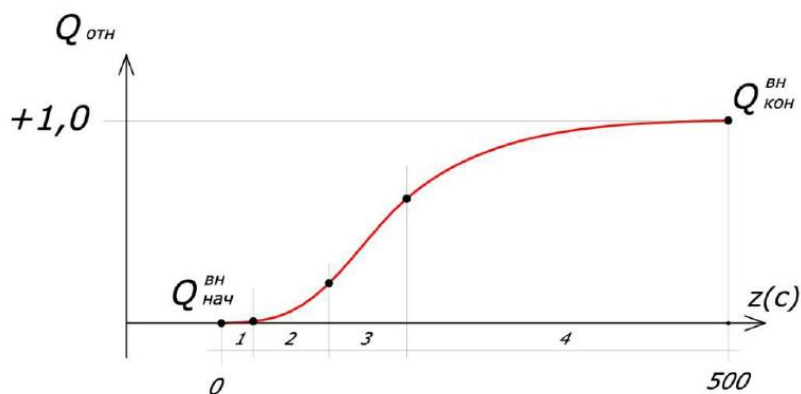


Рисунок 4 – Вид и характерные участки переходной функции воздухонагревателя при постоянной производительности вентилятора и скачкообразном изменении мощности воздухонагревателя

Вид экспериментальной кривой изменения относительной избыточной теплоты, поглощаемой вентилятором $Q_{отн.вент}^{нагр}(z)$ при постоянной производительности и скачкообразном нагреве потока воздуха в воздухонагревателе, представлен на рисунке 5. Характер изменения этой кривой более сложный, чем у воздухонагревателя. Относительная сложность вида переходной функции вентилятора является следствием следующих причин:

- вентилятор является источником стабильных тепловыделений при постоянной производительности и постоянном температурном напоре;
- вентилятор обладает значительной тепловой инерционностью за счёт существенной массы входящих в него конструктивных элементов – электродвигателя, рабочего колеса и корпуса [3].

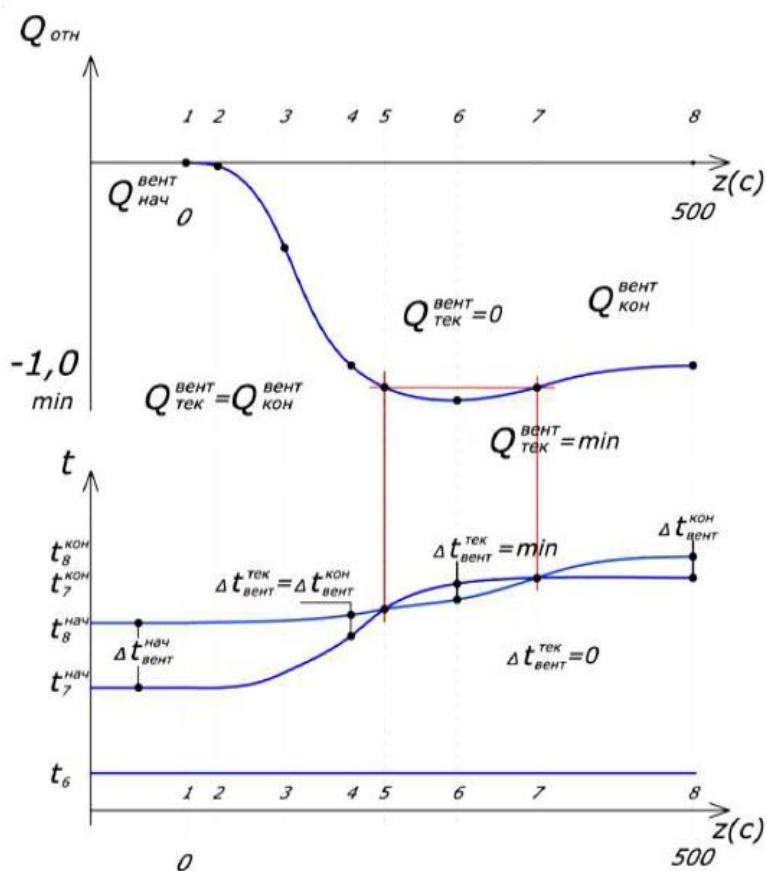


Рисунок 5 – Характерные точки и участки переходной функции вентилятора

Анализ экспериментальных данных показал, что зависимости изменения количества относительной явной теплоты, выделяемой воздухонагревателем $Q_{\text{отн.вн}}^{\text{нагр}}(z)$, хорошо аппроксимируется логистической функцией Гомперца, построенной методом наименьших квадратов (рисунок 5). Зависимость изменения количества явной относительной теплоты, выделяемой вентилятором, более сложная, чем у воздухонагревателя, но, тем не менее, хорошо аппроксимируется суммой двух функций: логистической функции Гомперца и функции вида распределения вероятностей случайной величины Рэлея (рисунок 6).

Для решения задачи методом наименьших квадратов применялся метод нулевого порядка Нелдера-Мида (метод деформируемого многогранника), который позволил обобщить экспериментальные данные с высокой степенью достоверности [3, 4]. Определённая в результате применения метода кривая является адекватной обобщающей функцией экспериментальной зависимости изменения относительной избыточной теплоты вентилятора и воздухонагревателя при скачкообразном нагреве и охлаждении вентиляционного воздуха (рисунок 6, 7).

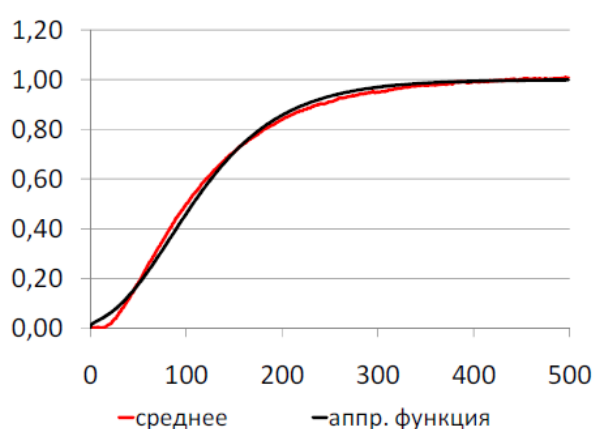


Рисунок 6 – Сопоставление осреднённых экспериментальных данных, полученных для воздухонагревателя с логистической кривой Гомперца

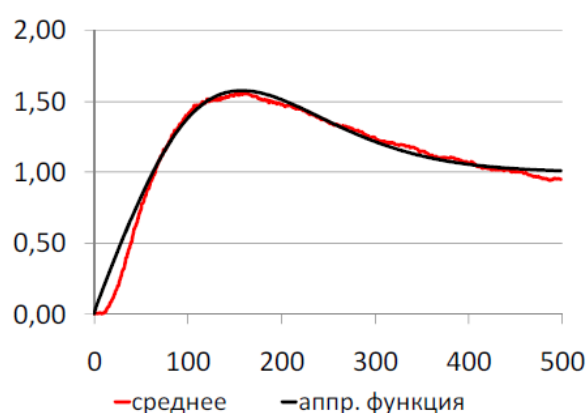


Рисунок 7 – Сопоставление осреднённых экспериментальных данных, полученных для вентилятора с аппроксимирующей зависимостью

Зависимости изменения количества явной относительной теплоты, выделяемой (или поглощаемой) вентилятором и воздухонагревателем при нагреве и охлаждении приточного воздуха, (рисунок 2, 3), симметричны относительно оси абсцисс, проходящей через $Q_{\text{отн}} = 0$. Поэтому на рисунках 6 и 7 экспериментальные и аппроксимирующие зависимости изображены в области положительных значений оси ординат.

Анализ и обработка результатов проведённых экспериментальных исследований позволил сделать следующие выводы.

1) Продолжительность и инерционность переходных процессов нагрева и охлаждения воздуха в элементах СОМ оказывает значительное влияние на запаздывание температуры воздуха помещения. Этот факт необходимо учитывать при проектировании алгоритмов интеллектуальных систем управления климатическими системами.

2) Экспериментальные зависимости переходных процессов в исследуемых элементах СОМ в относительных величинах имеют характерный, не случайный вид и практически симметричны при нагреве и охлаждении воздуха относительно оси абсцисс, проходящей через $Q_{\text{отн}} = 0$.

3) Полученные результаты могут быть использованы в дальнейшей работе по синтезу интеллектуальной системы управления СОМ, в которой используются эмпириче-

ские модели процессов формирования микроклимата для прогнозирования их эволюции в динамически изменяющихся условиях окружающей среды.

Библиографический список

1. Мансуров Р.Ш. Экспериментальное исследование переходных процессов в системах обеспечения микроклимата // Вестник МГСУ, 2011. – № 7. – С. 383-388.
2. Кувшинов Ю.Я., Мансуров Р.Ш. Интеллектуализация управления системами формирования микроклимата помещений // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН, 2012. – № 2(46). – С. 85-92.
3. Мансуров Р.Ш. Экспериментальное исследование термодинамических процессов в элементах систем обеспечения микроклимата // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН, 2013. – № 2(52). – С. 8-14.
4. Мансуров Р.Ш. Анализ переходных процессов в элементах систем обеспечения микроклимата // Приволжский научный журнал, 2014. – № 2. – С. 109-115.

УДК 621.644.07

ТЕПЛОЭФФЕКТИВНОСТЬ ОСТЕВОЙ И МЕЛКОЯЧЕИСТОЙ СТРУКТУРЫ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ ТРУБОПРОВОДОВ

Чапаев Д.Б., Зоря И.В., Ивакина А.А.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия.*

Аннотация. *Представлены результаты эксперимента по определению влияния структуры тепловой изоляции на теплотери трубопровода. Исследовались участки труб с мелкочаеистой структурой теплоизоляции и с остевой структурой, когда ости расположены перпендикулярно поверхности трубы. Показано, что теплоэффективность рассмотренной в статье теплоизоляции с остевой структурой существенно ниже, чем теплоизоляции с мелкочаеистой структурой.*

Ключевые слова: *замкнутая воздушная прослойка, структура тепловой изоляции, тепловая изоляция, тепловые потери, тепловые сети.*

Задача оптимизации структуры тепловой изоляции трубопроводов тепловых сетей включает в себя вопрос влияния структуры изоляции на ее теплоэффективность, решение которого позволяет создавать более дешевые качественные энергосберегающие материалы, как, например, теплоизолированная труба [1] и теплоизолирующая поверхность с остями [2].

В теплоизоляции основную изоляционную роль играет воздух, находящийся в неподвижном состоянии в объемах, размер которых не превышает длину волны электромагнитного излучения в инфракрасном диапазоне, так как он обладает наибольшими теплотехническими свойствами. Теплопроводность двухфазных (твердое вещество и воздух) теплоизоляционных материалов несколько выше, чем у воздуха (при температурном режиме описанной ниже экспериментальной установки 20–60°C коэффициент теплопроводности воздуха $\lambda_{\text{в}} = 0,026\text{--}0,029$ Вт/(м·град) [3]), ввиду относительно большого его значения у твердой фазы материала.

Важную роль играет структура двухфазного теплоизоляционного материала. Если рассматривать, например, остевую структуру с расположением остей перпендикулярно поверхности трубы и когда их протяженность равна толщине теплоизоляционного слоя и мелкочаеистую структуру, то в первом случае ости играют роль «мостиков холода», снижая теплоизоляционный эффект. В мелкочаеистой структуре «мостиков холода» не наблюдается, суммарный объем газовой фазы имеет наибольшую долю (при большой пористости), за счет чего снижается значение коэффициента его теплопроводности. Таким

образом, теплоизоляционные материалы с мелкоячеистой структурой должны давать больший теплоизоляционный эффект.

Проверка этого предположения осуществлялась на экспериментальной установке, схема которой приведена на рисунке 1.

Экспериментальная установка представляет собой контур из трубы $\varnothing 20 \times 2,5$ мм, по которому протекает вода, подогретая до температуры $t_{тр} = 60^\circ\text{C}$ в электрическом котле. В контур вмонтированы три образца из труб $\varnothing 20 \times 2,5$ мм длиной 0,5 м. каждый, с разной теплоизоляционной конструкцией:

– образец 1: в качестве покровного слоя – слой плотной резины толщиной 2 мм (коэффициент теплопроводности резины $\lambda_p = 0,15$ Вт/(м·град) [4]), на внутренней поверхности которого находится множество упругих резиновых остей ($\lambda_p = 0,15$ Вт/(м·град) средней (по высоте) толщиной 2,5 мм, расположенных в коридорном порядке с шагом 5,5 мм (в свету) перпендикулярно поверхности покровного слоя. Толщина зафиксированного остями воздушного зазора между металлической трубой и покровным слоем равна длине ости 7 мм;

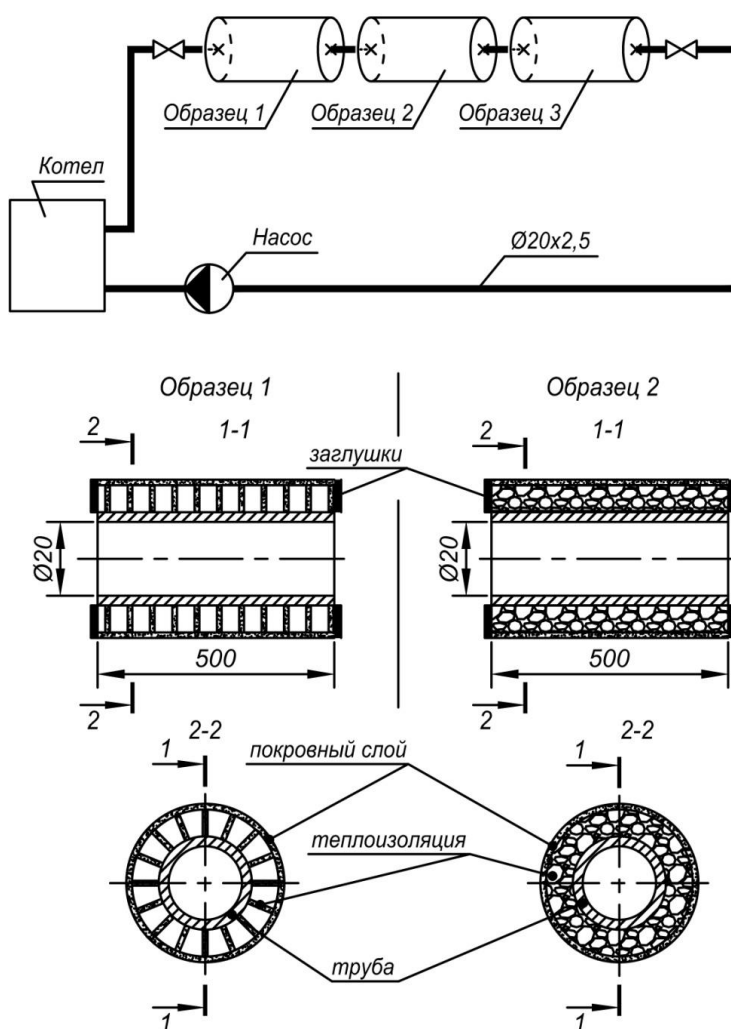


Рисунок 1 – Экспериментальная установка и образцы

– образец 2: в качестве покровного слоя – слой плотной резины толщиной 2 мм; пространство между трубой и покровным слоем заполнено высокопористым материалом мелкоячеистой структуры с твердой фазой из полиэстера (коэффициент теплопроводности полиэстера $\lambda_{п} = 0,14$ Вт/(м·град) [4]). Толщина твердой оболочки пор в среднем 0,5 мм, диаметр воздушных пор в среднем 1,5 мм. Толщина слоя теплоизоляции составляет 10,5 мм;

– образец 3 – к наружной поверхности трубы вплотную прилегает покровный слой из плотной резины толщиной 2 мм.

К наружной поверхности покровного слоя каждого образца прикреплен накладной датчик температуры, подающий сигнал на электронный термометр с разрешающей способностью измерения $0,1^{\circ}\text{C}$. Влияние структуры тепловой изоляции на теплотери устанавливалось по показаниям датчиков температур при разной скорости воды в контуре установки. Результаты эксперимента представлены в таблице 1.

Следует сказать, что на данном этапе исследований в качестве твердой фазы теплоизоляции в образцах 1, 2 использованы разные, но обладающие близкими теплоизолирующими свойствами материалы (разница между значениями λ_p и λ_n составляет 7 %). В дальнейшем, для более корректного сравнения, предполагается использование одного материала твердой фазы.

Таблица 1 – Результаты эксперимента

Скорость воды, м/с.	Температура внешней поверхности покровного слоя образцов t_n , $^{\circ}\text{C}$					
	образец 1		образец 2		образец 3	
	замеры	среднее	замеры	среднее	замеры	среднее
0,05	31,2	30,8	30,0	29,7	35,6	35,1
0,08	30,9		29,7		35,0	
0,13	30,8		29,8		35,2	
0,16	30,4		29,2		34,6	

Результаты эксперимента практически не зависят от скорости воды в контуре. При этом значение t_n образца 1 ниже, чем у образца 3, в среднем на 12 %; значение t_n образца 2 – на 15 %.

Определим линейную плотность теплового потока q_l всех трех образцов, для чего необходимо рассчитать эквивалентный коэффициент теплопроводности теплоизоляционных слоев $\lambda_{эк}$ образцов 1, 2.

Образец 1. Теплоизоляцию образца 1 можно представить как ряд параллельных тепловому потоку Q участков шириной $A_p = 0,0025$ м, состоящих из резины, и воздушных пустот шириной $A_v = 0,0055$ м, чередующихся между собой и расположенных в коридорном порядке относительно поверхности трубы; толщина слоя изоляции составляет $\delta_{из} = 0,007$ м (рисунок 2а).

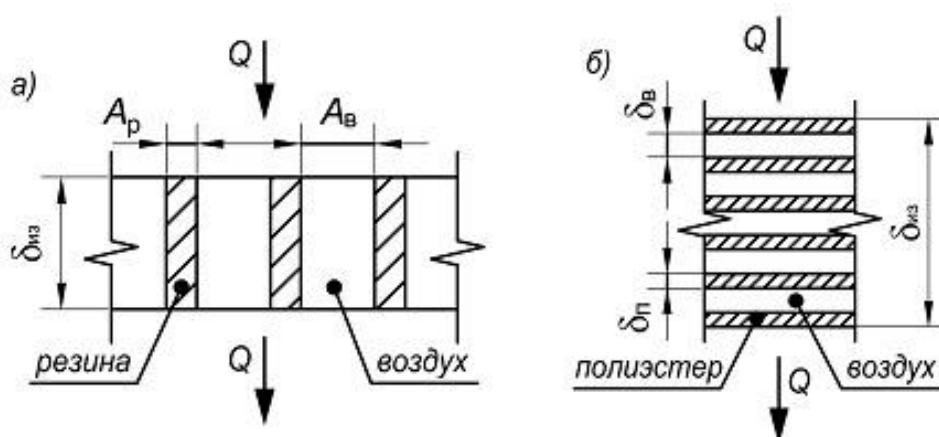


Рисунок 2 – Расчетные схемы теплоизоляционного слоя
а – схема образца 1; б – схема образца 2

При описанных выше условиях воздух в слое теплоизоляции образца 1, согласно [3, с. 99–100], неподвижен, поэтому перенос теплоты в воздушном слое обусловлен теплопроводностью. В этом случае значение $\lambda_{эк}$ определяется по формуле, [5, с. 43]:

$$\lambda_{\text{эк}} = \delta_{\text{из}} / \left(\frac{A_p + A_B}{\frac{\delta_{\text{из}}/\lambda_p}{\delta_{\text{из}}/\lambda_p} + \frac{A_B}{\delta_{\text{из}}/\lambda_B}} \right) = 0,007 / \left(\frac{0,0025 + 0,0055}{\frac{0,0025}{0,007/0,15} + \frac{0,0055}{0,007/0,028}} \right) = 0,07 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{град.}} \quad (1)$$

В формуле (1) значение λ_B , равное 0,028 Вт/(м·град), принято для средней температуры теплоизоляционной конструкции образца $t_{\text{ср}} = \frac{t_{\text{тр}} + t_{\text{п}}}{2} = \frac{60 + 30,8}{2} = 45,4^\circ\text{C}$.

Образец 2. Теплоизоляцию образца 2 в поперечном трубе сечении можно представить как перпендикулярные тепловому потоку Q чередующиеся между собой слои полиэстера толщиной $\delta_{\text{п}} = 0,0005$ м и воздушные прослойки толщиной $\delta_{\text{в}} = 0,0015$ м; всего теплоизоляция толщиной $\delta_{\text{из}} = 0,0105$ м может состоять из шести слоев полиэстера и пяти воздушных прослоек (рисунок 2б).

Воздух в прослойках неподвижен в связи с их малой толщиной (см. [3, с. 99–100]). В этом случае, согласно [5, с. 41], значение $\lambda_{\text{эк}}$:

$$\lambda_{\text{эк}} = \delta_{\text{из}} / \left(6 \frac{\delta_{\text{п}}}{\lambda_{\text{п}}} + 5 \frac{\delta_{\text{в}}}{\lambda_{\text{в}}} \right) = 0,0105 / \left(6 \frac{0,0005}{0,14} + 5 \frac{0,0015}{0,028} \right) = 0,04 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{град.}} \quad (2)$$

Линейная плотность теплового потока q_l образцов 1, 2 при $t_{\text{тр}} = 60^\circ\text{C}$ и средних значениях $t_{\text{п}}$ (из таблицы) определяется по формуле [3, с. 22]

$$q_l = \frac{2\pi(t_{\text{тр}} - t_{\text{п}})}{\frac{1}{\lambda_{\text{эк}}} \ln \frac{d_{\text{из}}}{d_{\text{тр}}} + \frac{1}{\lambda_p} \ln \frac{d_p}{d_{\text{из}}}}, \quad (3)$$

где $d_{\text{тр}}$, $d_{\text{из}}$, d_p – наружные диаметры, соответственно, трубы, изоляции, покровного слоя из резины.

$$\text{Для образца 3, согласно [3, с. 20], } q_l = \frac{\pi(t_{\text{тр}} - t_{\text{п}})}{2\lambda_{\text{эк}} \ln \frac{d_p}{d_{\text{тр}}}}. \quad (4)$$

Образец 1 – $q_{l1} = 28$ Вт/м; образец 2 – $q_{l2} = 13$ Вт/м; образец 3 – 183 Вт/м. Линейная плотность теплового потока образца 2 меньше, чем образца 1 на

$$\Delta_q = \frac{q_{l1} - q_{l2}}{q_{l1}} = \frac{28 - 13}{28} \cdot 100 = 54 \%.$$

Таким образом, структура материала влияет на эффективность теплоизоляции трубопроводов. Теплоэффективность рассмотренной в статье теплоизоляции с остевой структурой ниже, чем теплоизоляции с мелкоячеистой структурой на 54 %.

Библиографический список

1. Стерлигов В. В., Чекулаев А. А. Пат. м. 105709 Российская Федерация, МПК F16L 59/14. Теплоизолированная труба; заявители и патентообладатели В. В. Стерлигов, А. А. Чекулаев. № 2010147017/28; заяв. 17.11.10; опубл. 20.06.11. Бюл. № 17.
2. Стерлигов, В. В. Условия стагнации воздушного слоя для теплоизоляции // В. В. Стерлигов, Е. А. Плюснина // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. – 2014. – № 3 (9). – С. 44–47.
3. Михеев, М.А. Основы теплопередачи / М. А. Михеев, И. М. Михеева – М.: Энергия, 1977. – 344 с.

4. Чиркин, В. С. Теплофизические свойства материалов : справочник / В. С. Чиркин – М. : ФИЗМАТГИЗ, 1959. – 356 с.
5. Фокин, К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий / К. Ф. Фокин – М.: АВОК-ПРЕСС, 2006. – 256 с.

УДК 621.644.8

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ ТЕПЛОСЕТЕЙ ОТ ЦТП-1 Г. ОСИННИКИ НА ОСНОВАНИИ ДАННЫХ О ЗАМЕРАХ ТЕМПЕРАТУР ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ

Чапаев Д.Б., Зоря И.В., Логунова О.Я.

Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк

Аннотация. Выполнена оценка фактических относительных теплопотерь в квартальных тепловых сетях от ЦТП-1 г. Осинники Кемеровской обл. на основании ретроспективных данных о замерах температур теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах на границах балансовой принадлежности.

Ключевые слова: централизованное теплоснабжение, тепловые сети, тепловые потери.

Выполнена работа по оценке фактических относительных теплопотерь \bar{Q} квартального подающего трубопровода, транспортирующего теплоноситель на отопление жилых зданий от ЦТП-1, для средних за год условий функционирования в г. Осинники Кемеровской области.

Значения \bar{Q} за любой момент времени τ можно определить из выражения [1]:

$$\bar{Q} = \frac{t_1^{\text{ЦТП}} - t_1}{t_1^{\text{ЦТП}} - t_2}, \quad (1)$$

где $t_1^{\text{ЦТП}}$, t_1 , t_2 – температуры теплоносителя, соответственно, в подающем трубопроводе на выходе из ЦТП, в подающем трубопроводе на входе в здания, в обратном трубопроводе на выходе из зданий.

Исходные данные:

1) регулирование параметров теплоносителя после ЦТП – качественное по температурному графику 95/70°C. Тепловые сети проложены в непроходных каналах;

1) отчеты о потреблении тепловой энергии и теплоносителя указанными зданиями за период с ноября 2011 г. по март 2012 г., откуда принимались значения $t_1(\tau)$ и $t_2(\tau)$, зависящие от времени τ , по дням каждого месяца;

2) журнал учета значений $t_1^{\text{ЦТП}}(\tau)$ и температуры наружного воздуха $t_n(\tau)$, зависящие от времени τ , по дням отопительного периода 2011/2012 года;

3) температурный график 95/70°C работы котельных и второго контура системы отопления ЦТП ООО «Теплосетевая компания Южного Кузбасса», откуда принимались нормированные значения температуры теплоносителя в подающем трубопроводе для различных значений t_n .

Для того чтобы оценить относительные теплопотери в квартальных сетях, сначала были построены графики температур теплоносителя в подающем и обратном квартальных трубопроводах по дням наиболее холодных месяцев рассматриваемого отопительного периода (ноябрь 2011 г. – февраль 2012 г.). Графики представлены на рисунке 1, на котором:

– сплошная линия – температура $t_1^{\text{ЦТП}}(\tau)$, которая отличается от нормируемой температуры (по температурному графику 95/70°C) не более, чем на $\pm 1^\circ\text{C}$ (в основном на $\pm 0,5^\circ\text{C}$);

- штриховая линия – температура $t_1(\tau)$, средняя по зданиям, равноудаленным (по ходу движения теплоносителя) от ЦТП-1. Значения $t_1(\tau)$ по указанным зданиям отличаются друг от друга в среднем на $\pm 0,5^\circ\text{C}$;
- штрих-пунктирная линия – температура $t_2(\tau)$, средняя по зданиям, равноудаленным (по ходу движения теплоносителя) от ЦТП-1. Значения $t_2(\tau)$ по указанным зданиям отличаются друг от друга в среднем на $\pm 0,5^\circ\text{C}$;

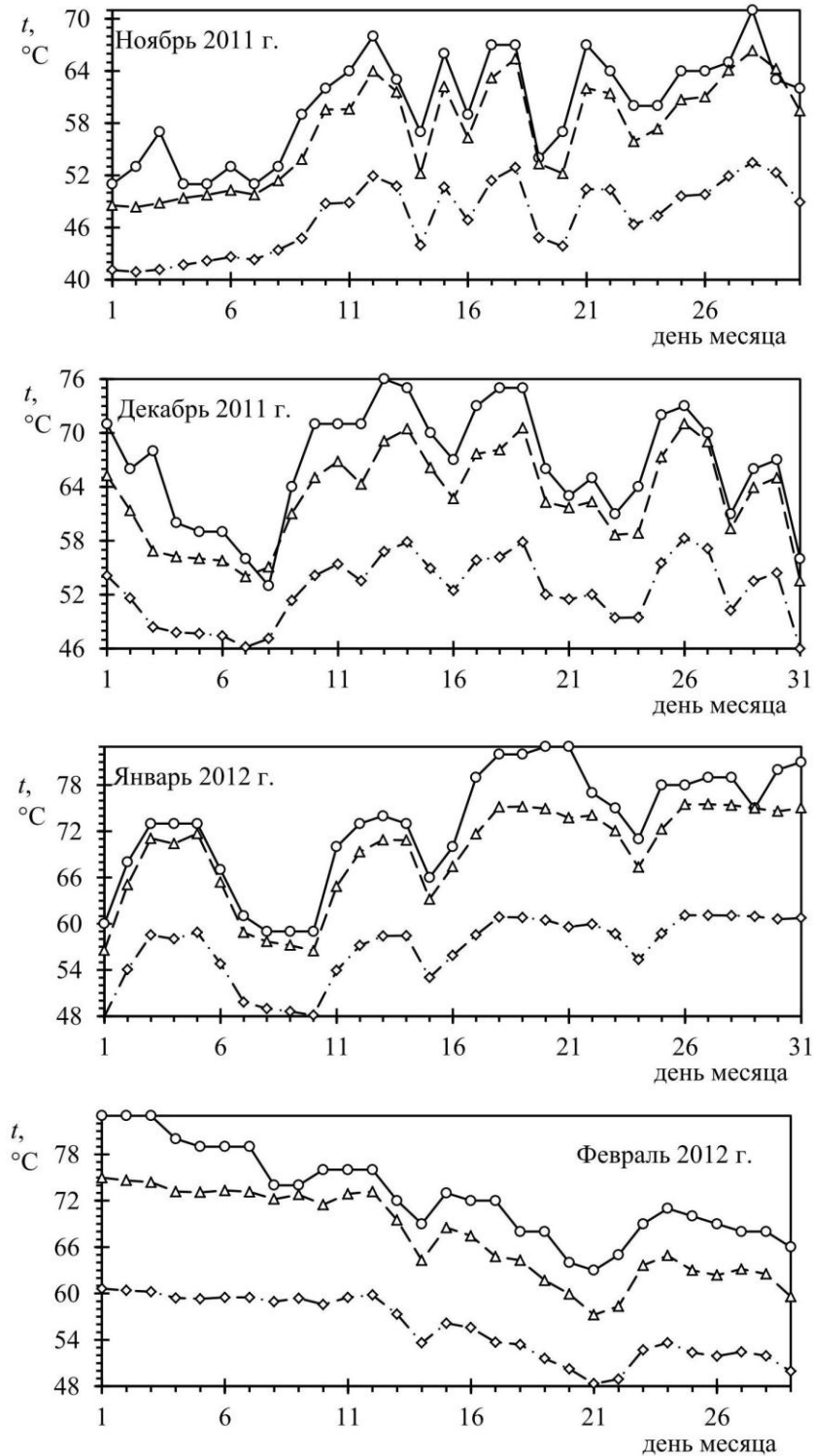


Рисунок 1 – Температуры теплоносителя
 Маркерами обозначены зафиксированные теплосчетчиками значения температур.

Колебания на графиках по дням отопительного периода связаны с качественным регулированием температур теплоносителя по температурному графику 95/70°C при различных температурах наружного воздуха t_n . При сопоставлении дат отопительного периода с их значениями t_n можно заметить увеличение падения температуры теплоносителя в подающем трубопроводе от ЦТП-1 до равноудаленных от него зданий $\Delta t_1(\tau) = t_1^{\text{ЦТП}}(\tau) - t_1(\tau)$ (разница ординат сплошной и пунктирной линий на графике) при понижении значения t_n .

Т.к. графики на рисунке 1 дают данные по падениям температур в сети для дней отопительного периода, в которые значение температуры наружного воздуха t_n различно или для ряда дней одинаково, то для получения корректного значения \bar{Q} для любого значения t_n целесообразно определить функцию $\bar{Q} = f(t_n)$. Для этого значения $\frac{t_1^{\text{ЦТП}} - t_1}{t_1^{\text{ЦТП}} - t_2}$

для каждого из указанных на рисунке 1 дней сопоставлены со значениями t_n в соответствующие дни. График $\bar{Q} = f(t_n)$ представлен на рисунке 2. Каждый маркер графика это фиксированное значение \bar{Q} , среднее по разным дням рассматриваемого периода, объединенных одним значением температуры t_n . Уравнение прямой линии, аппроксимирующей указанные точки:

$$\bar{Q}(t_n) = 20,33 - 0,45 t_n, \quad (2)$$

где температура t_n представлена в градусах Цельсия; \bar{Q} – относительные теплотери подающим трубопроводом в процентах от отпущенного с ЦТП тепла, безразмерная величина.

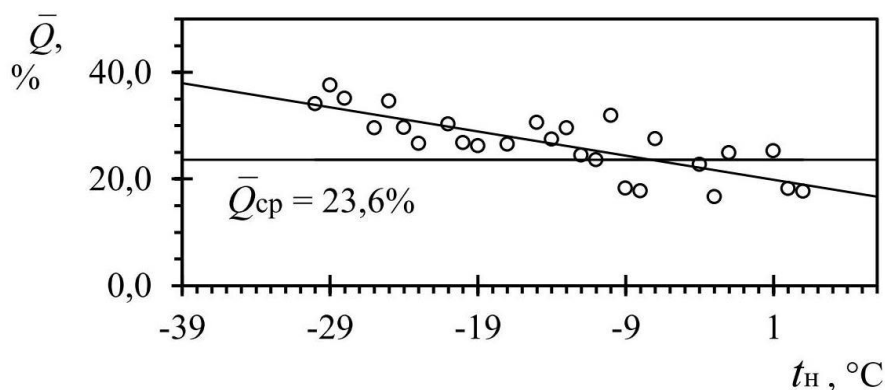


Рисунок 2 – Фактические относительные теплотери

Относительные теплотери в квартальных теплосетях носят обратную линейную зависимость от температуры наружного воздуха и составляют для сетей от ЦТП-1 г. Осинники в среднем 23,6 %. Высокое значение теплотерь говорит об ухудшении свойств теплоизоляционного материала квартальных сетей, в частности, из-за возможного намочения теплоизоляционной конструкции грунтовыми водами.

Библиографический список

1. Чапаев, Д. Б. Оценка относительных теплотерь квартальных теплосетей от ЦТП-1 г. Осинники Кемеровской обл. / Д. Б. Чапаев, И. В. Зоря, О. Я. Логунова // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. – 2014. – № 1 (7). – С. 30–33.

К ВОПРОСУ ОБ ОЦЕНКЕ СРОКА СЛУЖБЫ ТЕПЛОПРОВОДОВ С УЧЕТОМ ВНУТРЕННЕГО КОРРОЗИОННОГО ИЗНОСА

Чапаев Д.Б., Оленников А.А., Баклушина И.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия*

Аннотация. Предложены расчетные зависимости по определению скорости внутреннего равномерного коррозионного износа трубопроводов водяных тепловых сетей. Результаты расчета интенсивности износа позволили оценить срок службы теплопроводов центрального теплосетевого района г. Новокузнецка. Аппроксимированы известные опытные данные по растворимости магнетита в тепло-сетевой воде – зависимость растворимости магнетита от водородного показателя и температуры теплоносителя представлена уравнением поверхности.

Ключевые слова: внутренняя коррозия, коррозионный износ, надежность трубопроводов, растворимость магнетита, срок службы теплопроводов, тепловые сети.

Проблема малой надежности тепловых сетей по причине внутренней коррозии теплопроводов достаточно хорошо известна. Средняя удельная повреждаемость теплосетей по городам России из-за внутренней коррозии составляет не менее $0,125$ (км·год)⁻¹ при максимальной для одного объекта $0,94$ (км·год)⁻¹. В настоящее время еще нет подробной теории внутреннего коррозионного износа теплосетевых труб из-за сложности процессов, протекающих на поверхности корродирующего металла, в образующейся на поверхности пленке из продуктов коррозии и на границе «оксидная пленка – окружающая среда». В целом результаты этих процессов зависят от множества параметров. Сложность задачи связана с флуктуацией концентрации химических реагентов коррозии, электрических токов, химического состава материала труб и т.д. Учет многих параметров в теории затруднителен, но можно построить несколько частных моделей, которые в дальнейшем могут быть объединены в систему, позволяющую получить численные данные о коррозионном износе.

Нами проведены исследования внутренней коррозии трубопроводов водяных тепловых сетей г. Новокузнецка и разработана математическая модель внутреннего коррозионного износа, протекающего с кислородной деполяризацией, позволяющая оценить срок службы герметично изолированных со стороны грунта теплопроводов.

При разработке модели внутреннего коррозионного износа мы исходили из того, что коррозионный износ сталей в тепло-сетевой воде является совокупностью процессов: 1) начальная реакция чистого железа с окислителем; 2) отток доли $(1 - \chi)$ железосодержащих веществ путем диффузии от поверхности стали к теплоносителю; 3) массоперенос доли $(1 - \chi)$ железосодержащих веществ в поток теплоносителя.

Учитывались следующие допущения: окислителем является растворенный в сетевой воде кислород в нормативной для теплосетей концентрации (в этом случае на внутренней поверхности трубы в результате коррозии образуется твердый магнетит Fe_3O_4 , при превышении же норматива по концентрации кислорода в воде образуется рыхлый гематит Fe_2O_3 и коррозия носит иной характер); процессы коррозии под действием углекислотных ионов, а также сульфат- и хлорид-ионов пренебрежимо малы.

Механизм износа описан в [1], подробное изложение математической модели внутреннего коррозионного износа представлено в [2].

Модель внутреннего коррозионного износа позволяет определить зависимость глубинного показателя внутреннего равномерного коррозионного износа I от водородного показателя теплоносителя, его температуры и гидродинамических показателей, мм/год:

$$P = 3,6 \cdot 10^6 \cdot q \frac{\tau_p}{\rho_m} \cdot \frac{\theta C_{Fe}}{\frac{1}{k} + (1-\chi) \left(\frac{h}{D} + \frac{1}{h_D} \right)}, \quad (1)$$

где q – поправочный коэффициент, безразмерная величина; τ_p – время эксплуатации трубы, в часах; ρ_m – плотность металла трубы, кг/м³; θ – пористость пленки магнетита, безразмерная величина; C_{Fe} – равновесная концентрация (растворимость) магнетита Fe₃O₄, кг/м³; k – константа скорости реакции коррозии на границе «металл-оксид», определяемая по формуле Аррениуса, м/с; χ – доля магнетита в продуктах коррозии (для нормируемой концентрации кислорода в теплоносителе обычно $\chi = 0,5$), безразмерная величина; h – толщина плотного слоя магнетита, м (в среднем $h = 1 \cdot 10^{-5}$ м); D – коэффициент диффузии соединений железа в порах оксида с границы «металл-оксид» на границу «оксид-теплоноситель», м²/с; h_D – коэффициент их массопереноса с границы «оксид-теплоноситель» в однофазный поток теплоносителя при турбулентном течении, м/с.

Эмпирический коэффициент q предложено определять для различных условий эксплуатации теплосетей (для различных теплосетевых районов) в ходе сопоставления результатов расчета скорости износа с результатами натуральных измерений. Так, например, для центрального теплосетевого района города Новокузнецка по результатам натуральных измерений, представленных в [3]:

$$q = 210 d_e + 1,4, \quad (2)$$

где d_e – начальный внутренний диаметр трубы, мм.

Методика расчета значений θ , k , D , h_D изложена в [2].

Одним из определяющих факторов, влияющих на интенсивность внутреннего коррозионного износа, является растворимость магнетита.

Для удобства выполнения расчетов на ПЭВМ данные по растворимости магнетита C_{Fe} в диапазоне температур $40^\circ\text{C} \leq t \leq 300^\circ\text{C}$ и водородного показателя $8 \leq pH \leq 10$, представленные в [4] в виде отдельных опытных точек, нами аппроксимированы и найдено уравнение поверхности $C_{Fe}(t, pH)$, кг/м³:

а) при $pH \leq 9,25$ поверхность представляет собой ограниченный секущими плоскостями эллиптический параболоид:

$$C_{Fe}(t, pH) = \rho (m t^2 - n t + p) 10^{-9}, \quad (3)$$

где ρ – плотность теплоносителя, кг/м³; t – его температура, °C; множитель ($10^{-9} \cdot \rho$) переводит мкг магнетита / кг воды (результат, получаемый в скобках) в кг/м³; m , n , p – коэффициенты, определяемые по формулам:

– при $40^\circ\text{C} \leq t \leq 150^\circ\text{C}$: $m = 0,00823 pH^2 - 0,157 pH + 0,748$,

$$n = 1,129 pH^2 - 21,53 pH + 102,5, \quad p = 140,4 pH^2 - 2675 pH + 12730;$$

– при $150^\circ\text{C} \leq t \leq 300^\circ\text{C}$: $m = 0,004253 pH^2 - 0,0806 pH + 0,3815$,

$$n = 2,8672 pH^2 - 54,495 pH + 258,68, \quad p = 477,38 pH^2 - 9101,6 pH + 43344;$$

б) при $pH > 9,25$ поверхность является плоскостью:

$$C_F(t, pH) = \rho (0,0099 pH \cdot t - 0,103 t - 8,357 pH + 84,84) 10^{-9}. \quad (4)$$

Плотность $\rho(t)$ теплоносителя-воды в диапазоне температур $40^{\circ}\text{C} \leq t \leq 300^{\circ}\text{C}$ в вычислительном алгоритме нами предлагается определять по уравнению, $\text{кг}/\text{м}^3$:

$$\rho(t) = 1001,3 - 0,0026 t^2 - 0,1569 t, \quad (5)$$

где t – температура теплоносителя, $^{\circ}\text{C}$.

Результаты расчета $C_{Fe}(t, pH)$ для удобства считывания значений представлены на рисунке 1 в виде изолиний. На графике маркерами показаны опытные данные из [4], сплошными линиями – расчетные значения $C_{Fe}(t, pH)$, найденные по (3), (4).

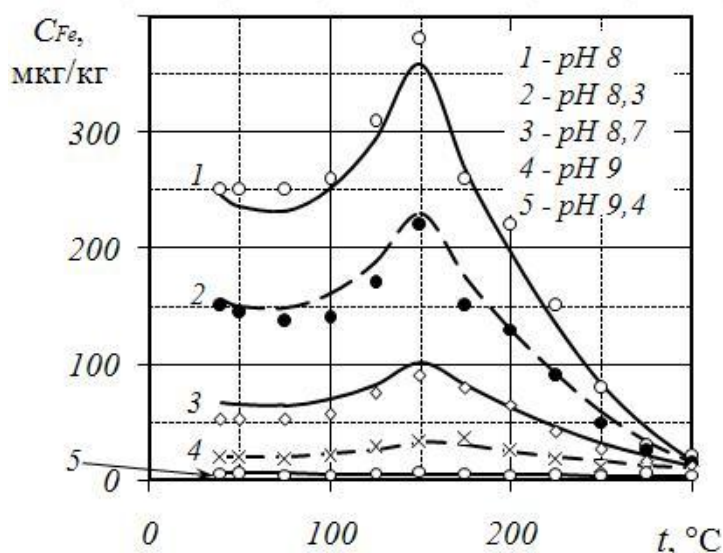


Рисунок 1 – Растворимость магнетита $C_{Fe}(t, pH)$ в теплоносителе

Значения глубинного показателя внутреннего равномерного коррозионного износа Π рассчитаны для прямолинейного участка трубопровода теплосетей центрального теплосетевого района г. Новокузнецка по формуле (1) для следующих исходных данных: $\tau_p = 8760$ часов (один год эксплуатации трубопровода); $d_e = 50$ мм; $\rho_m = 7800$ $\text{кг}/\text{м}^3$; расход воды в трубе $2 \cdot 10^4$ $\text{кг}/\text{час}$. Результаты расчета для характерных в системе теплоснабжения значений pH – на рисунке 2.

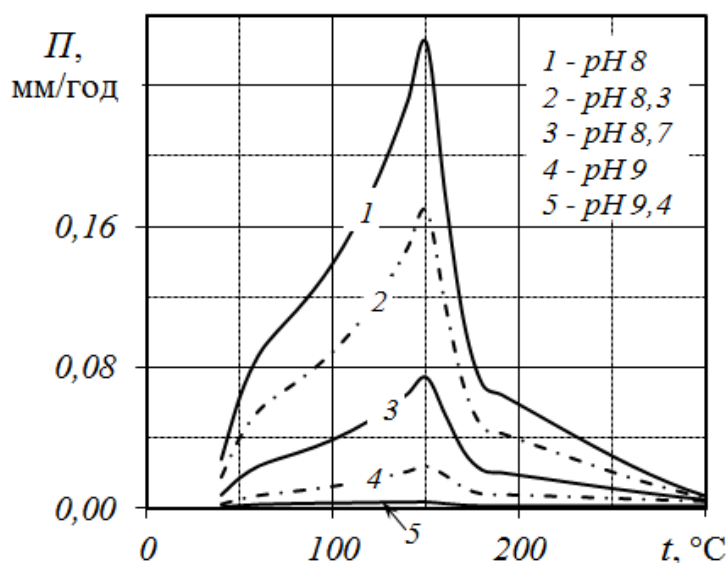


Рисунок 2 – Глубинный показатель внутреннего равномерного коррозионного износа для тепловых сетей центрального теплосетевого района г. Новокузнецка

В диапазоне температур $40\div 150^\circ\text{C}$ наблюдается экспоненциальный характер зависимости $\Pi(t)$. Скорость износа в этом диапазоне температур определяется скоростью реакции коррозии на границе «металл-оксид». Резкое снижение значения Π при дальнейшем повышении температуры до 180°C (степенная зависимость) связано со сменой знака температурного коэффициента растворимости C_{Fe} и усилением диффузионного контроля. При увеличении температуры выше 180°C износ протекает с диффузионным контролем. При $pH > 9,4$ скорость износа минимальна и почти не зависит от температуры.

Кроме того, рисунок 2 показывает целесообразность (с точки зрения коррозионного износа) применения в городских системах теплоснабжения теплоносителя с температурой не более 100 градусов Цельсия, что также является предпочтительным и с энергетической точки зрения [5].

Значения глубинного показателя Π для теплосетей центрального теплосетевого района г. Новокузнецка, представленные на рисунке 2, вполне согласуются с данными натуральных измерений [3].

Предложенная модель внутреннего коррозионного износа позволяет оценить срок службы герметично изолированного с наружной стороны теплопровода:

$$\tau_c = \frac{S - S_{np}}{w_{я} \Pi}, \quad (6)$$

где S – толщина стенки трубы, по сортаменту; S_{np} – минимально-допустимая по прочностным характеристикам толщина стенки трубы, определяемая по СНиП 2.04.12-86; $w_{я}$ – язвенный фактор, учитывающий локальное увеличение глубинного показателя Π , безразмерная величина.

Для ряда частных случаев теплопроводов, выполненных из углеродистой стали типа сталь 20, значение $w_{я}$ равно девяти при $8,5 < pH < 9,0$ [3]. При $pH > 9,5$ роста коррозионных язв на внутренней поверхности теплопроводов не наблюдается, коррозия носит равномерный характер [6]; в этом случае $w_{я} = 1$. Для труб из различных материалов значение $w_{я}$ различно. Например, для теплопроводов из кремнемарганцовистых сталей $w_{я} = 1$, что связано с частым относительно равномерным распределением включений MnS в материале трубы (следовательно, наличием мелких частых коррозионных язвочек на поверхности) [7]. Для дальнейшего совершенствования предложенной модели необходимо расширение базы данных по значениям $w_{я}$ для различных теплосетевых районов, определяемым эмпирически.

Расчет значений τ_c выполнялся для теплопроводов из углеродистой стали 20, условий центрального теплосетевого района г. Новокузнецка, скорости потока 3 м/с, температур от 60°C (среднегодовая в большинстве городских систем теплоснабжения) до 150°C (максимальная в этих же системах), значениях pH от 8 до 9 , при следующих исходных данных: $\tau_p = 8760$ часов; $\rho_m = 7800$ кг/м³; $w_{я} = 9$.

Наибольший интерес представляют не столько значения срока службы τ_c ряда стандартных диаметров труб, сколько зависимость τ_c от водородного показателя pH теплоносителя при различных значениях его температур t . Эти данные представлены на рисунке 3 для диаметра трубы $\varnothing 57 \times 3,5$ мм, температур 60°C , 150°C .

Из рисунка 3 видно, что при значениях pH от 8 до $8,6-8,75$ срок службы по причине локальной внутренней коррозии составляет не более 10 лет (в зависимости от температуры), резко увеличиваясь при больших значениях pH . Чем ниже температура теплоносителя, тем срок службы заметно больше.

В некоторых системах теплоутилизации (например, в системах гарнисажного охлаждения металлургических агрегатов) температуры теплоносителя достигают максимума в районе $120-130$ градусов Цельсия [8]. Из рисунка 3 видно, что срок службы теплопроводов при постоянном в течение года воздействии таких температур теплоносителя не сильно отличается от аналогичного показателя при 150°C .

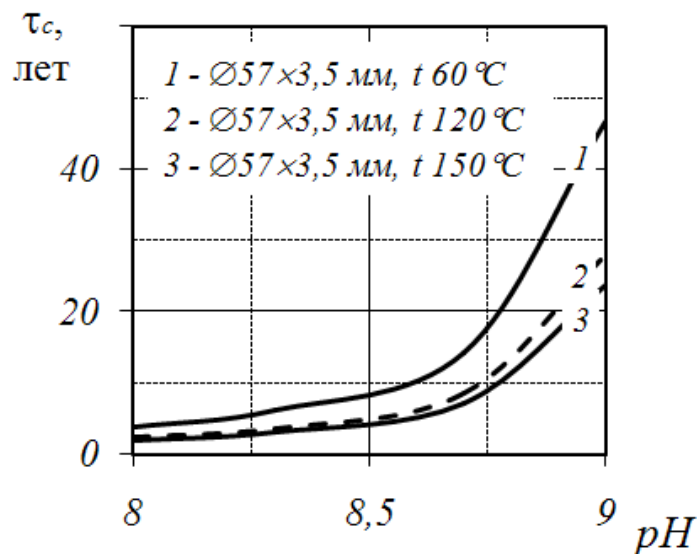


Рисунок 3 – Срок службы теплопровода Ø57×3,5 мм

Анализ модели показывает, что основными факторами, влияющими на интенсивность внутреннего равномерного коррозионного износа и срок службы герметично изолированных со стороны грунта трубопроводов тепловых сетей, являются температура теплоносителя и его водородный показатель, а также скорость потока.

Библиографический список

1. Басин, А. С. Методика расчета внутреннего коррозионного износа теплопроводов / А. С. Басин, Д. Б. Чапаев // Известия вузов. Строительство. – 2004. – № 2. – С. 83–87.
2. Чапаев, Д. Б. Расчет скорости внутренней коррозии трубопроводов водяных тепловых сетей из углеродистых сталей / Д. Б. Чапаев, А. А. Оленников // Известия вузов. Черная металлургия. – 2012. – № 4. – С. 33–36.
3. Чапаев, Д. Б. Характеристики внутренней коррозии и надежности тепловых сетей крупного города: дис....канд. техн. наук: 05.23.03: защищена 16.02.04: утв. 09.07.04. / Д. Б. Чапаев – Новосибирск, 2004. – 178 с.
4. Кристенсен, Оле. Новые датские стандарты водоподготовки / Оле Кристенсен, Свен Андерсен // Водоочистка. – 2008. – № 6. – С. 56–60.
5. Баймачев, Е. Э. Оптимизация температурного графика централизованного теплоснабжения по критерию минимума затрат эксергии / Е. Э. Баймачев, Л. М. Манзарханова, М. В. Туфанова, А. И. Левицкий // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2015. – № 6. – С. 68–72.
6. Балабан-Ирменин, Ю. В. Защита от внутренней коррозии трубопроводов водяных тепловых сетей / Ю. В. Балабан-Ирменин, В. М. Липовских, А. М. Рубашов – М.: изд-во «Новости теплоснабжения», 2008. – 288 с.
7. Чапаев, Д. Б. Коррозия стали 20 и стали 17ГС в теплосетевой воде / Д. Б. Чапаев // Известия вузов. Черная металлургия. – 2007. – № 4. – С. 49–51.
8. Tsymbal, V. P. Energy-metallurgical complex based on the spray-emulsion reactor / V. P. Tsymbal, S. P. Mochalov, A. A. Olennikov, A. M. Ognev // CIS iron & steel review – 2012. – № 1. – Pp. 13–15.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВЕТРА И СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ НА ТЕПЛОПОТРЕБЛЕНИЕ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ Г. НОВОКУЗНЕЦКА

Чапаев Д.Б., Оленников А.А., Смирнова Е.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия.*

Аннотация. Показано, что учет солнечной радиации за минусом влияния ветра на здания г. Новокузнецка Кемеровской области позволяет снизить годовое теплотребление системами отопления жилых зданий города на 22 % и сократить отопительный период на 15 дней без заметного снижения комфортных условий в помещениях.

Ключевые слова: климатические факторы, отопительный период, отопление, скорость ветра, солнечная радиация, теплотребление, температура наружного воздуха, экономия топлива, энергоэффективность.

В настоящее время с целью определения продолжительности отопительного периода и затрат топлива на отопление жилых зданий при определении годового теплотребления их системами отопления, учитывается только такой основной климатический фактор как температура наружного воздуха. В то же время учет влияния ветра и солнечной радиации позволяет уточнить годовое теплотребление системами отопления зданий и сроки начала-конца отопительного периода, что ведет к экономии затрат топлива на жилищно-коммунальный сектор без заметного снижения комфортных условий в жилых помещениях.

Годовое теплотребление системой отопления жилого здания можно определить из выражения:

$$Q_o = \sum_{i=1}^m (k_i F_i) \cdot \int_{\tau_1}^{\tau_2} (t_b - t_n(\tau)) d\tau, \quad (1)$$

где k_i , F_i – коэффициенты теплопередачи и площади поверхности i -ых наружных ограждений здания, соответственно; m – количество всех i -ых наружных ограждений; t_b – нормированное допустимое значение температуры внутреннего воздуха жилого здания; $t_n(\tau)$ – температура наружного воздуха, зависящая от времени τ ; τ_1 , τ_2 – даты начала и конца отопительного периода, соответственно.

Как видно из формулы (1), начало и конец отопительного периода должны определяться переходом температуры t_n через значение $t_n = t_b$, когда отсутствуют теплопотери помещениями (т.е. разность $\Delta t_{b-n}(\tau) = t_b - t_n(\tau)$ равна нулю), что в условиях Сибирского региона означало бы почти круглогодичную работу системы отопления. Поэтому в практике теплоснабжения время начала τ_1 и конца τ_2 отопительного периода приняты, согласно СП 124.13330.2012, при среднесуточной температуре наружного воздуха за пять суток подряд $t_n(\tau_1)$, $t_n(\tau_2)$, равной 8°C. Значение t_b для рядовых жилых комнат зданий г. Новокузнецка принимается равным 20°C согласно ГОСТ 30494-2011. Таким образом, продолжительность отопительного периода определена значениями разности температур Δt_{b-n} более 12°C.

Чтобы показать степень влияния таких климатических факторов как ветер и солнечная радиация на значение Q_o и на продолжительность отопительного периода, целесообразно в формуле (1) заменить разность температур Δt_{b-n} на такой перепад температур внутреннего и наружного воздуха Δt_s , при котором здание в условиях штиля и отсутствия солнечной радиации имело бы те же теплопотери, которые оно имеет при данной температуре наружного воздуха, скорости ветра и потоке солнечной радиации. Тогда значение

годового теплоснабжения системой отопления жилого здания будет определяться по формуле [1]:

$$Q_o^3 = \sum_{i=1}^m (k_i F_i) \cdot \int_{\tau_1}^{\tau_2} \Delta t_o(\tau) d\tau, \quad (2)$$

где $\Delta t_o(\tau)$ – эффективный перепад температур внутреннего и наружного воздуха, зависящий от времени τ , учитывающий температуру наружного воздуха, скорость ветра и солнечную радиацию.

Значение $\Delta t_o(\tau)$ можно определить из выражения [1]:

$$\Delta t_o(\tau) = \Delta t_{в-н}(\tau) + \Delta t_v(\tau) - \Delta t_R(\tau), \quad (3)$$

где $\Delta t_v(\tau)$, $\Delta t_R(\tau)$ – перепады температур внутреннего и наружного воздуха, обусловленные, соответственно: действием ветра (поправка на ветер), действием солнечной радиации (поправка на солнечную радиацию), определяемые по формулам [2]:

$$\Delta t_v(\tau) = \frac{\mu R_{ст}}{R_{св}} [A(\gamma, v) - 1] \cdot \Delta t_{в-н}(\tau), \quad (4)$$

$$\Delta t_R(\tau) = \mu \varepsilon R_{св} J(\tau), \quad (5)$$

где μ – относительная площадь светопрозрачных ограждений здания; $R_{ст}$ и $R_{св}$ – термические сопротивления стены и светопрозрачного ограждения; $A(\gamma, v)$ – функция, зависящая от коэффициента воздухопроницаемости γ и скорости ветра v ; ε – коэффициент пропускания светопрозрачными ограждениями суммарной солнечной радиации; J – поток суммарной (прямой и рассеянной) солнечной радиации на поверхность окон, зависящий от времени τ .

Поправка $\Delta t_R(\tau)$ в формуле (3) принята со знаком «–», т.к. поток солнечной радиации является дополнительным теплоснабжением, снижающим значение $\Delta t_o(\tau)$.

Расчет значений Q_o , Q_o^3 можно произвести с достаточной для инженерной практики точностью, если в формулы (4), (5) подставлять среднемесячные значения t_n , v , J .

Расчет годового хода среднемесячных значений перепадов температур выполнен для г. Новокузнецка при следующих исходных данных: $t_b = 20^\circ\text{C}$; значения t_n принимались равными среднемесячным из СП 131.13330.2012; $\mu = 0,3$; $R_{ст} = 1,07 \text{ м}^2 \cdot \text{град}/\text{Вт}$ (стена толщиной в 2,5 кирпича при коэффициентах теплоотдачи снаружи $\alpha_n = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град})$ и с внутренней стороны стены $\alpha_b = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град})$); $R_{св} = 0,44 \text{ м}^2 \cdot \text{град}/\text{Вт}$ (двойное остекление при этих же значениях α_n и α_b); $\varepsilon = 0,67$ (для окон с двойным остеклением без загрязнений осадками). Значения функции $A(\gamma, v)$ определялись по [2] при $\gamma = 0,2 \text{ сек}/\text{м}$ и среднемесячных значениях v , принятых из [3]. Значения J по месяцам принимались из СП 131.13330.2012 для восточной ориентации окон, как соответствующие, согласно [2], среднему значению по сторонам горизонта.

Результаты расчета представлены на рисунке 1. На графике показаны только месяцы отопительного периода, т.е. когда значения перепадов температур $\Delta t_{в-н} > 12^\circ\text{C}$ и $\Delta t_o > 0^\circ\text{C}$.

Как следует из сказанного выше, в настоящее время даты начала и конца отопительного периода в г. Новокузнецке определяются переходом кривой $\Delta t_{в-н}(\tau)$ на рисунке 1 через горизонтальную линию $\Delta t = 12^\circ\text{C}$, а время, когда $\Delta t_{в-н}(\tau)$ более 12°C , определяет продолжительность отопительного периода.

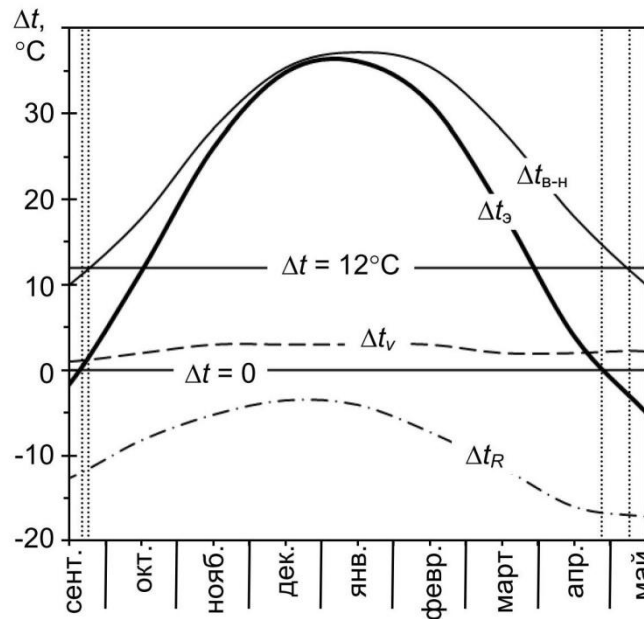


Рисунок 1 – Ход перепадов температур для г. Новокузнецка

Учет совместного действия t_n , скорости ветра и солнечной радиации при определении Δt_3 позволяет уточнить границы отопительного периода. Положительные значения Δt_3 в формуле (2) показывают наличие теплопотерь зданиями, когда необходима работа систем отопления; годовой ход положительных значений Δt_3 определяет требуемую продолжительность отопительного периода, а переход кривой $\Delta t_3(\tau)$ на рисунке через горизонтальную линию $\Delta t = 0$ – значения τ_1, τ_2 , рассчитанные при учете совместного действия на здания температуры наружного воздуха, скорости ветра и солнечной радиации. Видно, что в связи с избытком солнечной радиации весной целесообразно конец отопительного периода перенести так, как это показано на графике (с первой декады мая на последнюю декаду апреля). При этом температура наружного воздуха конца отопительного периода $t_n(\tau_2) = t_B - \Delta t_{B-H}(\tau_2) = 20 - 15 = 5^\circ\text{C}$, где значение $\Delta t_{B-H}(\tau_2)$, равное 15°C , принято из графика. Скорость ветра влияет на величину Δt_3 незначительно, что видно из графика (количественную оценку влияния ветра на теплопотребление здания можно сделать при сопоставлении результатов расчета, представленных в этой статье и в [4]).

Таким образом, избыток солнечной радиации в апреле-мае позволяет сократить отопительный период в г. Новокузнецке на 15 дней без заметного снижения комфортных условий в помещениях.

Значения Q_o, Q_o^3 можно найти с достаточной точностью из графиков годового хода $\Delta t_{B-H}(\tau), \Delta t_3(\tau)$ по формуле прямоугольников с шагом τ_m , равном одному месяцу:

$$Q_o \approx \sum_{i=1}^m (k_i F_i) \cdot \tau_m \cdot \sum_{j=1}^n (\Delta t_{B-H})_j, \quad Q_o^3 \approx \sum_{i=1}^m (k_i F_i) \cdot \tau_m \cdot \sum_{j=1}^n (\Delta t_3)_j, \quad (6)$$

где τ_m – средняя продолжительность месяца; n – количество месяцев отопительного периода. Сумма распространяется только на месяцы отопительного периода.

Относительное снижение годового теплопотребления системами отопления жилых зданий, обусловленное учетом ветра и солнечной радиации, %

$$\Delta = \frac{Q_o - Q_o^3}{Q_o} \cdot 100\% = \frac{\sum_{j=1}^n (\Delta t_{в-н})_j - \sum_{j=1}^n (\Delta t_3)_j}{\sum_{j=1}^n (\Delta t_{в-н})_j} \cdot 100\% . \quad (7)$$

Так как $\sum_{j=1}^n (\Delta t_{в-н})_j = 210^\circ\text{C}$ (суммируются месяцы, когда $\Delta t_{в-н}$ более 12°C);

$\sum_{j=1}^n (\Delta t_3)_j = 163^\circ\text{C}$ (суммируются месяцы, когда значения Δt_3 более 0°C), то для

г. Новокузнецка $\Delta = (210 - 163) \cdot 100 / 210 = 22\%$.

Аналогичным образом можно уточнить снижение теплотребления по месяцам отопительного периода, подставляя в формулу (7) соответствующие перепады температур отдельных месяцев. Значения Δ по месяцам представлены на рисунке 2.

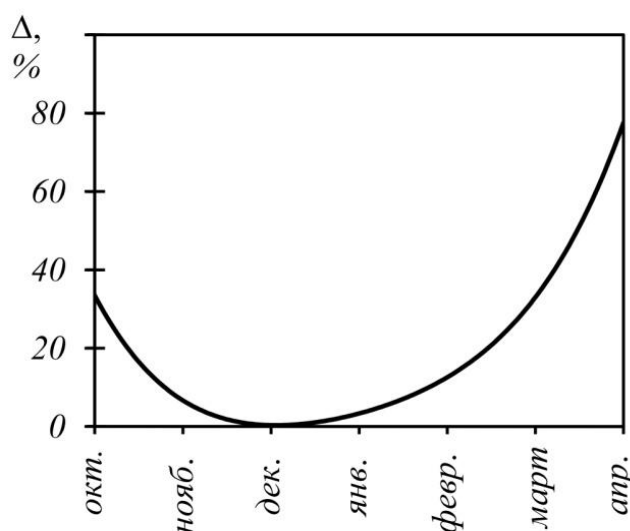


Рисунок 2 – Снижение теплотребления по месяцам

Снижение теплотребления зданиями за счет тепlopоступлений от солнечной радиации с учетом ветра в осенние месяцы (октябрь, ноябрь) составляет в среднем 20 %, в весенние месяцы (март, апрель) – 55 %. Зимой теплотребление системой отопления снижается в среднем на 5 %.

Библиографический список

1. Басин, А. С. Учет метеорологических факторов, прогрева конструкций и инфильтрационных тепlopотерь в расчете теплогового потока на отопление жилых зданий / А. С. Басин, Д. Б. Чапаев, Е. В. Смирнова // Новые строительные технологии 2010 : сб. науч. тр. ; СибГИУ. – Новокузнецк, 2010. – С. 263–265.
2. Гандин, Л. С. О расчете длительности отопительного периода и норм отопления в различных климатических условиях / Л. С. Гандин // Труды ГГО. – Л. : Гидрометеоиздат, 1971. – Вып. 285. – С. 3–16.
3. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. – С-Пб. : Гидрометеоиздат, 1993. – Ч. 1–6. Вып. 20. – 717 с.
4. Чапаев, Д. Б. Оценка экономии топлива в результате снижения тепlopотребления за счет тепlopоступлений от солнечной радиации при использовании автоматизированной системы отопления жилого здания / Д. Б. Чапаев // Вестник Сибирского государственного индустриального университета – 2014. – № 2(8). – С. 32–35.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ И СТЕКЛОПЛАСТИКОВЫХ ТРУБ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ДЕГАЗАЦИОННЫХ ГАЗОПРОВОДОВ

Башкова М.Н., Зоря И.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет
г.Новокузнецк, Россия, tn419@mail.ru*

Аннотация. Проведено сравнение пропускной способности стальных и стеклопластиковых труб, применяемых для дегазации шахтных выработок. Сравнение проведено на диаметрах 150-500 мм при расходах от 5 до 350 м³/мин.

Ключевые слова: стеклопластиковые и стальные трубы, пропускная способность.

Уголь в России добывается в пределах нескольких бассейнов, рассредоточенных по всей стране. Кузнецкий угольный бассейн является крупнейшим по объемам добычи каменного угля. По итогам 2014 года добыча угля в регионе составила 211 млн тонн [1,2] и с небольшими колебаниями продолжает расти. Увеличение добычи угля сопровождается таким осложняющим фактором, как резкое увеличение выделения в выработки шахт метана. Влияние газового фактора отразилось не только на количестве внеплановых остановок забоев шахт, но и на статистике аварий. В результате возникла потребность шахт в эффективной дегазации разрабатываемых угольных пластов.

На отечественном рынке дегазационных труб, разрешенными к применению в условиях шахты, являются только стальные и стеклопластиковые трубы.

Для расчетов различных трубопроводных систем необходимо учитывать пропускную способность трубы в зависимости от ее диаметра. Это величина, основанная на объеме среды, проходящей за определенный промежуток времени через поперечное сечение. Данный показатель во многом зависит от материала, из которого труба изготовлена. Гладкая внутренняя поверхность стеклопластиковых труб, снижающая образование отложений угольной пыли, обеспечивает низкое аэродинамическое сопротивление труб, давая возможность удлинить трубу и способствуя увеличению пропускной способности при таком же диаметре. Кроме того, стабильно низкое аэродинамическое сопротивление стеклопластиковых труб позволит применить более экономичные по затратам электроэнергии вакуумные насосы.

Расчеты, сравнивающие пропускную способность металлических и стеклопластиковых труб, были проведены в табличном редакторе Excel .

Задавались:

1. Расход метановоздушной смеси;
2. Объемное содержание метана;
3. Внутренний диаметр труб;
4. Шероховатость труб и длина участков и магистральных трубопроводов.

Рассчитывались:

1. Кинематическая вязкость метановоздушной смеси [3];
2. Плотность метановоздушной смеси при нормальных условиях [4];
3. Скорость движения метановоздушной смеси;
4. Число Рейнольдса;
5. Коэффициент трения λ определялся в зависимости от режима движения потока [5] на все возможные режимы. Следует отметить, что расчетные данные по стальным трубам совпали с данными, приведенными в [4];
5. Удельные потери на трение [4];
6. Потери на трение на участке [4];

7. По разности потерь определялся выигрыш по пропускной способности [4];
8. По разности потерь определяется выигрыш (проигрыши) по длине газопроводов как отношение потерь на трение стального газопровода к удельным потерям на трение стеклопластика.

Условное теоретическое сравнение металлических и стеклопластиковых труб одинакового диаметра на 100 м длины приведено в таблице 1.

Таблица 1 – Условное теоретическое сравнение металлических и стеклопластиковых труб одинакового диаметра по пропускной способности и длине

Расход, м ³ /мин	Диаметр, мм	Преимущество, %	
		По длине	По пропускной способности
5	150	0	0
10		9,5	6
20		12	7
30		15	8
50		19,7	9
5	200	0	0
10		0	0
20		8,7	6
30		10,5	6,5
50		13,5	7
5	300	0	0
10		0	0
20		0	0
30		5,7	5,1
50		7,0	5,5
100		10	6
10	400	0	0
20		0	0
30		0	0
50		4,2	4,5
100		5,7	4,9
200		9,1	6,0
50	500	0	0
100		3,2	3,9
200		5,2	4,7
250		6,2	5,0
300		7,2	5,4
350		8,1	5,7

При использовании стеклопластиковых труб, размерный ряд которых отличается от стандартного ряда для стальных труб, можно было ожидать, что при переходе со стальных труб большего диаметра на стеклопластиковые трубы меньшего диаметра пропускная способность увеличится или останется на прежнем уровне. Проведенные расчеты показали, что такое может случиться только на очень близких диаметрах и при больших расходах.

Библиографический список

1. Характер шахтерского Кузбасса: [Электронный ресурс]: «Российская газета» - Федеральный выпуск №6613 (42) – Режим доступа свободный: <http://www.rg.ru/2015/03/02/kuzbass.html>
2. Владимир Путин оценил возможности Кузбасса : [Электронный ресурс] : «Российская газета». Власть. – Режим доступа свободный: <http://www.rg.ru/2014/10/30/kuzbass-site.html>
3. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. Л.: Химия, 1987. - 576 с.
4. Инструкция по дегазации угольных шахт.-М: ЗАО НТЦ ПБ, 2012. -248 с.
5. Теоретические основы теплотехники. Теплотехнический эксперимент: справочник/ под общ. Ред. В.А. Григорьева. - М: Энергоатомиздат, 1988. -560 с.

УДК 658.26+621.181.7(65.012)

Определение КПД котельного агрегата

Башкова М.Н.

*Сибирский государственный индустриальный университет
г.Новокузнецк, Россия, tn419@mail.ru*

Аннотация. Проведен теоретический расчет коэффициента полезного действия паровых и водогрейных котлоагрегатов. Определен объем замеров для определения КПД реально действующих котлов.

Ключевые слова: коэффициент полезного действия, паровые и водогрейные котлоагрегаты.

Котлоагрегат [1] является основной частью котельной установки и служит для выработки пара заданных параметров для паровых тепловых двигателей и производственных или отопительных целей.

Работа котлоагрегата сопровождается неизбежными тепловыми потерями [2,3] и поэтому не все тепло топлива в нем, полезно используется для получения определенного количества пара. Распределение тепла, выделившегося при сжигании топлива, на полезное и потери носит название теплового баланса парогенератора. Тепловой баланс дает все необходимые данные для анализа работы парогенератора, его состояния и наиболее выгодных режимов эксплуатации. Проанализировав данные теплового баланса, можно разработать необходимые мероприятия, направленные на улучшение показателей работы парогенератора.

Уравнение теплового баланса имеет вид

$$100\% = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6,$$

где q_1 – полезная теплота, затраченная на нагрев воды и парообразование в парогенераторе

q_2 – потери тепла с уходящими газами

q_3 – потери тепла от химической неполноты горения

q_4 – потери тепла от механической неполноты сгорания

q_5 – потери тепла в окружающую среду

q_6 – потери от физического тепла шлака (при отсутствии водоохлаждаемых элементов).

Коэффициент полезного действия котлоагрегата (брутто) по обратному балансу, %

$$\eta = q_1 = 100 - \sum_{i=2}^{n=6} q_i .$$

Итак, рассчитать и составить тепловой баланс парогенератора можно, произведя соответствующие вычисления или измерения параметров на действующем парогенераторе.

При работе на твердом топливе небольшие агрегаты, как правило, имеют слоевые топki и их расчет подчиняется нормам, изложенным в [4]. В таблице 1 приводятся результаты теплового расчета паровых котлов паропроизводительностью 4÷25 т/ч и давлением вырабатываемого пара 0,7 МПа. Котлы работают на Кузнецком угле марки СС теплотой сгорания 23,4 МДж/кг. Данные для расчетов приняты по [4]. В таблице 2 приведены результаты работы тех же котлов на промпродукте Кузнецкого угля марки «Ж» теплотой сгорания 17,71 МДж/кг и зольностью $A^r=39,5\%$. Расчеты для водогрейных котлов приведены в таблице 3.

Таблица 1 – Результаты теплового расчета паровых котлов на Кузнецком угле марки СС

Паропроизводительность, т/ч (кг/с)	2,5(0,69)	4(1,11)	6,5(1,81)	10(2,78)	25(6,94)
Теплопроизводительность, МВт	1,62	2,6	4,2	6,46	16,2
Потери, %: с теплом шлака q_6 ;	0,35		0,28		
от наружного охлаждения q_5 ;	3,6	2,8	2,3	1,7	1,2
с механическим недожогом q_4 ;	12,5		15,0		
с химическим недожогом q_3 ;	1				
с уходящими газами q_2 (температура уходящих газов);	6,05 (160)		6,5 (170)	6,97 (180)	
Кпд, %	76,5	77,3	75,4	75,5	75,6
Расход натурального топлива, кг/ч /условного топлива, кг у.т./ч	288,5/ 230,4	456,8/ 364,8	761,4/ 608,1	1169/ 993,6	2921,4/ 2333,2

Таблица 2 – Результаты теплового расчета паровых котлов на промпродукте Кузнецкого угля марки «Ж»

Паропроизводительность, т/ч (кг/с)	2,5(0,69)	4(1,11)	6,5(1,81)	10(2,78)	25(6,94)
Потери, %: с теплом шлака q_6 ;	1,0		0,81		
от наружного охлаждения q_5 ;	3,6	2,8	2,3	1,7	1,2
с механическим недожогом q_4 ;	12,5		15,0		
с химическим недожогом q_3 ;	1				
с уходящими газами q_2 (температура уходящих газов);	6,2 (160)		6,7 (170)	7,11 (180)	
Кпд, %	75,7	76,5	77,8	74,2	74,9
Теплопроизводительность, МВт	1,62	2,6	4,2	6,46	16,2
Расход натурального топлива, кг/ч /условного топлива, кг у.т./ч	385,2/ 232,8	609,9/ 368,7	1098,1/ 663,3	1559,7/ 942,7	3894,0/ 2353,7

Таблица 3 – Результаты теплового расчета водогрейных котлов на Кузнецком угле марки СС и промпродукте Кузнецкого угля марки «Ж»

Топливо	Уголь СС		Промпродукт	
Теплопроизводительность, МВт	23,26	11,63	23,26	11,63
Потери, %: с теплом шлака q_6 ;	0,28		0,81	
от наружного охлаждения q_5 ;	1,2	1,5	1,2	1,5

Топливо	Уголь СС		Промпродукт	
Теплопроизводительность, МВт	23,26	11,63	23,26	11,63
с механическим недожогом q_4 ;	15		15	
с химическим недожогом q_3 ;	1		1	
с уходящими газами q_2 (температура уходящих газов);	9,13 (230)		14,3 (230)	
Кпд, %	73,4	73,1	67,7	67,4
Расход натурального кг/ч /условного топлива, кг у.т./ч	4875/ 3890	2451/ 1956	6984/ 4219	3507/ 2118

Как видно из результатов, при использовании [4] изменение зольности топлива (приведенные значения Ar^{PP} , % для 1 и 2 таблиц 0,78 и 2,2 соответственно) существенно не меняет величины потерь от механического недожога q_4 , а следовательно и кпд котла. Увеличение расхода топлива более, чем на 30% и сохранение величины расхода условного топлива наблюдается из-за теплоты сгорания топлива. Снижение кпд в водогрейных котлах наблюдается из-за повышенной температуры уходящих газов.

Для определения всех тепловых потерь и составления теплового баланса работающего котельного агрегата необходимо произвести следующие замеры:

- расход сожженного топлива B , кг/ч или $m^3/ч$ (определяется путем суммирования навесов топлива или по расходомерам с последующим делением на время испытания;
- расход питательной воды D , кг/ч, который будет равен паропроизводительности;
- давление P и температуру t_n пара, отпускаемых потребителю (для определения энтальпии пара по $i - s$ диаграмме);
- состав дымовых газов за парогенератором (CO_2 , O_2 , CO), определяемый на газоанализаторе по анализу пробы газа, отсасываемой из газохода;
- температуру и давление воздуха в котельной перед подачей в топку, °С, мм рт.ст, – замеряются по термометру и барометру, устанавливаемым в котельной;
- температуру дымовых газов, покидавших парогенератор, замеряемую с помощью термопары, подключенной к прибору на щите управления парогенератором;
- температуру питательной воды, поступающей в парогенератор, замеряемую термометром или термопарой на щите управления котлом;
- теплоту сгорания топлива Q_n^P , кДж/кг или кДж/ m^3 , подаваемого в топку и определяемой экспериментально в калориметрической бомбе или рассчитываемую по элементарному составу топлива;
- процентное содержание горючих в провале $\Gamma^{пр}$, шлаке $\Gamma^{шл}$ и уносе, определяемое методом выжигания навески провала шлака в лаборатории;
- содержание золы топлива в шлаке, провале и уносе;
- температуру наружной поверхности установки и температуру окружающего воздуха.

Можно предположить, что кпд, которые будут получены, окажутся значительно ниже расчетных.

Библиографический список

1. Башкова М.Н., Казимиров С.А., Темлянцев М.В., Багрянцев В.И., Рыбушкин А.А., Слажнева К.С./ Практика и перспективы применения различных способов сжигания твердого топлива в теплоэнергетических установках// Вестник СибГИУ, 2014. №2. С.24-32.
2. Башкова М.Н., Казимиров С.А., Слажнева К.С./ Анализ возможностей оборудования вихревыми топками действующих котельных агрегатов малой и средней мощности// Вестник СибГИУ, 2015, №1(11), с. 44-49.

3. Башкова М.Н., Боровский В.Ф., Боровский В.В./ О длительности горения топлива на примере котлов малой теплопроизводительности марки «STROPUVA»// Вестник СибГИУ, 2014, №4(10), с.15-17.

4. Тепловой расчет котлов (Нормативный метод). Издание 3-е переработанное и дополненное. СПб: Изд-во НПО ЦКТИ, 1998.-256 с.

УДК 004.42

ПРОГРАММНЫЙ ПАКЕТ ДЛЯ КОНСТРУИРОВАНИЯ СХЕМ УТИЛИЗАЦИИ ВТОРИЧНОЙ ЭНЕРГИИ ОТ ОТХОДЯЩИХ ГАЗОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ АГРЕГАТОВ

Оленников А.А.

*Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк, Россия, oaa@cirkul-m.ru*

***Аннотация.** Описаны три уровня сложных систем состоящие из подсистем. Представлен программный комплекс, используемый для проектирования вариантов утилизации вторичной энергии от металлургических агрегатов. Описана пошаговая работа с программным комплексом. Показаны результаты расчета программного комплекса в виде графических зависимостей.*

***Ключевые слова:** программный комплекс, адекватность, сложный теплообмен, котел-утилизатор, коэффициент использования тепловой энергии, схема утилизации энергии*

В металлургическом процессе коэффициент полезного действия всего цикла составляет порядка 20%. Часть энергии расходуется на протекание процесса в основном технологическом агрегате. Около 20-30% энергии уходит на тепловые потери через стенки агрегата, гарнисажное охлаждение и 40-50% теряется с отходящими газами [1, 2].

Учитывая, что с каждым днем дорожает добыча и переработка топлива, и истощаются мировые запасы, проблемы энергоресурсосбережения ставятся на одно из первых мест. Необходимо всё шире внедрять энергосберегающие технологии. Поэтому наиболее рациональным вариантом является создание энерго-металлургического комплекса, в основу которого положено два подхода к использованию энергии. Речь идет о физической и химической регенерации тепловой энергии.

Первый подход основан на утилизации тепловой энергии энергетическими установками: котлами-утилизаторами, системами гарнисажного охлаждения, установками подогрева топлива. В зависимости от мощности металлургического агрегата, полученная тепловая энергия в первых двух установках, в среднем от 2МВт до 15 МВт, может использоваться для отопления производственных цехов. Включение к котлу-утилизатору паровой турбины позволит получить от 50 до 420 кВт электрической энергии. Такой подход позволит снизить нагрузку на котельную или ТЭЦ предприятия, а утилизация энергии отходящих газов составит около 70-85%.

Второй подход основан на использовании химического потенциала отходящего газа с последующим получением моторного топлива. Это процесс состоит из следующих стадий: сначала отходящий газ попадает в реформер, затем проходит сероочистку, осуществляется каталитический синтез, где вырабатывается синтез-газ. Полученный газ с объемным отношением CO/H_2 близким к 1/1 может использоваться и как энергетическое топливо и как сырье для получения синтетического топлива. Такой вариант утилизации позволяет использовать всю физическую и химическую энергию отходящего газа с эффективностью до 98% энергоиспользования. Такая технология позволит создать полностью бездымный процесс.

Выполнить проект любого варианта утилизации энергии отходящих газов, основанного на одном из подходов весьма не простая задача. Необходимо знать цели исполь-

зования утилизируемых вторичных энергетических ресурсов (ВЭР), а также выполнить емкие расчеты. Перспективным способом решения этой задачи является моделирование процессов теплообмена, газодинамики на ЭВМ, что позволяет существенно сократить трудоемкость и избежать многих ошибок при проектировании и оценки.

При разработки моделей используемых в программном комплексе рассматривался подход к моделированию сложных систем. В основу закладывается поэлементно-физическая постановка задачи, анализ и синтез системы по ее отдельным составным частям. Этот подход носит название метод прямой аналогии [3].

Адекватность построенных таким образом сложных моделей, базируется на дополнительном положении о подобии сложных систем, сформулированном В.А. Вениковым в развитии первой теории подобия [3].

В рассматриваемой работе мы имеем дело, по крайней мере, с тремя уровнями сложных систем, собираемых из подсистем.

Первый уровень: процессы в отдельных конструктивных элементах теплоиспользующих агрегатов (пучках труб, соединительных каналах и т.д.). Здесь в качестве элементарных систем рассматриваются процессы сложного теплообмена между тепловоспринимающими элементами и средами, процессы трения газа о стенки и т.п., которые описываются фундаментальными физическими законами, справедливость этих законов считается доказанной, а конечный результат зависит от используемых сочетаний и соединений.

Второй уровень: теплоутилизирующие агрегаты в целом. Они состоят из описанных выше конструктивных элементов. И следовательно, вид сложной системы этого (второго) уровня зависит от сочетания и способа соединения отдельных конструктивных элементов (систем первого уровня). Примерами сложных систем второго уровня являются: котлы-утилизаторы, газовые турбины, агрегаты кипящего слоя и т.п. [4, 5].

К этому уровню относятся модели сложного теплообмена в котлах-утилизаторах [6, 7]:

Для коридорного пучка

$$\alpha_K = 0,2C_s C_z \frac{\lambda}{d} \left(\frac{wd}{\nu} \right)^{0,65} Pr^{0,33} + 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\alpha_3 + 1}{2} aT^3 \frac{1 - \left(\frac{T_3}{T} \right)^{3,6}}{1 - \frac{T_3}{T}}, \quad (1)$$

где C_s – поправка на геометрическую компоновку пучка; определяется в зависимости от относительного шага труб;

C_z – поправка на число рядов труб по ходу газов; определяется в зависимости от среднего числа рядов в отдельных пакетах рассчитываемого пучка;

λ – коэффициент теплопроводности материала пучка труб;

d – диаметр пучка труб;

w – скорость газового потока;

ν – коэффициент кинематической вязкости текущей среды;

Pr – число Прандтля;

α_3 – степень черноты загрязненных стенок лучевоспринимающих поверхностей;

a – степень черноты потока газов в зависимости от температуры;

T, T_3 – температура газов и наружной поверхности стенки с учетом загрязнений.

Для шахматного пучка

$$\alpha_{III} = 0,36C_s C_z \frac{\lambda}{d} \left(\frac{wd}{\nu} \right)^{0,6} Pr^{0,33} + 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\alpha_3 + 1}{2} aT^3 \frac{1 - \left(\frac{T_3}{T} \right)^{3,6}}{1 - \frac{T_3}{T}}. \quad (2)$$

Модель для определения потерь давления на трение с учетом транспортировки газа под повышенным давлением

$$\Delta P = P_{CT1} - P_{CT2} = P_{CT1} - \left[P_{CT1}^2 - \left(\lambda \frac{l}{d_{\text{эKB}}} \cdot \frac{\rho w^2}{2} \cdot \frac{2PT_{CT}}{T} \right) \right]^{0.5}, \quad (3)$$

где P_{CT1}, P_{CT2} – соответственно давление газа в начале и в конце участка газопровода;
 l – длина рассматриваемого газохода;
 $d_{\text{эKB}}$ – эквивалентный диаметр канала для прохода отходящего газа;
 ρ – плотность перемещаемого газа;
 T_{CT}, T – соответственно средняя в пределах рассчитываемого участка газового канала температура стенки и отходящего газа.

Третий уровень составляют комбинации описанных выше агрегатов, их набор осуществляют по критерию полезного теплоиспользования, который определяется после расчетов теплоиспользующих установок, включенных в газовый тракт и выявления их частных коэффициентов использования тепловой энергии, следующим образом [8]:

$$\sum \eta_{\text{КПТ}} = \eta_{\text{АГР}}^{\text{ИСП}} + \eta_{\text{ГО}}^{\text{ИСП}} \cdot \eta_{\text{ГО}}^{\text{КПД}} + \eta_{\text{У1}}^{\text{ИСП}} \cdot \eta_{\text{У1}}^{\text{КПД}} + \eta_{\text{У2}}^{\text{ИСП}} \cdot \eta_{\text{У2}}^{\text{КПД}} + \dots + \eta_{\text{УN}}^{\text{ИСП}} \cdot \eta_{\text{УN}}^{\text{КПД}}, \quad (4)$$

где $\eta_{\text{АГР}}^{\text{ИСП}}, \eta_{\text{ГО}}^{\text{ИСП}}, \eta_{\text{У1}}^{\text{ИСП}}, \eta_{\text{У2}}^{\text{ИСП}}, \eta_{\text{УN}}^{\text{ИСП}}$ – соответственно, коэффициенты теплоиспользования металлургического агрегата, гарнисажного охлаждения и последовательно соединенных энергоутилизаторов и газоочистных систем;

$\eta_{\text{ГО}}^{\text{КПД}}, \eta_{\text{У1}}^{\text{КПД}}, \eta_{\text{У2}}^{\text{КПД}}, \eta_{\text{УN}}^{\text{КПД}}$ – соответственно, коэффициенты полезного действия системы гарнисажного охлаждения, теплоутилизаторов и газоочистных систем.

Таким образом, при последовательном применении указанного дополнительного положения адекватность получаемых сложных систем из подсистем нижнего уровня (прежде всего качественную) можно считать доказанной. Настройка же конкретных параметров, особенно для агрегатов второго уровня, естественно возникнет, но только после реализации проектных решений.

На основе представленных моделей создан и в настоящее время активно развивается программный продукт SKV_SAPR, разработанный с использованием объектно-ориентированного подхода [8, 9], а также технологии многопоточных приложений.

В задачу программного продукта входит: компоновка схемы утилизации энергии отходящих газов; конструктивный расчет теплоэнергетических установок, используемых в схеме; расчет количества тепла, воспринятого установками энергоутилизации; оценка потерь давления по газовому тракту, включая энергоутилизаторы; расчет физических параметров отходящих газов на каждом участке газового тракта; поиск оптимального варианта теплоэнергетической установки и всей схемы с участием эксперта; выдача технической документации и рекомендаций по проектированию.

На рисунке 1 представлена структура программного комплекса. На начальном этапе моделирования, задаются технические условия и выходные параметры отходящего газа металлургического агрегата: состав, расход, давление, температура. В соответствии с названием проекта создаются рабочие файлы и формируются пути к ним.

Далее выполняется компоновка схемы энергоутилизации, при этом возможно обращение к базе данных с целью выбора предлагаемого варианта, рассчитанного ранее, либо конструирования нового. Далее вычисляют термодинамические параметры отходящего газа на основе известных термодинамических законов и приступают к описанию и вводу необходимых данных для теплоэнергетических установок. При этом возможно обращение к расширяемым базам данных, которые разработаны в среде Microsoft Access и содержат, нормативную, конструкторскую, теплофизическую и энергетическую документации стандартных моделей, предлагаемых заводом-изготовителем, либо сконструированных самостоятельно. По завершению ввода данных выполняются расчеты и выводятся результаты по текущей установке по ходу движения газов.

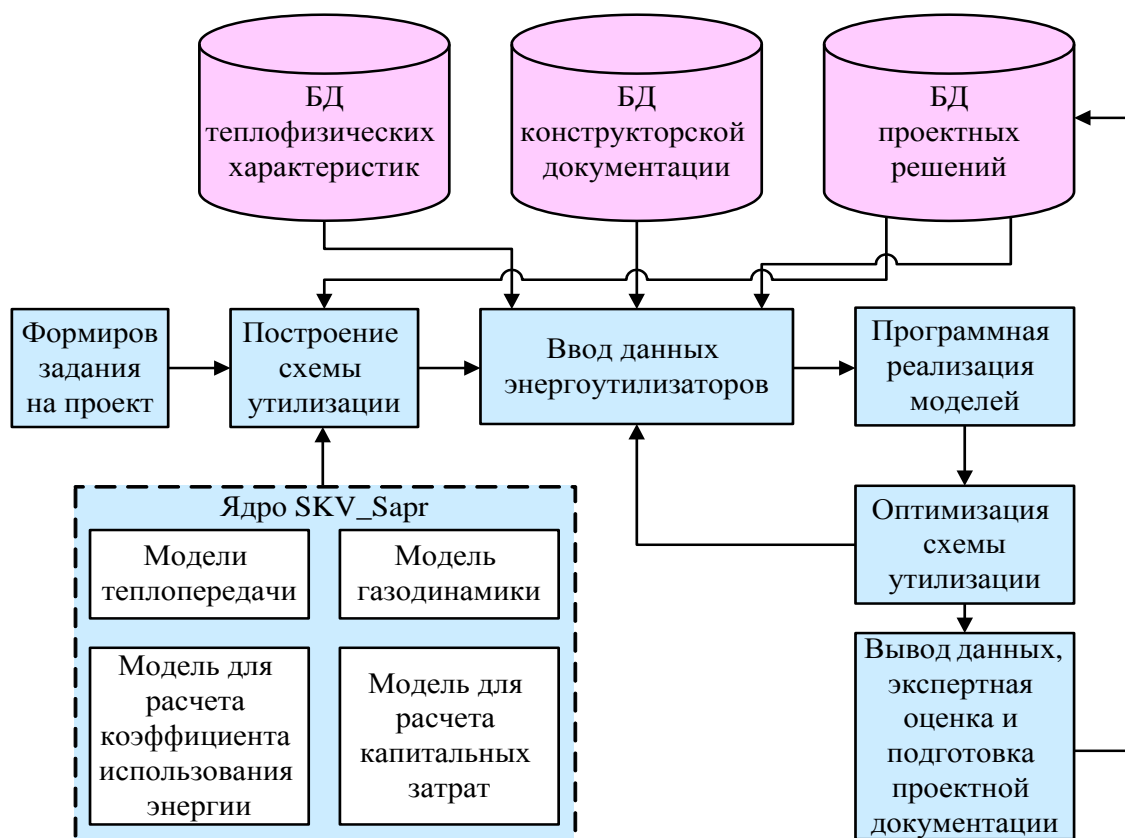


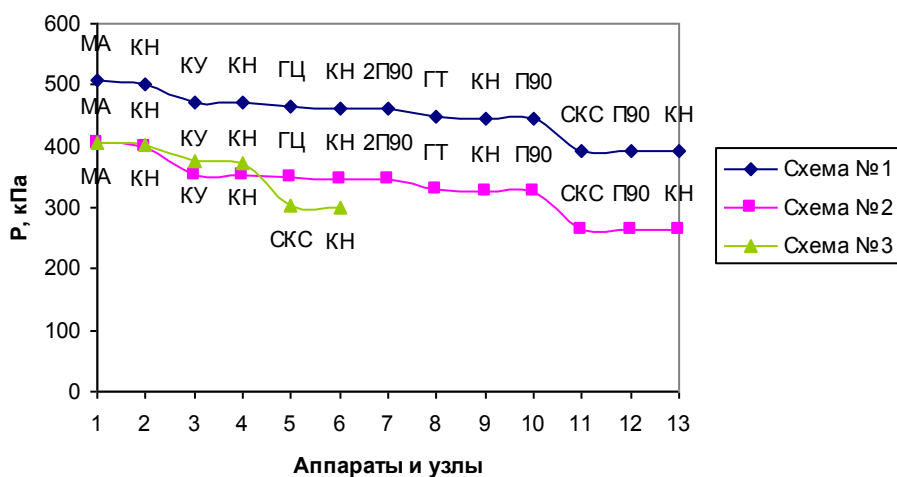
Рисунок 1 – Структура комплекса SKV_SAPR

По завершению работы над последним энергоутилизатором, находящимся в схеме, выполняется расчет, по результатам которого определяют окончательные конструкторские параметры установок, возможное усвоение ими тепловой энергии, потери давления на каждом участке схемы, определение термодинамических параметров газа и его калорийности. Если же проектом предполагается выбрать эффективный вариант из набора схем утилизации энергии, тогда выполняется анализ по сквозному коэффициенту использования тепловой энергии. Полученные результаты оцениваются экспертом, если необходимо вносятся необходимые изменения в конфигурации установки и выполняются перерасчеты.

Ниже приведен фрагмент расчета программного комплекса. На рисунках 2 и 3 рассмотрено три возможных схемы энергоутилизации, представлены графические зависимости потерь давления и утилизируемой тепловой энергии (при различных конструктивных параметрах систем энергоутилизации, газоочистки, узлов сопротивлений и каналов).

Таким образом, использование данного программного комплекса позволяет конструировать схемы энергоутилизации, выполнять расчеты и выбирать оптимальный вариант по коэффициенту сквозного теплоиспользования, а также исследовать влияние основных режимных параметров.

Предложенные модели и программный комплекс прошли апробацию в ОАО «Сибирский Сантех Проект», г. Новокузнецка. Полученные данные были сопоставлены со сторонними программными продуктами и имеют положительные отзывы проектировщиков работающих в теплотехнической области.



МА – металлургический агрегат; КН – канал; КУ – котел–утилизатор; ГЦ – группа циклонов; П90 – поворот на 90°; ГТ – газовая турбина; СКС – сушило кипящего слоя

Рисунок 2 – Падение давления в установках энергоутилизации, систем газоочистки, узлах сопротивлений и каналов

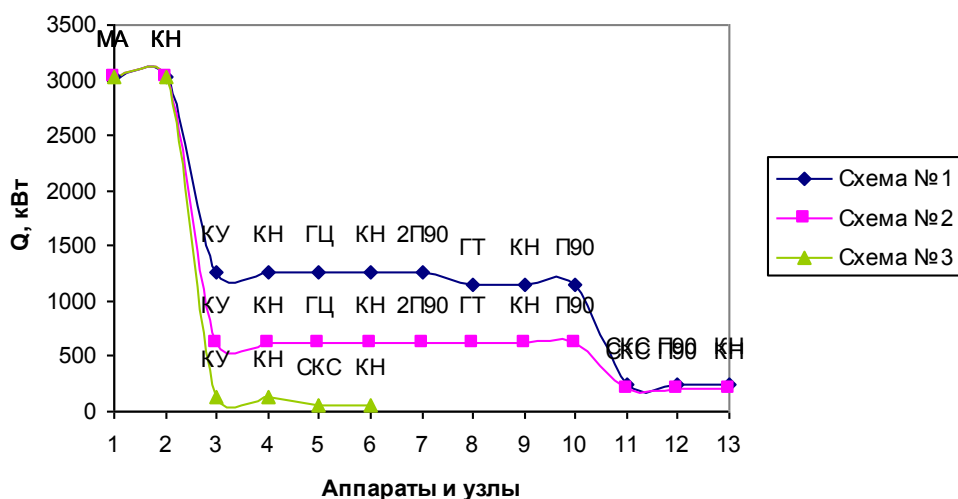


Рисунок 3 – Тепловая энергия, полезно использованная утилизаторами

Библиографический список

1. Курунов И.Ф., Савчук Н.А. Состояние и перспективы бездоменной металлургии железа. – М.: Черметинформация, 2002. – 198 с.
2. Цымбал В. П., Мочалов С. П., Рыбенко И. А. и др. Процесс СЭР - металлургический струйно-эмульсионный реактор. М.: Металлургиздат, 2014. 488 с.
3. Тетельбаум И.М., Тетельбаум Я.И. Модели прямой аналогии. – М.: Наука, 1979. 834 с.
4. Войнов А.П., Зайцев В.А., Куперман Л.И. и др. Котлы–утилизаторы и энерго-технологические агрегаты. М.: Энергоиздат, 1989. 272с.
5. Оленников, А.А. Математическое моделирование и комплекс программ для решения задач утилизации вторичной энергии отходящих газов металлургических агрегатов струйно–эмульсионного типа : дис.....канд. техн. наук : 05.13.18 : защищена 08.12.09 : утв. 12.03.10. / А. А. Оленников – Новокузнецк, 2009. – 133 с.

6. Оленников А.А. Математическая и физическая модели котла–утилизатора и агрегата кипящего слоя применительно к струйно–эмульсионному реактору типа СЭР / Оленников А.А., Цымбал В.П. // Изв. Вузов. Чер. металлургия. – 2009 – №8. – С. 43–51.

7. Оленников А.А. Математическая модель и алгоритм расчета котла–утилизатора, работающего на вторичных энергоресурсах агрегатов жидкофазного восстановления / Оленников А.А. // IX Международная научно–практическая конференция: Проблемы энергосбережения и экологии в промышленном и жилищно–коммунальном комплексах. – Пенза. ПДЗ. – 2008. – С. 277–279.

8. Оленников А.А. Варианты и оценка эффективности использования вторичных энергоресурсов для агрегатов жидкофазного восстановления / Оленников А.А., Цымбал В.П. // Изв. Вузов. Чер. металлургия. – 2008. – №6. – С. 43–51.

9. Оленников А.А. Комплекс моделей и программ для оптимизации вторичной энергии металлургических процессов прямого восстановления / Оленников А.А., Цымбал В.П. // Творческое наследие Б.И. Китаева: труды междунар. науч.–практ. конф. 11–14 февраля 2009 г. Екатеринбург: УГТУ–УПИ. – 2009. – С. 232–236.

УДК 004.94

ВИРТУАЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА СУШКИ В АППАРАТАХ КИПЯЩЕГО СЛОЯ

Оленников А.А., Чапаев Д.Б.

*Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк, Россия, oaa@circul-m.ru*

***Аннотация.** Представлен программный продукт позволяющий имитировать процесс сушки сыпучих материалов в аппаратах кипящего слоя колонного типа. Основное внимание уделено процессу сушки материалов нагретым воздухом, подаваемым под давлением при помощи вентиляторных установок. Подробно изложено взаимодействие пользователя с разработанной программой. Приведены некоторые основные модели использованные при разработке виртуального лабораторного комплекса.*

***Ключевые слова:** аппарат кипящего слоя, вентиляторная установка, неоднородный режим, виртуальная лабораторная установка, вентиляционный клапан, фильтрационная секция, калориферная установка.*

Виртуальная лабораторная установка представляет собой программный комплекс, позволяющий проводить исследования на компьютере без непосредственного контакта с реальной лабораторной установкой или стендом. Виртуальная установка, как правило, сочетает в себе имитационную динамическую модель оборудования и оболочку, включающую методическое сопровождение лабораторной работы. Динамическая модель формируется из совокупности элементов управления, позволяющих регулировать конкретные входные параметры и считывать выходные параметры опыта, тем самым имитируя протекание физических процессов.

С развитием компьютерной графики стало возможным создавать высокореалистичные трехмерные модели лабораторных установок, станков, приборов и прочих объектов. Гармоничное сочетание текстур материалов и освещения, а также возможность перемещения камеры в трехмерном пространстве, дает наиболее полное ощущение виртуальной реальности.

Представленная виртуальная лабораторная установка разработана в среде Visual Basic.NET – это новый мощный язык программирования, созданный корпорацией Microsoft. Этот язык программирования не позволяет программировать по-старому, т.к. по сути, является совершенно другим языком, таким же, как и любой другой язык программирования для платформы .NET. Индивидуальность языка, так же как и его преимущества (простота, скромность создания программ, лёгкость использования готовых компо-

нент) при использовании в среде .NET не имеют такого значения, как раньше – всё сосредоточено на возможностях самой системы .NET, на её библиотеке классов. Сохранив во многом внешнюю простоту своего предшественника – языка Visual Basic 6.0 – он радикально обогатил и усложнил свое внутреннее содержание, предоставив программисту огромное количество новейших инструментов. Самый главный из них – настоящее, полноценное объектно-ориентированное программирование. Среда разработки Visual Basic считается идеальным средством быстрой разработки прототипов программы, для разработки приложений баз данных и вообще для компонентного способа создания программ, работающих под управлением операционных систем семейства Microsoft Windows [1-3].

В основу созданной виртуальной лабораторной установки положена работа, изложенная в [4-8] и модернизирована с учетом [9, 10]. Прежде всего, установка ориентирована на: исследование процесса сушки сыпучих материалов, поступающих в аппараты кипящего слоя; изучение газодинамических режимов слоя в зависимости от состава материала и характера потока воздуха формируемого вентиляторными установками.

Виртуальная лабораторная работа состоит из двух основных программных окон представленных на рисунке 1, 2. Во время работы открываются и другие окна отображающие уставки вентиляционных, калориферных и фильтрационных установок.

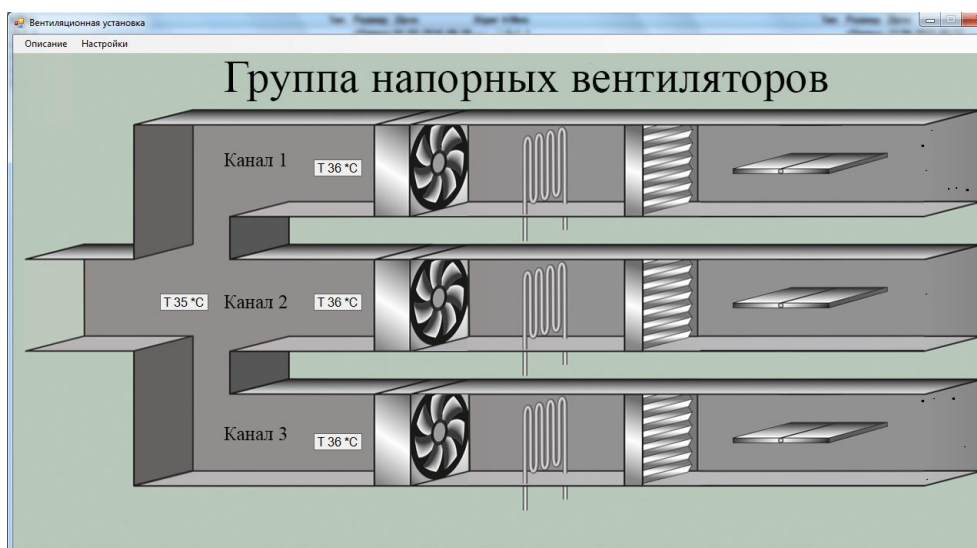


Рисунок 1 – Окно с расстановкой напорных вентиляторов, калориферов и фильтров

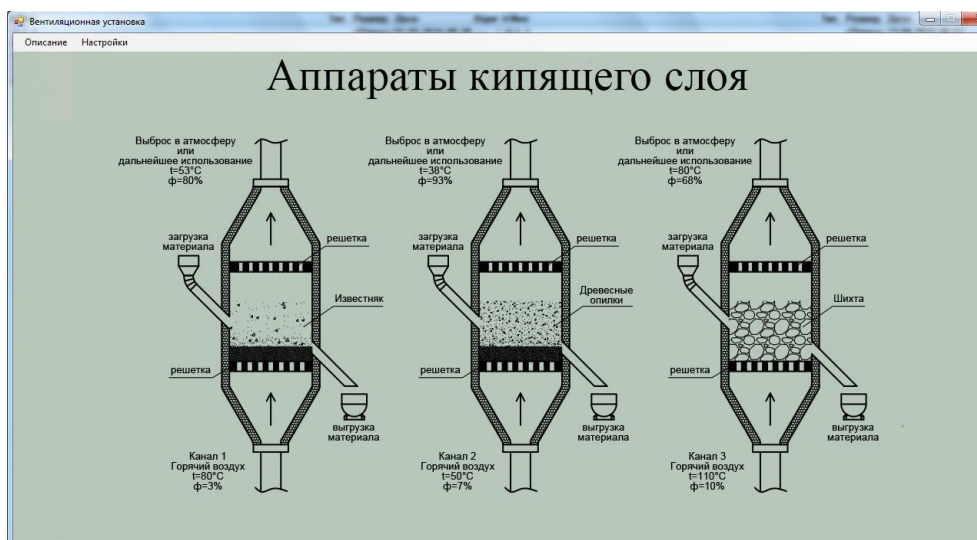


Рисунок 2 – Окно с расстановкой аппаратов кипящего слоя

Как видно из рисунков, одновременно можно работать с тремя аппаратами кипящего слоя, для которых отдельными секциями предусмотрены напорный вентилятор, калориферная и фильтрационная установки. Кликнув на любую установку можно легко изменить ее производительность в сплывающем диалоговом окне. Максимальный расход воздуха развиваемый вентиляторной установкой – 30 тыс.м³/ч, а создаваемый напор – до 12 кПа. В качестве греющего теплоносителя в калориферной установке используется обычная вода с максимальной температурой 150 °С, причем температура воды может регулироваться балансировочной арматурой. В настройках секции фильтра задается фильтрующий материал и его эффективность. У аппаратов кипящего слоя задаются их конструктивные характеристики (диаметр и высота колонны, диаметр и шаг расположения отверстий решетки на которую подается сыпучий материал). Программа содержит расширяемую базу данных разработанную в Access и содержит все основные характеристики сыпучих материалов (материал частиц, их диаметр и форма, температура и влажность). После того, как все настройки выполнены приступают к запуску установки. В реальном времени отображаются начальные и конечные температура и влажность воздуха, масса загружаемого материала до и после сушки, время нахождения материала в аппарате кипящего слоя. Во время работы установки возможна корректировка: расхода и напора воздуха путем изменения числа оборотов вентиляторных установок или положение угла дроссельных клапанов; температуры теплоносителя калориферных установок. У аппаратов кипящего слоя возможно изменение расхода и времени пребывания сыпучих материалов в аппарате.

Во время процесса сушки в аппаратах кипящего слоя протекают сложные процессы газодинамики и теплообмена, в реальном времени рассчитываются уравнения материального и теплового балансов. В их основе лежат законы сохранения вещества и энергии.

Балансовые расчеты позволяют получить важнейшие теплотехнические характеристики сушильных установок: расход теплоты, на килограмм испаренной влаги, количество сухого воздуха (подаваемого в агрегат), изменение параметров теплоносителя.

Материальный и тепловой балансы, для простейшего случая непрерывной сушки влажного материала нагретым воздухом будут выглядеть следующим образом. Считается, что сушимый материал и нагретый воздух состоят из сухой части и влаги. Для сушилок непрерывного действия материальный баланс составляется для часовых расходов воздуха, влаги, материала. При составлении материального баланса периодически действующей сушилки расчеты ведут в целом на цикл ее работы.

Приходная и расходная части материального баланса непрерывно действующей сушилки с однократным использованием воздуха выглядит следующим образом:

$$L_{c.в1} + G_{c1} + G_{в1} = L_{c.в2} + G_{c2} + G_{в2}, \quad (1)$$

где $L_{c.в1}, L_{c.в2}$ – количество воздуха на входе и выходе аппарата кипящего слоя, кг;
 G_{c1}, G_{c2} – количество влаги, содержащейся в материале, до и после сушки, кг;
 $G_{в1}, G_{в2}$ – количество влаги, до и после сушки, кг.

Тепловой баланс, составляемый при проектировании сушильных установок, кВт, позволяет аналитически определить расход теплоносителя, топлива, а также основные теплотехнические показатели процесса:

$$Q + Q_d + L_1 I_1 + G_{c1} t_{m1} + W_{c.в} t_{m1} = L_2 I_2 + G_{c2} t_{m2} + Q_m, \quad (2)$$

где Q – количество тепла, переданное воздуху от калориферной установки, кВт;
 Q_d – количество дополнительно подведенной теплоты до калориферных установок, кВт;
 L_1, L_2 – расход воздуха на входе и выходе аппарата кипящего слоя, м³/ч;
 I_1, I_2 – энтальпия воздуха на входе и выходе, кДж/кг;

- G – количество сушеного материала, кг;
 c_1 и c_2 – удельные теплоемкости сушеного материала до и после сушки, кДж/(кг°С);
 t_{m1}, t_{m2} – температура материала до и после сушки, °С;
 W – количество испаряемой влаги, кг/ч;
 $c_{вл}$ – удельная теплоемкость влаги, кДж/(кг°С);
 Q_m – потери теплоты в окружающую среду, кВт.

Скорость процесса сушки влажного материала нагретым воздухом зависит от интенсивности внешнего и внутреннего тепло- и массообмена. Под внешним тепло- и массообменом понимается совокупность процессов, способствующих передаче тепла сушеному материалу и восприятию влаги, испарившейся с его поверхности. Интенсивность этих процессов применительно к конвективной сушке зависит от режимных параметров теплоносителя (нагретого воздуха), т. е. от его температуры, относительной влажности и скорости.

Перенос теплоты и перемещение влаги внутри сушеного материала (внутренний тепло- и массообмен) в некоторых случаях решающим образом влияют на скорость процесса сушки, так как от этих процессов зависит количество влаги, подведенной к поверхности испарения. Перенос теплоты и влаги во влажном материале, характер изменения в процессе сушки его физико-механических свойств определяются коллоидно-физическими свойствами и формой связи влаги с материалом. Процесс удаления влаги из материала происходит при нарушении связи ее с веществом скелета тела, на что затрачивается определенное количество энергии, поэтому классификация форм связи влаги с материалом должна учитывать величину этой энергии связи.

Количество тепла, переданного от газа к слою в зависимости от времени пребывания в аппарате описывается выражением

$$Q = \alpha_{\Sigma} \left(T_g - \frac{T_n + T_k}{2} \right) \cdot S \cdot t, \quad (3)$$

- где α_{Σ} – коэффициент теплоотдачи конвекцией, излучением и теплопроводностью, Вт/(м²°С);
 T_g – температура газа, °С;
 T_n, T_k – соответственно начальная и конечная температура загружаемого материала, °С;
 S – площадь поперечного сечения слоя, м²;
 t – время пребывания слоя в аппарате, с.

Значение коэффициента α_{Σ} определяется зависимостью выражением:

$$\alpha_{\Sigma} = \alpha_{кнв} + \alpha_{луч} + \alpha_{кнд}. \quad (4)$$

Конвективная составляющая теплообмена может быть определена по зависимости

$$\alpha_{кнв} = 0,142 \left(\lambda^{0,57} w^{0,8} p^{0,43} c^{0,43} (1 - m_{cm})^{0,133} \right) / \left(d^{0,2} \nu^{0,37} m_{cm}^{0,8} \right), \quad (5)$$

- где λ – теплопроводность;
 w – скорость, м/с;
 p – давление, Па;
 c – теплоемкость, кДж/(кг°С);
 m_{cm} – порозность у теплообменной поверхности;
 d – диаметр частиц, м;
 ν – кинематическая вязкость, м²/с.

Коэффициент радиационного теплообмена рассчитывается по формуле

$$\alpha_{луч} = \sigma \varepsilon_{пр} \left(\left(\frac{T_H + T_K}{2} \right)^2 + T_c^2 \right) \left(\frac{T_H + T_K}{2} + T_c \right), \quad (6)$$

где σ – постоянная Стефана–Больцмана;

$\varepsilon_{пр}$ – приведенная степень черноты.

Кондуктивный теплообмен между единицей поверхности и псевдооживленным слоем зависит от относительной площади, приходящейся на частицы

$$\alpha_{кнд} = 8,95k / d(1 - m_{см})^{2/3}. \quad (7)$$

Повышение температуры в аппарате с псевдооживленным слоем двояко сказывается на интенсивности внешнего теплообмена. Во–первых, происходит изменение теплофизических свойств дисперсного материала и оживающего агента. Во–вторых, усложняется механизм передачи энергии, существенным становится радиационный перенос, роль которого в низкотемпературных системах пренебрежимо мала. Главной особенностью процесса обмена излучением является необязательное наличие среды для передачи энергии.

Взаимодействие излучения с веществом – весьма сложный процесс, зависящий от множества факторов. Он реализуется тремя независимыми физическими механизмами: рассеянием, поглощением и излучением. Первые два обуславливают ослабление падающего излучения, последний усиливает его.

Для определения полных потерь давления с учетом поддержания слоя в псевдооживленном состоянии использована зависимость

$$P = \left(\frac{f}{F} \right)^2 \cdot \left(\frac{w}{F_c} \right)^2 \cdot \frac{\rho}{2} \left[\left(1 + 0,707 \sqrt{1 - \frac{F}{f}} \right)^2 + \left(1,7 - \frac{F}{f} \right)^2 \right] + H_0 g (\rho_p - \rho) (1 - m_0), \quad (8)$$

где f – площадь подовой решетки аппарата кипящего слоя, м²;

F – живое сечение решетки (площадь всех отверстий), м²;

F_c – доля живого сечения решетки м²;

H_0 – высота неподвижного слоя, м;

g – ускорение свободного падения, м/с².

Проверка адекватности моделей использованных в программном комплексе подтверждена на экспериментальной лабораторной установке, разработанной учеными кафедры информационных технологий в металлургии [9].

Библиографический список

1. Гарнаев А. Самоучитель Visual Studio .NET 2003; БХВ-Петербург – Москва, 2013. – 688 с.
2. Голощاپов А.Л. Microsoft Visual Studio 2010; БХВ-Петербург – Москва, 2011. – 544 с.
3. Левинсон Джефф Тестирование ПО с помощью Visual Studio 2010; ЭКОМ Паблшерз – Москва, 2012. – 314 с.
4. Оленников А.А., Морозов П.А., Смирнова Е.В. Виртуальный тренажер «вентиляционная установка» / Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Под общей редакцией М.В. Темлянцева. Новокузнецк. – 2015. – С. 446-449.

5. Оленников А.А. Применение тепла отходящих газов от конвертерных печей в промышленных сушилках / Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Под общей редакцией С.М. Кулакова. – 2006. – С. 272-274.

6. Гудукин Е.И., Оленников А.А., Цымбал В.П. Математические и физические модели агрегатов теплообмена и кипящего слоя / Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Под общей редакцией Л.П. Мышляева. Новокузнецк. – 2008. – С. 288-291.

7. Оленников А.А., Оленников Е.А., Захаров А.А. Модели для утилизации тепла и формирования гарнисажа в металлургических агрегатах типа сэр / Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. – 2015. – Т. 1. – № 3 (3). – С. 155-163.

8. Оленников А.А., Падалко А.Г., Чапаев Д.Б. Автоматизированный лабораторный комплекс для исследований газодинамических режимов в агрегатах прямого восстановления / Системы автоматизации в образовании, науке и производстве труды VIII всероссийской научно-практической конференции. Новокузнецк. – 2011. – С. 522-526.

9. Оленников А.А. Математическое моделирование и комплекс программ для решения задач утилизации вторичной энергии отходящих газов металлургических агрегатов струйно-эмульсионного типа [Текст]: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук (05.13.18) / Оленников Алексей Александрович; СибГИУ. – Новокузнецк, 2009. – 21 с.

10. Оленников А.А., Оленников Е.А., Захаров А.А. Программный комплекс для моделирования схем утилизации физической и химической энергии от отходящих газов металлургических агрегатов / Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. – 2015. – Т. 1. – № 2 (2). – С. 185-192.

УДК 004.94

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ УЧАСТКА СИСТЕМЫ ГАРНИСАЖНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ АГРЕГАТА СЭР ПРИ ПОМОЩИ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ANSYS

Оленников А.А., Цымбал В.П.

*Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк, Россия, oaa@cirkul-m.ru*

Аннотация. В работе описана технология работы и схема системы гарнисажного охлаждения металлургического агрегата типа СЭР. Описан процесс построения температурных полей на примере фрагмента системы гарнисажного охлаждения с использованием программного комплекса Ansys.

Ключевые слова: агрегат типа СЭР, гарнисаж, система гарнисажного охлаждения, циркуляционный насос, имитационная модель, тепловой анализ.

Для металлургических агрегатов типа СЭР характерны высокая интенсивность газодинамических процессов и термоагрессивность среды (газовзвесь и газшлакометаллическая эмульсия) [1, 2]. В связи с этим защита элементов конструкции агрегата посредством огнеупорной футеровки несостоятельна. Наряду с повышенным расходом огнеупоров и необходимостью частых остановок на ремонт, большой «смыв» футеровки по ходу процесса является принципиальным ограничением для реализации некоторых технологий, так как он ведет к изменению химсостава рабочей среды (эмульсии).

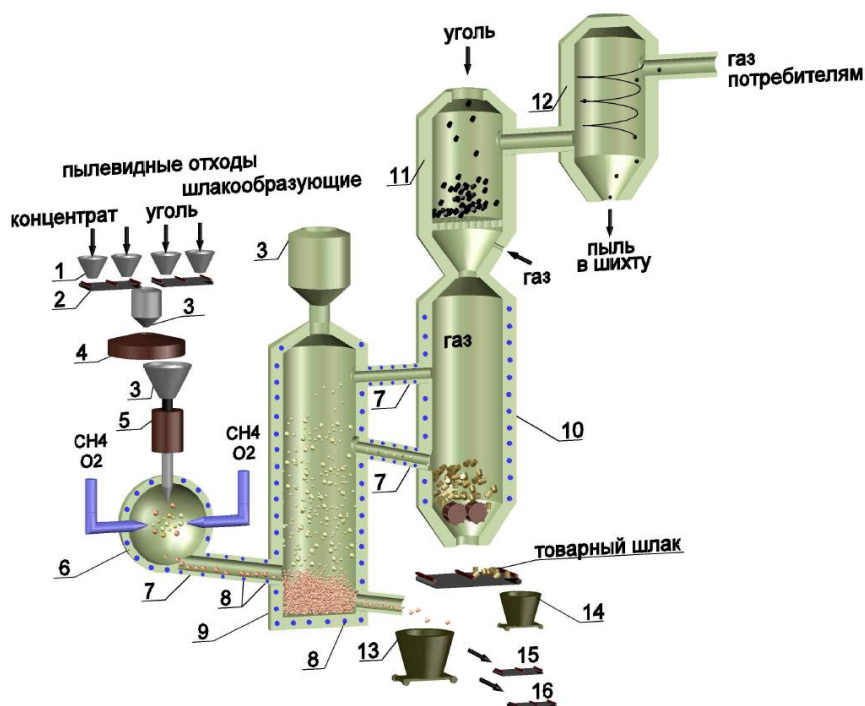
Наиболее приемлемой альтернативой в этой ситуации является принудительное формирование защитного гарнисажного слоя с необходимыми свойствами, которые

должны обеспечивать его стабильность (стойкость). Для решения данной задачи авторами предлагается использовать позонно-разделенную систему корпусного охлаждения технологических агрегатов, фрагмент которой представлен на рисунке 1, п. 8.

Такой подход позволит решить сразу две задачи: формирование гарнисажного слоя внутри агрегатов; использование тепловой энергии в целях отопления производственных помещений. На рисунке 2 представлена принципиальная схема системы корпусного охлаждения агрегатов [2]. Каждый из четырех охлаждаемых контуров на самом деле представляет целый комплекс контуров со своими циркуляционными насосами, что позволяет гибко регулировать отложение гарнисажного слоя в любом месте внутри каждого агрегата.

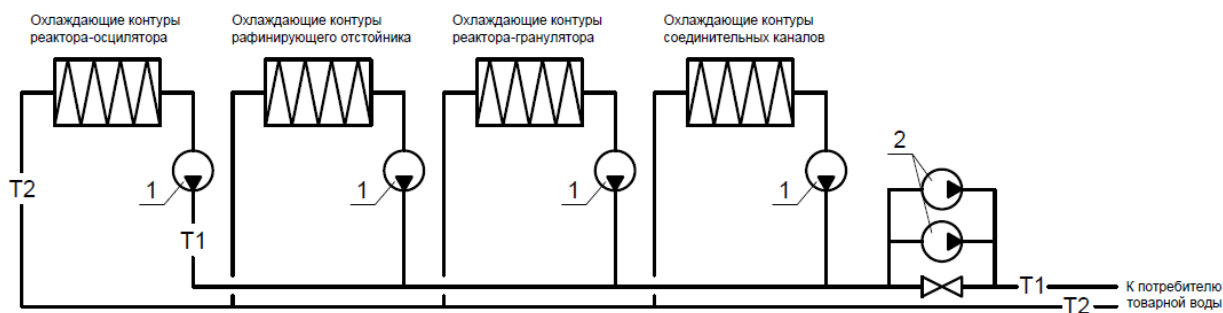
Принцип работы данной системы заключается в следующем. Вода, поступающая в контур охлаждения, подогревается до температуры 130 °С, тем самым утилизируя тепло от стенок агрегата и направляясь в общую сеть к теплопотребителю (например, для отопления производственного цеха и т.д.). В результате охлаждения стенки технологического агрегата с внутренней ее части начинает «намораживаться» расплавленный металл (гарнисаж). Отдавшая тепловую энергию вода с температурой 70 °С поступает вновь в охлаждаемые контура, подогревается и процесс повторяется [2].

Важной особенностью таких систем является их надежность. С одной стороны необходимо выдерживать требуемую толщину гарнисажа, с другой – обеспечить отвод тепловой энергии [4-7]. Любое отклонение в работе системы охлаждения приведет к аварийным ситуациям.



- 1 – бункер; 2 – питатели; 3 – дозаторы; 4 – смеситель; 5 – шнековая подача; 6 – реактор-осциллятор; 7 – соединительный канал; 8 – позонно-разделенная система корпусного охлаждения; 9 – рафинирующий отстойник; 10 – реактор гранулятор; 11 – аппарат кипящего слоя; 12 – циклон; 13 – ковш; 14 – бункер для приема товарного шлака; 15 – специальная линия для литья; 16 – разливочная линия

Рисунок 1 – Агрегат СЭР с энергоутилизирующими установками в разрезе



1 – контурный циркуляционный насос; 2 – сетевой циркуляционный насос; T1 – магистраль с горячим теплоносителем; T2 – магистраль с охлажденным теплоносителем

Рисунок 2 – Принципиальная схема системы корпусного охлаждения агрегата СЭР

С использованием программного комплекса «Ansys» разработана имитационная модель фрагмента (рисунок 1, нижняя часть места соединения канал 7 к рафинирующему отстойнику 9) системы гарнисажного охлаждения агрегата СЭР.

Цель. Создать имитационную модель фрагмента гарнисажного охлаждения и провести стационарный тепловой анализ.

Условия. Тип анализа – нелинейный тепловой расчет конструкции. Тип используемого конечного элемента – двумерный твердотельный (Solid). Тип граничных условий – конвекция. Возможности – задание теплопроводности как функции температуры, построение графиков по произвольно заданному пути, получение графика температур и теплового потока.

Порядок выполнения действий:

1) определяется тип анализа: MAIN MENU > PREFERENCES > THERMAL > OK (тепловой расчет);

2) выбирается тип используемого элемента, задается его толщина и определяются со свойствами материала. Далее выбирается конечный элемент: MAIN MENU > PRE-PROCESSOR > ELEMENT TYPE > ADD/EDIT/DELETE > ADD > THERMAL SOLID QUAD 4 NODE 55 > OK > CLOSE;

3) задается материал: MAIN MENU > PREPROCESSOR > MATERIAL PROPS > MATERIAL MODELS. В окне CONDUCTIVITY FOR MATERIAL NUMBER 1 нажимается три раза кнопка ADD TEMPERATURE и в полях TEMPERATURES задается: 20, 40, 60, 100, а в полях KXX задается 30, 35, 55, 95;

4) аналогично раскрывается DENSITY и в поле DENS задается 7800 кг/м^3 ;

5) строится деталь. Прямоугольник со сторонами 0.5 и 0.75 метра: MAIN MENU > PREPROCESSOR > MODELING > CREATE > AREAS > RECTANGLE > BY DIMENSIONS и задаются координаты X1, X2 и Y1, Y2 равные 0, 0.5 и 0, 0.75 соответственно. Окружность радиусом 0.1 метра, с координатами центра окружности 0.25, 0.15 по оси OX и OY: MAIN MENU > PREPROCESSOR > MODELING > CREATE > AREAS > CIRCLE > SOLID CIRCLE, далее задаются указанные координаты и радиус. Окружность радиусом 0.1 метра, с координатами центра окружности 0.25, 0.6 по оси OX и OY: MAIN MENU > PREPROCESSOR > MODELING > CREATE > AREAS > CIRCLE > SOLID CIRCLE, далее задаются указанные координаты и радиус;

6) создается конструкция (рисунок 3) посредством логического вычитания геометрических объектов и разбивается на конечные элементы. MAIN MENU > PREPROCESSOR > MODELING > OPERATE > BOOLEANS > SUBTRACT > AREAS, затем выбирается прямоугольник, далее указывается сначала нижняя окружность, затем на верхняя;

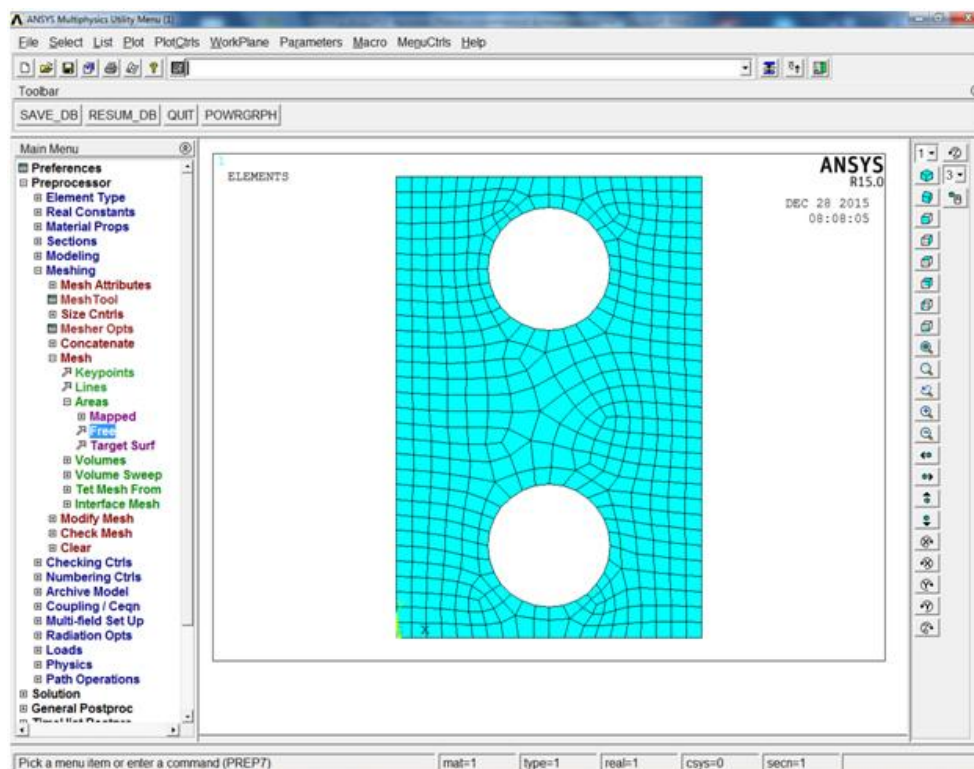


Рисунок 3 – Нанесение сетки на разработанную конструкцию

7) задается средний размер грани конечных элементов: MAIN MENU > PREPROCESSOR > MESHING > SIZE CNTRLS > MANUAL SIZE > GLOBAL > SIZE и переменной SIZE присваивается значение 0.025.

Проводится разбиение: MAIN MENU > PREPROCESSOR > MESHING > MESH > AREAS > FREE > PICK ALL;

8) задаются граничные условия. Указывается температура окружающей среды, контактирующая с нижней линией прямоугольника: MAIN MENU > SOLUTION > DEFINE LOADS > APPLY > THERMAL > CONVECTION > ON LINES и указывается данная линия. В окне, переменной VAL1 и VAL2 присваивается значение 20;

9) задается температура, действующая на верхнюю линию прямоугольника: MAIN MENU > SOLUTION > DEFINE LOADS > APPLY > THERMAL > CONVECTION > ON LINES и указывается данная линия. В окне, переменной VAL1 и VAL2 присваивается значение 110;

10) определяется величина шага: MAIN MENU > SOLUTION > LOAD STEP OPTS > TIME/FREQUENC > TIME AND SUBSTEPS и в окне задается переменным TIME и NSUBST значение 1;

11) проводится расчет. MAIN MENU > SOLUTION > SOLVE > CURRENT LS > OK. Просматриваются результаты картины распределения температуры (рисунок 4): MAIN MENU > GENERAL POSTPROC > PLOT RESULTS > CONTOUR PLOT > NODAL SOLU > DOF SOLUTION > NODAL TEMPERATURE > OK.

На рисунке 4 представлены результаты моделирования температурных полей вокруг охлаждающих труб в месте соединения соединительного канала 7 и рафинирующего отстойника 9 (рисунок 1). Прослеживается падение температуры фрагмента сверху-вниз с 97 до 82 °С. Температура теплоносителя в трубах при этом составляет в среднем 90 °С. На основании разработанной модели возможно построение температурных полей и имитирование аварийных ситуаций любой выбранной области агрегата. Для этого необходимо перестроить геометрию выбранного фрагмента и задать необходимые физические параметры материалов и теплоносителей.

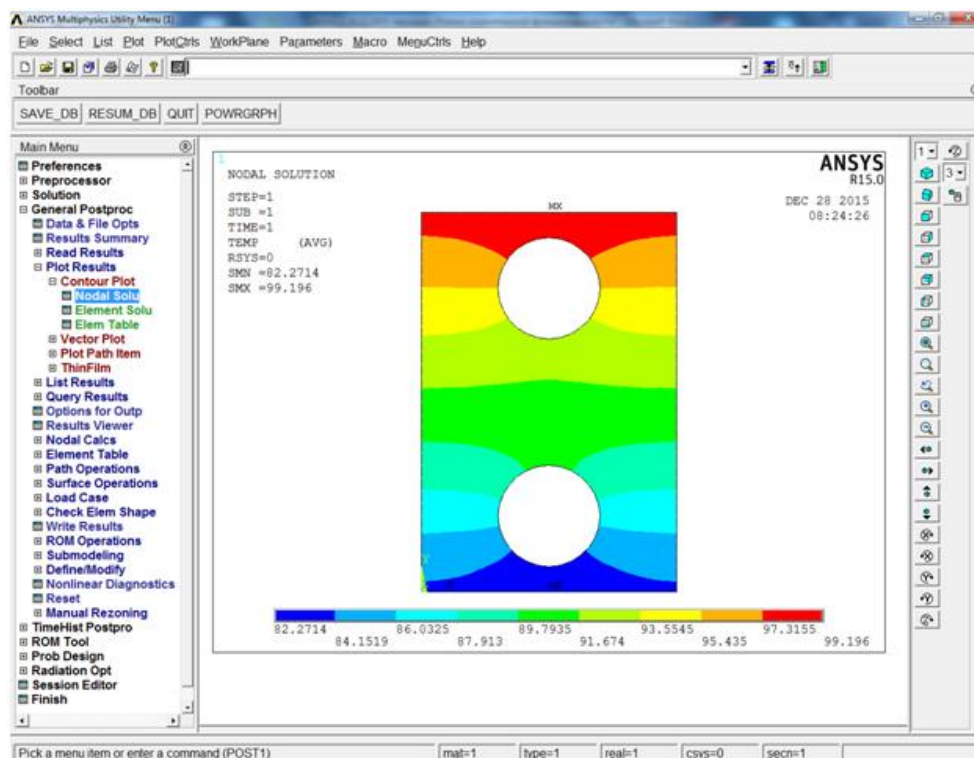


Рисунок 4 – Распределение температуры на конструкции

Библиографический список

1. Tsymbal V.P., Mochalov S.P., Olennikov A.A. and other. Mini-metallurgy of full cycle on the basis of the spray-emulsion metallurgical process SER – from ore to steel / CIS iron & steel review. – 2013. – № 1. – С. 43-48.
2. Tsymbal V.P., Mochalov S.P., Olennikov A.A. and other. Energy-metallurgical complex based on the spray-emulsion reactor CIS iron & steel review.–2012. – № 1. – С. 13-15.
3. Оленников А.А., Оленников Е.А., Захаров А.А. Программный комплекс для моделирования схем утилизации физической и химической энергии от отходящих газов металлургических агрегатов / Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. – 2015. – Т. 1. – № 2 (2). – С. 185-192.
4. Оленников, А.А. Математическое моделирование и комплекс программ для решения задач утилизации вторичной энергии отходящих газов металлургических агрегатов струйно–эмульсионного типа : дис.....канд. техн. наук : 05.13.18 : защищена 08.12.09 : утв. 12.03.10. / А. А. Оленников – Новокузнецк, 2009. – 133 с.
5. Оленников А.А. Варианты и оценка эффективности использования вторичных энергоресурсов для агрегатов жидкофазного восстановления / Оленников А.А., Цымбал В.П. // Изв. Вузов. Чер. металлургия. – 2008. – №6. – С. 43–51.
6. Оленников А.А. Комплекс моделей и программ для оптимизации вторичной энергии металлургических процессов прямого восстановления / Оленников А.А., Цымбал В.П. // Творческое наследие Б.И. Китаева: труды междунар. науч.–практ. конф. 11–14 февраля 2009 г. Екатеринбург: УГТУ–УПИ. – 2009. – С. 232–236.
7. Оленников А.А., Оленников Е.А., Захаров А.А. модели для утилизации тепла и формирования гарнисажа в металлургических агрегатах типа сэр / Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. – 2015. – Т. 1. – № 3 (3). – С. 155-163.

ОБСЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ МНОГОКВАРТИРНОГО ЖИЛОГО ДОМА

Баклушина И. В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия, baklushina@rambler.ru*

***Аннотация.** В статье описано обследование системы отопления многоквартирного жилого дома. Приведены рекомендации по повышению энергоэффективности системы*

***Ключевые слова:** система отопления, эксплуатация систем, энергосбережение, энергоэффективность*

Системы отопления жилых домов в процессе эксплуатации неизбежно подвергаются изменениям. Через 15-20 лет конструкция системы отопления может значительно отличаться от проекта. Это связано с целым рядом факторов, таких как:

1. несанкционированные реконструкции отдельных частей системы отопления по инициативе собственника жилья;
2. замена одного типа отопительных приборов на другой в системе отопления в целом или ее части;
3. установка запорной арматуры в местах, не предусмотренных проектом
4. замена одного вида трубопроводов на другой;
5. ошибки при подключении отопительных приборов к стоякам отопления.

Все это приводит к нарушению циркуляции теплоносителя в системе отопления, гидравлической и тепловой разрегулировке, снижая тем самым энергоэффективность системы отопления. Кроме того, при реконструкция систем не всегда учитываются климатические факторы, которые в отдельных случаях могут иметь большое значение при распределении тепла в здании [1,2]. Часто состояние систем отопления и падение ее энергоэффективности [3] ухудшается еще и ошибками, допущенными еще на стадии проектирования.

Рассмотрим состояние системы отопления после 20 лет эксплуатации на примере многоквартирного жилого дома ТСЖ «Василек-1», г. Новокузнецк. Жилой дом представляет собой типовое панельное десятиэтажное одноподъездное здание с чердаком и подвалом. Система отопления здания однотрубная с нижней разводкой. Индивидуальный тепловой пункт находится в подвале, присоединение отопительных приборов к стоякам системы отопления одностороннее на подъемной части стояка, опускная часть холостая.

Наиболее часто встречающиеся жалобы на работу системы отопления жителей дома:

1. недогрев верхних этажей здания (выше 6-го этажа) при перегреве нижних этажей;
2. нестабильная циркуляция теплоносителя при пуске системы отопления.

По заданию правления ТСЖ «Василек-1» было проведено обследование системы отопления жилого дома. Обследование жилого дома производилось следующими способами:

1. визуальный осмотр внутриквартирных частей системы отопления нижних и верхних этажей;
2. визуальный осмотр состояния трубопроводов и теплового пункта в подвале;
3. осмотр внутреннего состояния трубопроводов отдельных частей системы при произведенном частичном ремонте;
4. опрос жителей дома.

Произведенное обследование выявило ряд факторов, которые в совокупности определяют работу системы отопления:

– ошибки, допущенные на стадии проектирования:

а) подключения отопительных приборов к подъемной части стояков. Приборы отопления следовало подключать на опускной части стояка. В этом случае движение теплоносителя в приборе происходило бы сверху вниз, что обеспечило бы лучшую теплоотдачу отопительного прибора;

б) отсутствие устройств для выпуска воздуха из трубопроводов системы отопления. При пуске системы воздух препятствует распределению теплоносителя в стояке, приводит к возникновению воздушных «пробок»;

– ошибки, допущенные при производстве ремонтов отдельных частей системы по инициативе собственника жилья:

а) замена типа отопительного прибора. Предусмотренные проектом отопительные приборы конвекторы «Комфорт» часто в большинстве квартир заменены на алюминиевые радиаторы;

б) отсутствие замыкающего участка при наличии отключающих устройств у отопительного прибора и (или) установка отключающего устройства на замыкающий участок. Для однотрубной системы это равносильно установке отключающего устройства на стояке, что недопустимо;

в) подключение отопительного прибора к стояку отопления по типу двухтрубной системы;

г) увеличение диаметров труб в отдельных частях системы по сравнению с проектом;

д) отсутствие предусмотренных проектом отопительных приборов в отдельных частях системы;

е) замена в одной из квартир металлических трубопроводов системы отопления на пластиковые;

– ошибки, допущенные при производстве ремонтов отдельных частей системы субподрядчиком управляющей компании:

а) частичное отсутствие тепловой изоляции на распределительных трубопроводах системы отопления в подвале;

– уменьшение площади живого сечения труб за счет зарастания внутренней поверхности продуктами коррозии и карбонатными отложениями, что приводит к резкому возрастанию величины шероховатости материала труб и уменьшению пропускной способности;

– отсутствие циркуляции по стояку с полотенцесушителями

Кроме вышеперечисленных факторов обследование выявило несколько дополнительных ошибок, допущенных при частичном ремонте системы отопления, которые не отражаются на функционировании системы, однако являются причинами уменьшения комфортности:

– установка в мусоросборной камере конвектора «Комфорт». Этот отопительный прибор имеет низкие гигиенические характеристики, так как усиленное оребрение конвектора способствует накоплению пыли и мусора, которые, разлагаясь при повышенных температурах, выделяют токсичные газы;

– в нескольких квартирах трубопроводы системы отопления заделаны под декоративную отделку стен, что препятствует свободному доступу к ним;

– отсутствие спускных кранов на грязевиках в индивидуальном тепловом пункте.

Проведенное обследование позволило сформировать список рекомендуемых мер, способствующих улучшению работы системы отопления:

1. произвести подключение отопительных приборов во всех квартирах по типу однотрубной системы; при этом демонтировать отключающие устройства, установленные на стояках и/или замыкающих участках; при невозможности демонтажа зафиксировать

отключающее устройство в открытом состоянии пломбировкой, исключающей закрытие отключающего устройства;

2. в случае установки отопительного прибора без замыкающего участка при наличии у прибора отключающих устройств, предусмотреть устройство замыкающего участка;

3. произвести ремонт системы отопления с заменой трубопроводов в тех ее частях, где таковая не производилась более 12-15 лет

4. при планировании частичных ремонтов системы отопления в пределах отдельных квартир с заменой трубопроводов стояков системы отопления предусматривать замену трубопроводов в пределах междуэтажных перекрытий;

5. при планировании ремонта системы отопления на десятом этаже предусмотреть возможность установки устройств для выпуска воздуха из системы отопления;

6. произвести обследование нефункционирующего стояка с полотенцесушителями и его переподключение при необходимости;

7. регулярно (не реже чем раз в год) производить промывку системы отопления;

8. регулярно (не реже чем раз в пять лет) проводить мероприятия по энергосбережению и повышению энергетической эффективности многоквартирных домов;

9. не реже 1 раза в год разрабатывать и доводить до сведения собственников помещений предложения о мероприятиях по энергосбережению и повышению энергетической эффективности, которые возможно проводить в многоквартирном доме;

10. в качестве дополнительного мероприятия рекомендуется проведение энергетического обследования и оформление по его результатам энергетического паспорта здания.

Библиографический список

1. Чапаев Д.Б., Зоря, И.В., Оленников, А.А. Влияние климатических факторов на теплотребление жилых зданий. // Известия высших учебных заведений. Строительство. – Новосибирск, 2014. – № 2 (662). – С. 89-95.

2. Чапаев, Д.Б. Оценка экономии топлива в результате снижения теплотребления за счет теплопоступлений от солнечной радиации при использовании автоматизированной системы отопления жилого здания// Вестник СибГИУ. – Новокузнецк, 2014. – №2(8)4. – С.32-35.

3. Баклушина, И.В. Проблемы энергосбережения в системах теплоснабжения / Проблемы энергосбережения и экологии в промышленном и жилищно-коммунальном комплексах IX Международная научно-практическая конференция: сборник трудов. Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, Северо-Западный филиал "Веза-Санкт-Петербург", Общество "Знание" России, Приволжский дом знаний; под ред. А. И. Еремкина, Т. И. Королевой. – Пенза, 2008. – С. 57-59.

УДК 644.61

ПРОБЛЕМЫ ВНУТРИДОМОВЫХ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ МНОГОКВАРТИРНОГО ЖИЛОГО ДОМА

Баклушина И. В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия, baklushina@rambler.ru*

***Аннотация.** В статье описано обследование систем внутридомовых систем горячего и холодного водоснабжения многоквартирного жилого дома. Приведены рекомендации по повышению надежности эксплуатируемых систем горячего и холодного водоснабжения*

Ключевые слова: водоразборный стояк, внутридомовые системы, горячее водоснабжение, холодное водоснабжение, эксплуатация систем

Системы горячего и холодного водоснабжения требуют комплексных мероприятий, включающих обслуживание и ремонт в соответствии с санитарно-техническими нормами и техническими правилами эксплуатации. Надежное, долговечное и эффективное функционирование систем многоквартирных жилых домов обеспечивается правильным, технически грамотным и своевременным подходом к обслуживанию со стороны управляющих компаний с учетом мнения собственников жилья. Собственники жилья должны быть заинтересованы в рациональном и своевременном обслуживании не только тех элементов систем, которые находятся в пределах их квартиры, но и общедомового оборудования. Это позволит снизить статью расходов на коммунальную оплату общедомовых нужд, так называемую ОДН.

Василек-1 – небольшое товарищество собственников жилья на один жилой десятиэтажный дом, расположенный по улице Свердлова в городе Новокузнецке. Несмотря на то, что жилой дом был сдан в эксплуатацию в 1995 году, за последние несколько лет участились протечки в стояках холодного и горячего водоснабжения в области междуэтажных перекрытий. По просьбе правления ТСЖ специалистами кафедры теплогазоснабжения, водоотведения и вентиляции провели обследование состояния водоразборных стояков систем холодного и горячего водоснабжения.

Обследование включало в себя следующие мероприятия:

1. визуальный осмотр мест пересечения стояков систем горячего и холодного водоснабжения в местах пересечения с междуэтажными перекрытиями.;
2. визуальный осмотр наружного состояния трубопроводов водоразборных стояков горячего и холодного водоснабжения;
3. опрос собственников жилья.

Обследование выявило ряд факторов, которые могут привести к дальнейшим повреждениям трубопроводов водоразборных стояков горячего и холодного водоснабжения многоквартирного жилого дома в местах их пересечения с междуэтажными перекрытиями. Эти факторы являются следствием несоблюдения правил монтажа систем горячего и холодного водоснабжения на стадии строительства:

1. отсутствие гильз в местах пересечения трубопроводов со строительными конструкциями;
2. примыкание трубопроводов систем горячего и холодного к поверхностям строительных конструкций.

Прокладку стояков через перекрытия монтажникам следовало производить в соответствии с требованиями [1, п. 8.6.4], в котором указано: В местах пересечения трубопроводов со строительными конструкциями на них надевают гильзы, которые затем заделывают в строительной конструкции. Это обеспечивает свободное движение труб при изменении температуры транспортируемой среды.

В соответствии с [2, п. 6.1.3] неизолированные трубопроводы систем отопления, теплоснабжения, внутреннего холодного и горячего водоснабжения не должны примыкать к поверхности строительных конструкций.

В многоквартирном жилом доме ТСЖ «Василек-1» прокладка стояков горячего водоснабжения через перекрытия на стадии строительства была произведена без учета приведенных требований, то есть без гильз, зачастую с примыканием к поверхности строительных конструкций. Отверстия в перекрытиях, предназначенные для прохода труб были заделаны строительным раствором, и он непосредственно соприкасается с поверхностью трубопроводов. При этом при изменении температурного режима горячего стояка происходит расширение/сжатие труб горячего водоснабжения, в местах контакта трубы и перекрытия возникают микротрещины, приводящие к ускоренному износу труб и увеличению скорости внутренней коррозии труб.

Кроме того, стояки горячего и холодного водоснабжения проложены близко (на расстоянии около 70 мм между наружными поверхностями труб), а теплопроводность строительного раствора, заделывающего отверстия для прохода труб, достаточно высокая. Это приводит к тому, что на поверхности холодного водопровода возникает конденсат в связи с разницей температур холодной и горячей воды, которая может достигать в отопительный период более 60 °С.

Скопление конденсата-воды, отсутствие антикоррозионного покрытия на поверхности труб, а также невысокая плотность строительного раствора на стояках создают благоприятные условия для возникновения наружной электрохимической коррозии труб холодного водопровода. Электрохимическая коррозия имеет в основном характер местной очаговой коррозии и при ней на трубопроводах возникают местные язвы и каверны большой глубины, которые могут развиваться в сквозные отверстия в стенке трубы.

При этом протечка может быть периодической и в малых «дозах», таким образом, что за время отсутствия водоразбора (например, ночные часы) перекрытие успевает подсохнуть. А в условиях периодического намокания начинает подвергаться коррозии наружная поверхность стояка горячего водоснабжения. Температурный режим горячего стояка способствует увеличению скорости коррозии по сравнению с холодным стояком. На интенсивность протекания коррозионных процессов оказывают влияние температурный режим теплопровода, наличие влаги, кислорода и агрессивные соли и кислоты, содержащиеся в окружающей среде [3, 4, 5]. Наибольшая скорость коррозии наблюдается при температуре 65–75 °С – а это как раз температура горячего стояка.

Проведенное обследование позволило дать ряд рекомендаций по совершенствованию систем горячего и холодного водопровода в многоквартирном жилом доме ТСЖ «Василек-1» с учетом существующих проблем строительства и эксплуатации [6], которые могут предотвратить в дальнейшем возникновение протечек:

1. частичная замена отрезков трубопроводов водоразборных стояков горячего и холодного водоснабжения в местах пересечения с перекрытиями с устройством гильз;
2. выдерживание расстояний между трубопроводами и строительными конструкциями [2];
3. усиление надзора и контроля над производимым ремонтом трубопроводов систем горячего и холодного водоснабжения в пределах квартир со стороны управляющей компании;
4. регулярный мониторинг со стороны собственников жилья и управляющей компании за состоянием водоразборных стояков;
5. обеспечение свободного доступа к трубопроводам водоразборных стояков для своевременного выявления дефектов трубопроводов с целью обеспечения ремонта систем.

Весь этот комплекс мероприятий будет способствовать повышению надежности эксплуатируемых систем горячего и холодного водоснабжения и позволит избежать в дальнейшем значительно снизить аварийных ситуаций, связанных с протечками воды в водоразборных стояках по причине нарушения целостности стенок трубопроводов водоразборных стояков.

Библиографический список

1. Р НОСТРОЙ 2.15.1-2011 Рекомендации по устройству внутренних трубопроводных систем, водоснабжения, канализации и противопожарной безопасности, в том числе с применением полимерных труб – М.: Национальное объединение строителей, 2011.
2. СП 73.13330.2012 Внутренние санитарно-технические системы зданий. Актуализированная редакция СНиП 3.05.01-85 – М.: Минрегион России, 2012.

3. Чапаев, Д.Б., Кошкина, И.В. Изменение толщины стенки трубопровода тепло-сети при эксплуатации / Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения. Материалы Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Под общей редакцией С.М. Кулакова. – Новокузнецк, 2003. – С. 139-140.

4. Чапаев, Д.Б., Оленников, А.А., Баклушина, И.В. К вопросу о моделировании внутреннего коррозионного износа трубопроводов тепловых сетей / Моделирование и наукоемкие информационные технологии в технических и социально-экономических системах труды IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Новокузнецк, 2016. – С. 206-211.

5. Чапаев, Д.Б., Кошкина, И.В. Растворимость магнетита в теплосетевой воде разной температуры / Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения. Материалы Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Под общей редакцией С.М. Кулакова. – Новокузнецк, 2003. – С. 135-137.

Вилегжанин, Л.С., Баклушина, И.В. Проблемы строительства и эксплуатации объектов теплоснабжения / Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Под общей редакцией М.В. Темлянцева. – Новокузнецк, 2015. – С. 293-295.

УДК 644.1

ПРЕИМУЩЕСТВА И ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ С ПОКВАРТИРНОЙ РАЗВОДКОЙ

Казадаев И.А., Баклушина И.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия, baklushina@rambler.ru*

***Аннотация.** В статье показаны преимущества и некоторые особенности поквартирных систем отопления*

***Ключевые слова:** отопление, разводка, система отопления, тепловая энергия.*

Проблема рационального потребления и распределения тепловой энергии системами отопления, по-прежнему актуальна, так как при климатических условиях России, системы отопления жилых зданий являются наиболее энергоемкими из инженерных систем. [1]

Поквартирная система отопления это система с разводкой трубопроводов в пределах одной квартиры, обеспечивающая поддержания заданной температуры воздуха в помещениях этой квартиры.

На сегодняшний день одним из самых важных критериев, определяющих выбор жилья, является наличие поквартирного отопления в доме. В последние годы созданы предпосылки для строительства жилых домов с пониженным энергопотреблением за счет оптимизации градостроительных и объемно-планировочных решений, форм изданий, за счет повышения уровня теплозащиты ограждающих конструкций и за счет использования более энергоэффективных инженерных систем.

Преимущества поквартирных систем отопления по сравнению с центральными системами:

- возможность и простота проведения наладочных работ и гидростатических испытаний в отдельной квартире;
- возможность учета тепла в каждой квартире и сокращение расхода тепла за отопительный период на 10-15% при автоматическом или ручном регулировании тепловых потоков;

- обеспечение гидравлической устойчивости системы отопления жилого здания;
- обеспечение возможности замены трубопроводов, запорно-регулирующей арматуры и отопительных приборов в отдельных квартирах при планировке или при аварийных ситуациях без нарушения режима эксплуатации систем отопления в других квартирах;
- возможность индивидуального проектирования системы отопления в отдельно взятой квартире по желанию владельца;
- возможность размещения разводящих трубопроводов внутри квартиры в полу или пространстве подшивного потолка.

По сравнению с вертикальными системами отопления применение поквартирных систем приводит:

- к упрощению посекционного и поэтажного ввода здания в эксплуатацию;
- к уменьшению протяженности магистральных труб;
- снижению потерь теплоты в необогреваемых помещениях, где проложены трубопроводы.

Существует две системы поквартирного отопления: однотрубная и двухтрубная.

Однотрубные системы могут выполняться горизонтальными с замыкающими участками и последовательным подсоединением отопительных приборов.

Однотрубная система отопления является самой распространенной и популярной из поквартирных систем в России, требует меньших материальных и экономических затрат на эксплуатацию, но недостатком ее является то, что она не поддается регулированию, высокие теплотери и большие затраты на терморегуляторы [1].

В современных системах отопления с одной трубой нередко устанавливаются такое дополнительное оборудование, как радиаторные регуляторы, вентили для балансировки, термостатические клапаны или шаровые краны. Подобные добавочные аксессуары облегчают такие задачи, как балансировка всей системы. Благодаря чему, например, можно допустить понижение температуры в одном из помещений и оставить ее стабильной в других [2].

Двухтрубные системы выполняются горизонтальными с параллельным подсоединением отопительных приборов и лучевыми с индивидуальным подсоединением трубопроводами каждого отопительного прибора к распределительному коллектору квартиры.

Двухтрубная система отопления наиболее эффективна, но недостатком этой системы являются трудоемкий монтаж, высокие теплотери, и наличие аварийных узлов для исключения затопления. [1].

Если говорить о материалах, то для таких систем больше всего подходят полимерные трубы, а именно трубы из сшитого полиэтилена (PEX). По действующим нормам трубы из полимерных материалов должны иметь антидиффузионный слой, препятствующих проникновению кислорода в теплоноситель [3].

В системах поквартирного отопления жилого здания параметры теплоносителя должны быть одинаковыми для всех квартир. При техническом обосновании или заданию заказчика допускается принимать температуру теплоносителя системы поквартирного отопления одной из квартир принятой для системы отопления здания. При этом должно быть обеспечено автоматическое поддержание заданной температуры теплоносителя.

Поквартирные системы отопления, с одной стороны, обеспечивают наиболее комфортные условия для проживания, удовлетворяющие потребителя, а с другой стороны, позволяют регулировать теплоотдачу отопительных приборов в квартире с учетом режима проживания семьи в квартир, необходимости снижения затрат на оплату за отопление и т.д.

Основываясь на всем вышеизложенном, можно сделать следующие выводы [4]. Горизонтальная поквартирная разводка двухтрубной системы отопления является:

- наиболее защищенной от несанкционированных переделок;
- удобной с точки зрения эксплуатации;
- оптимальной для организации коммерческого учета потребления тепловой энергии.

Библиографический список

1. Штым, А.С, Тарасова, Е.В. Особенности проектирования систем отопления с поквартирной разводкой [Электронный ресурс] / А.С. Штым, Е.А. Тарасова //Журнал: Вологодские чтения №70.-2015 г.-с.99-101. Режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-proektirovaniya-sistem-otopleniya-s-pokvartirnoy-razvodkoj>.
2. Однотрубная и двухтрубная система отопления [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://sistema-otopleniya.ru/truby-dlja-otoplenija/odnotrubnaja-i-dvuhtrubnaja-sistema-otoplenija.html>.
3. Рекомендации по отоплению[Электронный ресурс]. Режим доступа: http://otopleniye.my1.ru/publ/rekomendacii_po_otopleniju/pokvartirnaja_razvodka_otoplenija/2-1-0-768.
4. Опыт проектирования и эксплуатации поквартирных систем отопления высотных жилых зданий [Электронный ресурс]// АВОК №6. – 2005 г Режим доступа: http://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=2964
- 5.

УДК 697.341

НАДЕЖНОСТЬ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ: А ЕСТЬ ЛИ КРИЗИС?

Ивакина А.А.

*Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк, Россия, ivakina.alena@gmail.com*

***Аннотация.** В данной статье рассматривается вопрос надежности систем теплоснабжения, поднимается вопрос о кризисе в этих системах. Проблема надежности тепловых сетей в России в настоящее время становится чрезвычайно злободневной, и с каждым отопительным сезоном ситуация только ухудшается. Тысячи километров теплотрасс требуют безотлагательной замены, большой износ основного и вспомогательного оборудования, частые аварии и перебои в подаче отопления и ГВС потребителям – все это характерно для современных систем теплоснабжения в России.*

***Ключевые слова:** системы теплоснабжения, Отопление, ГВС, Надежность систем теплоснабжения.*

Одним из основных и главных показателей технической системы, в частности системы теплоснабжения, является надежность. Если система ненадежна, то она работает неэффективно, также она становится опасной для жизни человека. Проблема надежности тепловых сетей в России в настоящее время становится чрезвычайно злободневной, и с каждым отопительным сезоном ситуация только ухудшается.

Следует уточнить, что же подразумевается под надежностью технической системы. Надежность – свойство объекта выполнять заданные функции в заданном объеме при определенных условиях функционирования [1].

В настоящее время в нашей стране сложился целый комплекс проблем, так или иначе влияющих на надежность систем теплоснабжения:

- большой износ основного и вспомогательного оборудования, генерирующих мощностей, систем транспорта (по данным Министерства энергетики Российской Федерации, 31 % мощностей уже отработали нормативный срок службы и 68 % теплосетей имеют 100 % физический износ) [2]

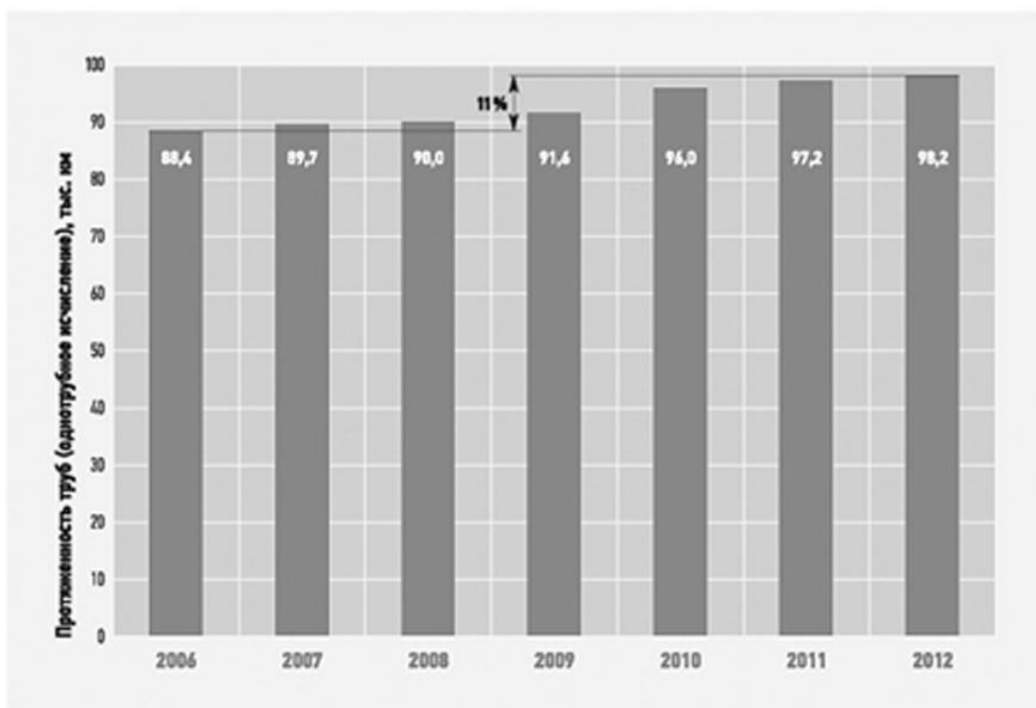


Рисунок 1 – Износ теплосетей

- десятилетия недостатка инвестиций систем теплоснабжения. Это привело к тому, что даже поддержание работы системы теплоснабжения требует значительных средств, не говоря уже о капитальном ремонте.

- нерасчетные режимы работы оборудования - не результат несоответствия советских инженерных решений, а следствие целого комплекса причин. В Советском Союзе инженерам при проектировании удавалось использовать сразу несколько эффектов. Отапливать высотки удельно более дешево, чем отдельно стоящие дома-квартиры. Также на теплоэлектроцентралях происходила комбинированная выработка тепла и электричества, за счет которых отапливались жилые кварталы, и это делало всю систему еще более эффективной и надежной;

- отсутствие грамотного эксплуатационного персонала, который был бы способен эксплуатировать и поддерживать системы теплоснабжения в рабочем состоянии.

Протяженность тепловых сетей в нашей стране составляет, по разным оценкам, от 180 до 280 тысяч километров в двухтрубном исполнении. На сегодняшний день затраты на транспорт тепла в растянутых сетях превышают 40% его себестоимости, для 80% трубопроводов тепловых сетей превышен срок безаварийной службы, более 30% тепловых сетей находятся в ветхом состоянии и требуют ремонта. В ряде регионов проблема износа теплопроводов стоит крайне остро, причем с каждым годом их состояние ухудшается. Если в 1997 году требовалось заменить 14,4% общей протяженности теплотрасс (каждый седьмой километр), в 2000 году эта цифра возросла до 16,2% (каждый шестой километр), то в 2003 году требовал замены уже каждый пятый километр. Однако в настоящее время заменяются не более 0,5 – 1% от общей протяженности сетей вместо 4 – 5% по нормативу.

При этом плановый ремонт практически уступил место аварийно-восстановительному, что в 3–4 раза дороже и значительно хуже по качеству. [3]

Такой крайне медлительный темп замены ветхих трубопроводов объясняется недостатком финансирования, растущими долгами потребителей перед тепловыми компаниями. Хотя при всем этом тариф на теплоснабжение стабильно увеличивается с каждым годом, только вот состояние теплотрасс постепенно приходит в негодность. Конечно, каждый год, летом, в каждом городе проводится плановый ремонт или практика «латания

дыр». А с наступлением отопительного сезона при изменениях температуры теплоносителя, от циклического термического удлинения/сжатия ветхие трубы лопаются, а свищи и другие мелкие аварии со временем перерастают в аварии крупные, объявляется аврал и участок сети заменяется на новый. При этом вопрос защиты сетей от коррозии даже не рассматривается: задача одна - заменить как можно быстрее, больше и дешевле. Такая экономия приводит к тому, что трубы снова становятся «ветхими» уже через 1 -5 лет и снова требуют замены. Этот замкнутый круг, который может «съесть» бюджет целого города, можно и необходимо разорвать только качественной защитой трубопроводов от коррозии - 80% аварий на тепловых сетях происходят именно от наружной коррозии. [4]

Но ошибочно говорить, что все проблемы российской системы теплоснабжения связаны только с трубопроводами. Свои проблемные места есть в каждом элементе системы. Нельзя заменить все тепловые сети города, но при этом совершенно забыть об источнике приготовления тепла. Поэтому чтобы преодолеть кризис, необходимо комплексно подходить к решению проблем.

Например, оборудование на источниках приготовления тепла уже давно отработало свой срок и также требует замены. Каждый отопительный сезон не обходится без аварии на какой-нибудь крупной ТЭЦ или котельной, когда весь город (поселок, несколько крупных поселений) остается без тепла. И во главе угла снова встает отсутствие финансирования, точнее частники не хотят вкладывать огромные деньги в отрасль, которая заведомо не даст большой прибыли, под сомнение встает даже вопрос окупаемости вложений. Другой ряд проблем, возникающих на источнике, связан с загрузкой оборудования, которая зачастую ниже запроектированной, что ведет к неэффективному использованию и потерям топлива. Удельные расходы газа, электричества и воды выше нормативных. Тариф на газ, электричество и воду достаточно высок, что приводит к растущему долгу перед поставщиками ресурсов, и ТЭЦ начинает использовать менее эффективный и экологичный ресурс (мазут). Распространенный случай — чрезмерные потери через теплоизоляцию котлов, их несоответствие режимным картам, отсутствие деаэрации воды. Здесь же — низкий уровень эксплуатации.

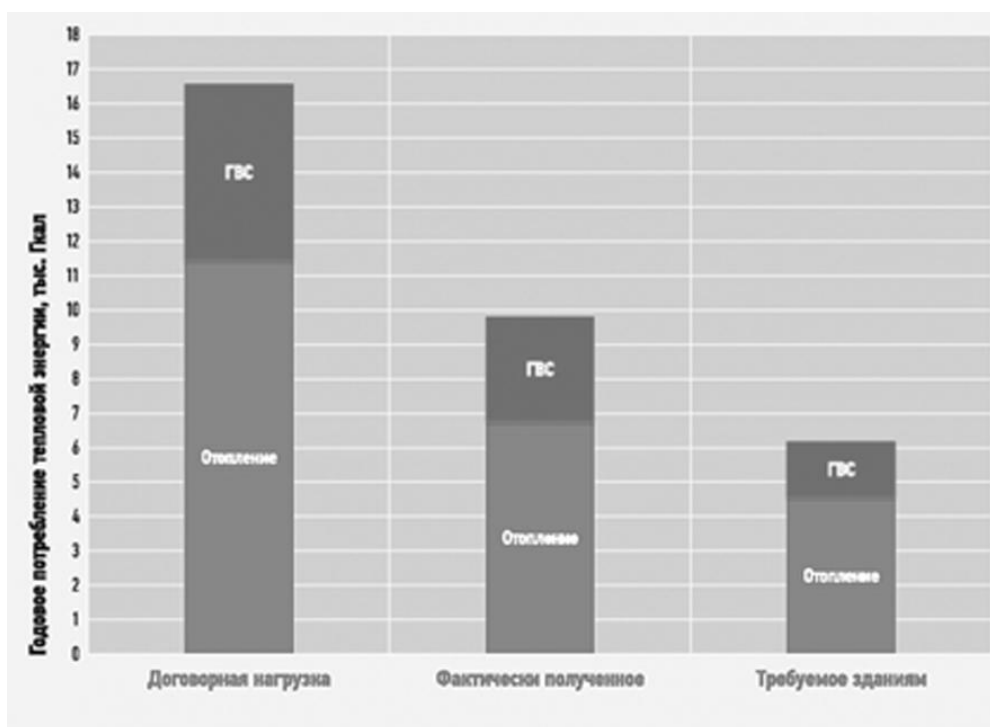


Рисунок 2 – Разница в объемах тепловой энергии на отопление

Массовый переход на собственные котельные и отказ от централизованной системы, недогрузка теплоэлектроцентралей (ТЭЦ) ведут к нерациональному использованию топлива. При этом зачастую внедряются устаревшие технологии теплогенерации. Потери тепла от источника до потребителя, по данным Министерства энергетики РФ, составляют в среднем 25-35 %. [2]

Потребители тепла также сталкиваются с целым рядом проблем. Это и высокий тариф на тепло, вследствие которого возникают массовые долги перед тепловыми компаниями. А те, в свою очередь, не желают вкладывать свои деньги в усовершенствование оборудования тепловых пунктов, для повышения теплотехнических характеристик, менять стояки в домах, проводить гидравлическую наладку системы.

И проблемы нарастают как снежный ком. Потребители должны своим управляющим компаниям. У последних накапливаются убытки, средств на текущие ремонты, и нет возможности вкладывать в модернизацию и повышение эффективности. Растет их задолженность перед поставщиками ресурсов. При этом потребители зачастую недополучают ресурс, но цифры в платежках растут (нередка ситуация, когда до потребителя доходит 20-30 % произведенного тепла, а счета выставляются за 60 %) [2].

Из всего вышесказанного можно сделать следующий вывод: в системе теплоснабжения России сложился настоящий кризис, и свет в конце туннеля до сих пор не виден, хотя каждый год проводится не одно заседание по поиску путей решения. А начинать надо с элементарного: навести порядок. Нельзя все время бороться только с последствиями кризиса, вкладывать огромные финансы на ежегодную замену труб на тех же участках, вышедших из строя по тем же причинам. Необходимо устранять сами причины, при этом минимальные усилия по защите от коррозии дадут гораздо больший эффект: например, продление срока службы трубопровода на 5 лет только за счет осушения каналов (минимальные затраты: на дренажные колодцы и откачку воды), даст экономию от снижения теплопотерь и затрат на ремонт повреждений на трубопроводе, равную стоимости перекладки такого же участка. [4]

Библиографический список

1. Айзенберг И.И. Основы надежности систем жизнеобеспечения: учеб. пособие / И.И. Айзенберг. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2009. – 140 с.
2. Степанова М.В. С.О.К. Теплоснабжение: новые вызовы или ветряные мельницы? 2014, №9.
3. Домрачев Д.Б. Исследование энергетической эффективности систем централизованного теплоснабжения как единого комплекса / автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук : специальность 05.23.03 <Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение>. – Иркутск, 2005 – 19 с.
4. Разоренов Р.Н. Новости теплоснабжения. Надежность систем теплоснабжения, 2003, №2.

УДК 628.16

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ РАБОТЫ ВОДОПРОВОДНЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Ланге Л.Р., Ворон Л.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк, Россия, Langelr@yandex.ru*

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы оптимизации действующих сооружений водоподготовки из поверхностного источника. Представлены варианты улучшения работы реагентного хо-

зайства, смесителя, отстойных сооружений, фильтров, обеззараживания, доочистки при кратковременном ухудшении органолептических свойств.

Ключевые слова: интенсификация, водопроводные очистные сооружения, смесители, отстойные сооружения, фильтры, промывная вода, антропогенные загрязнение водоисточников

Обеспечение населения страны питьевой водой является важнейшим условием национальной безопасности. Питьевая вода – необходимый элемент жизнеобеспечения населения, т.к. от ее качества и бесперебойной подачи зависит здоровье людей, уровень их санитарно – эпидемиологического благополучия и степень благоустройства городской среды.

Источниками централизованного водоснабжения в нашей стране служат, в основном, поверхностные воды, доля которых составляет 65-70%. И практически все они в последние годы подверглись существенному воздействию вредных антропогенных факторов.

Из-за повышенного загрязнения водоисточников традиционные технологии обработки воды стали во многих случаях недостаточно эффективны.

Основной схемой очистки для большинства водоочистных станций Кемеровской области является классическая двухступенчатая, включающая коагулирование, отстаивание или осветление в слое взвешенного осадка, фильтрование и обеззараживание воды хлором.

При этом принятая схема очистки зачастую не соответствует качеству воды в водоисточнике.

Улучшение качества питьевой воды, может идти двумя путями.

Первый путь – это строительство новых очистных сооружений с использованием передовых современных технологий (озонирование, сорбционная очистка, мембранные технологии т.п) [1]. Технико-экономическая оценка этих проектов показывает, что этот путь надежен, но весьма дорог, и поэтому рассчитывать на его массовое использование в ближайшие годы нереально, хотя отдельные фрагменты этих проектов могут быть использованы при реконструкции ВОС.

Второй путь - оптимизация работы существующих сооружений с учетом сезонных изменений качества воды в источнике.

Усовершенствования, которые могут быть внесены в процессы подготовки воды, представлены на рисунке 1.



Рисунок 1 – Технологическая схема очистки воды поверхностных источников

Рассмотрим их подробнее.

До недавнего времени преимущественное применение на водоочистных сооружениях (ВОС) имел сернокислый алюминий $Al_2(SO_4)_3$. Это объясняется его сравнительно невысокой стоимостью и удовлетворительной работой. К его недостаткам относится плохая коагуляция при низких температурах, невозможность увеличения, при необходимости, дозы коагулянта из-за высокой остаточной концентрации окиси алюминия в очищенной воде. В настоящее время появились в большом количестве новые коагулянты и флокулянты.

Исследования реагентов, проведенные в ЗАО «Водоканал» г. Новокузнецка показали, что технические характеристики реагентов должны соответствовать качеству очищаемой воды в месте забора и при лабораторных и технологических исследованиях должны быть определены. Так, в технологической лаборатории Драгунского водозабора были установлены параметры оксихлорида алюминия при очистке Томской воды. Наиболее эффективным в данных условиях является ОХА с высоким модулем основности – 5,6; с атомным соотношением Al/Cl – не менее 2,1; рН раствора – более 4,2. Это основные факторы, влияющие на количественный и качественный состав гидрокомплексов алюминия, который в итоге определяет свойства конечного продукта гидролиза – гидроокиси алюминия и, следовательно, влияет на скорость и эффективность хлопьеобразования [2]

Известно, что от скорости и полноты смешения воды с реагентами зависит качество очистки и расход коагулянта, поэтому очень важно оптимизировать работу смесителя. Прежде всего, следует определить в лабораторных условиях оптимальный разрыв во времени между вводом хлора, подщелачивающего реагента, коагулянта и флокулянта, т.к. от этого зависит расход реагентов и качество очистки. При необходимости по результатам лабораторных исследований необходимо изменять места ввода реагентов по сезонам года. Осуществление аэрации с вводом воздуха в подающий трубопровод улучшит процесс коагуляции и снизит расход коагулянта.

Хороший эффект дает использование механических смесителей, время смешения в которых снижается до 10-13 сек.

В Кемеровской области почти на всех ВОС запроектированы и построены горизонтальные отстойники с камерами хлопьеобразования со слоем взвешенного осадка, нормальная работа которых возможна при очистке вод средней мутности, т.е. при количестве взвеси более 50мг/дм^3 .

Период с мутностью более 50мг/дм^3 составляет для Новокузнецка 15-20 дней в году, а для Междуреченска 10 дней. Таким образом, большую часть года камеры хлопьеобразования не обеспечивают образование хлопьев из-за низкой мутности исходной воды. Этот недостаток может быть устранен (там, где это возможно) изменением конструкции камеры хлопьеобразования переделкой ее в вихревую камеру, которая сравнительно хорошо работает при невысокой мутности. В такую камеру можно вмонтировать рециркулятор осадка. Эта работа была выполнена на ВОС г Кемерово и по их данным это дает эффект улучшения работы.

Интенсифицировать работу камер можно применением воздушного перемешивания с определенной низкой интенсивностью [3].

Следует отметить, что горизонтальные отстойники на водоочистных станциях Кемеровской области оборудованы устройствами для непрерывного гидравлического удаления осадка. Это требует, по крайней мере, один раз вдвое суток удалять осадок из отстойников. Но так как при низкой мутности исходной воды осадка в отстойниках или нет совсем или очень мало, продувка отстойников ведет к большому расходу воды без должного эффекта. Исследования, проведенные на Драгунском водозаборе, позволили перейти к периодическому удалению (один – два раза в год). Это резко снизило расход воды на собственные нужды очистной станции.

Особенно большим усовершенствованиям можно подвергнуть водоочистные фильтры. Это, прежде всего, выбор фильтрующего материала и определение его оптимального гранулометрического состава для конкретных условий.

Анализ имеющихся местных фильтрующих материалов, проведенный кафедрой водоснабжения и водоотведения Сибирского государственного индустриального университета, показал, что наиболее эффективным по механическим и фильтрационным свойствам являются горелые породы фирмы «Аргеллит» (таблица 1) [4,5]. Применение их на сооружениях области (более 15 лет) позволило улучшить качество очистки (мутность фильтрата находится в пределах 0,2-0,6 мг/л), при этом гранулометрический состав их практически не меняется [6].

Таблица 1 – Параметры фильтрующей загрузки

Материал	Плотность, г/см ³	Насыпная объемная масса, кг/м ³	Пористость, %			Механическая прочность, %		
			макс.	мин.	средн.	измельчаемость	истираемость	суммар. износ
Кварцевый песок	2,6	1600	34	29	30	4,0	0,5	4,5
Керамзит недробленый Мысковского завода	2,25	550	52	45	48	2,7	0,1	2,8
Керамзит дробленый	2,1	500	62	56	59	3,7	0,4	4,1
Кварцит дробленый Антоновского рудоуправления г. Анжеро-Судженск	2,5	1600	52	48	50	3,0	0,4	3,4
Цеолит дробленый Пегасского месторождения	2,2	750	62	57	60	0,4	3,4	3,8
Горелые породы «Аргеллит» г. Киселевск	2,5	1250	60	52	56	0,4	0,1	0,5
Дробленый гравий	2,6	-	54	50	52	3,4	0,2	3,6
Альбитофир п. Горный, Новосибирской обл.	2,53	-	43	36	39	0,7	0,26	0,96

Очень хорошие результаты в период малой мутности (до 20 – 25 мг/дм³) дает применение контактной коагуляции на обычных скорых фильтрах. Она позволяет не только обеспечить высокое качество очистки, но и экономит 20 – 30 % коагулянта.

Применение дренажных систем фильтров, без поддерживающих слоев позволяет устранить проблему смещение поддерживающих слоев при эксплуатации, которая приводит к необходимости перезагрузки фильтра. Операция эта весьма трудоемкая и фильтр надолго выводится из работы. Кроме того, при ликвидации поддерживающих слоев удастся увеличить толщину фильтрующего слоя в фильтре и, следовательно, увеличить продолжительность фильтроцикла или скорость фильтрования.

Особое внимание нужно уделить снижению расхода промывной воды.

На Драгунском водозаборе проведены испытания водо-воздушной промывки, сущность которой заключается в следующем. Фильтроцикл заканчивается путем понижения уровня воды в фильтре на 40 – 50 см ниже поверхности загрузки (ниже наиболее насыщенного загрязнениями ее верхнего слоя). При этом происходит насыщение слоя загрузки над уровнем воды атмосферным воздухом. Затем осуществляют промывку загрузки восходящим потоком воды. Вода идеально равномерно вытесняет из верхнего слоя воздух, одновременно взрыхляя загрузку и отделяя от ее зерен загрязнения. На рисунке 2 представлены результаты изменения мутности промывной воды при разных режимах промывки. Как видно из графика применение водо-воздушной промывки позволило сократить время промывки с 10 до 6,5 минут без дополнительных затрат.

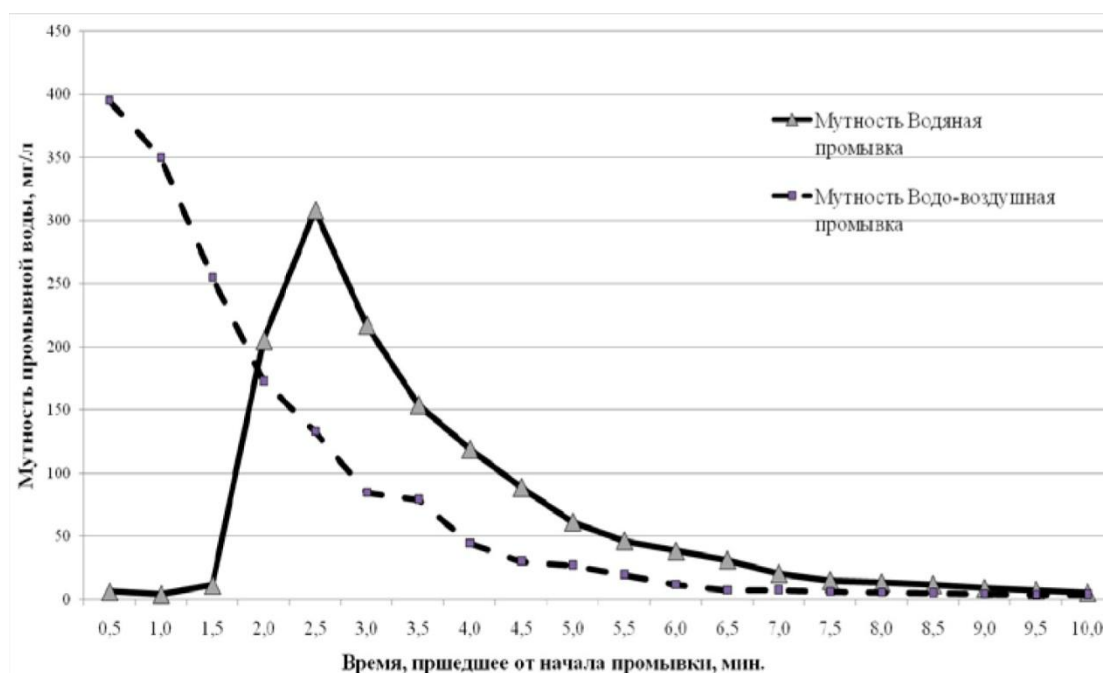


Рисунок 2 – График определения времени промывки фильтров

Вода р. Томь, особенно в зимний период имеет высокую рН = 7,8 – 8,4. При этом процент содержания хлорноватистой кислоты, которая является основным обеззараживающим элементом, снижается до 20 – 30 % и это резко ухудшает процесс обеззараживания воды. Применение аммонизации улучшает обеззараживание и, что очень важно, снижает вероятность возникновения хлорорганических соединений, являющихся канцерогенами.

В последнее время на передний план вышла проблема не готовности сооружений противостоять загрязнению источников воды токсинами, нефтепродуктами и, как следствие, ухудшение органолептических свойств. Эта проблема наиболее остро стоит при падении уровня воды в источнике.

Для повышения барьерной роли очистных сооружений на этот период предлагается обработка воды активированным угольным порошком с возможностью введения угольной пульпы в смеситель и перед фильтрами. Такая схема подачи пульпы позволит приспособить сооружения к работе как в условиях с фоновыми концентрациями загрязняющих веществ (ввод перед фильтрами), так и с концентрациями, значительно превышающими фоновые (ввод в смеситель).

Определение необходимости и возможности введения указанных мероприятий надежно определяются в технологических лабораториях, разработанных и смонтированных на ВОС г. Новокузнецка. Они позволяют не только вести исследования по применению новых видов коагулянтов и флокулянтов, фильтрующих материалов, процессов очистки, но и ежедневно выбирать наиболее оптимальную схему очистки соответствующую изменяющемуся качеству воды в источнике [7,8].

Предложенные мероприятия реконструкции водопроводных очистных сооружений не требуют больших капиталовложений и трудозатрат, что позволяет в короткие сроки оптимизировать работу сооружений в условиях антропогенного загрязнения водоемников.

Библиографический список

1. Ланге Л.Р., Володькина А.В., Добрынина Н.В., Лысенко О.В. Исследование мембранной очистки на Левобережном водозаборе г. Новокузнецка – В кн.: Сб. трудов IX междунар. науч.-практ. конф. Водоснабжение и водоотведение: качество и эффектив-

ность. Кемерово: изд. КемТИПП, СибГИУ, ИГАСУ, ООО КВК «Экспо-Сибирь», 2010. С.24–28.

2. Гридасов В.В., Лпнге Л.Р., Вагина М.П. Реагенты, применяемые на водопроводных очистных сооружениях г. Новокузнецка для очистки питьевой воды – В кн.: Сб. трудов VII междунар. науч.-практ. конф. Водоснабжение и водоотведение: качество и эффективность. Кемерово: изд. КемТИПП, СибГИУ, ИГАСУ, ООО КВК «Экспо-Сибирь», 2004. С.78–79.

3. Ланге Л.Р., Гохман Б.М. Оптимизация работы водопроводных отстойных сооружений. – В кн.: Сб. трудов IX междунар. науч.-практ. конф. Водоснабжение и водоотведение: качество и эффективность. Кемерово: изд. КемТИПП, СибГИУ, ИГАСУ, ООО КВК «Экспо-Сибирь», 2007. С.34–35.

4. Ланге Л.Р., Гохман Б.М. Опыт применения горелых пород в качестве фильтрующего материала Водоснабжение и водоотведение: качество и эффективность – В кн.: Сб. трудов IX междунар. науч.-практ. конф. Водоснабжение и водоотведение: качество и эффективность. Кемерово: изд. КемТИПП, СибГИУ, ИГАСУ, ООО КВК «Экспо-Сибирь», 2006. С.33–36.

5. Ланге Л.Р. Водоочистные фильтры. Конструкции, область применения, эксплуатация. – Новокузнецк: изд. СибГИУ, 2004. – 146 с.

6. Ланге Л.Р., Черданцева Н.Г., Лемякина Н.Г Реконструкция водопроводных очистных сооружений г. Междуреченска – В кн.: Сб. трудов IX междунар. науч.-практ. конф. Водоснабжение и водоотведение: качество и эффективность. Кемерово: изд. КемТИПП, СибГИУ, ИГАСУ, ООО КВК «Экспо-Сибирь», 2004. С.35–37.

7. Гохман Б.М., Ланге Л.Р., Гридасов В.В. Пути улучшения эксплуатации водопроводных очистных сооружений г. Новокузнецка. – В кн.: Сб. трудов третьего международного конгресса Вода: экология и технология ЭКВАТЭК – 98. Москва: СИБИКО Интернэшнл. 1998. С. 244 – 245.

8. Ланге Л.Р., Гохман Б.М. Технологическое моделирование процесса очистки природной воды. – В кн.: Сб. трудов VIII междунар. науч.-практ. конф: Водоснабжение и водоотведение: качество и эффективность. – Кемерово: изд. КемТИПП, СибГИУ, ИГАСУ, ООО КВК «Экспо-Сибирь», 2005. С. 16 – 20.

УДК 628.16

ПОВТОРНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОМЫВНОЙ ВОДЫ НА ВОДОПРОВОДНЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЯХ

Ланге Л.Р., Ворон Л.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк, Россия, Langelr@yandex.ru*

Аннотация. В статье представлены результаты исследований по очистке промывных и шламовых вод водоочистных станций, предложены схемы повторного использования на сооружениях г. Новокузнецка, исключаящие сброс в водоем.

Ключевые слова: водоемы, сбросы, промывная вода фильтров, шламовые воды, повторное использование.

Одной из серьезных проблем для многих станций подготовки питьевой воды является обработка промывных вод, которые образуются в процессе промывки фильтров. Фактически очистка и последующее использование промывной воды осуществляются лишь на немногих станциях.

В практике утилизации повторнозагрязненных вод существует несколько направлений решения данной проблемы.

Первая и самая опасная, нарушающая экосистему – сброс в источник. При этом стоит учитывать, что отходы водопроводных очистных станций представляют собой осадки из отстаивных сооружений, грязные промывные воды фильтров и другие технологические сточные воды. Большая концентрация взвешенных веществ, повышенное содержание органических и хлорорганических соединений, наличие гидроксидов алюминия или железа делают их экологически непригодными для сброса в природные источники без предварительной обработки.

Другой метод – сброс загрязненных вод в пруды-накопители. Эффективность очистки воды в прудах-накопителях при продолжительности отстаивания 4–7 суток составляет 94 – 99 % по взвешенным веществам. Возврат на очистные сооружения воды с мутностью 3–7 мг/л, не вызывает повышение содержания остаточного алюминия и перманганатной окисляемости очищенной питьевой воды [1]. Однако у данного метода есть минус – возможность попадания осадка из пруда-накопителя в грунт и, как следствие, дальнейшее его попадание в водоисточник.

Основной объем сточных вод представляют промывные воды фильтровальных сооружений.

При двухступенчатых схемах очистки промывные воды фильтров и осветленную воду, выделившуюся в процессе сгущения и обезвоживания осадков, можно направлять в трубопроводы перед смесителями или в смесители.

Эффективность работы основной технологической цепочки будет зависеть от составов исходной и промывной воды, от количества добавляемой оборотной воды. Положительный эффект наблюдается при малой мутности исходной воды, низких температурах и повышенной цветности. В таких условиях процесс коагуляционной обработки наиболее затруднен и осложняется необходимостью применением повышенных доз коагулянта для снижения цветности и окисляемости. В этих условиях добавляемая оборотная вода действует как замутнитель, снижая дозу коагулянта, повышая эффективность работы отстаивников [2,3].

Одним из важнейших факторов, влияющих на работу сооружений без предварительной подготовки оборотной воды, является соотношение объемов загрязненной оборотной и исходной воды, а также стабильность подачи и качественного состава оборотной воды. Учитывая, что поддержание равномерного качества для оборотной воды является достаточно сложной задачей, рассмотренная выше схема, как правило, показывает невысокую надежность на практике.

При обработке более мутных вод, а также в периоды сезонного повышения мутности внесение необработанных промывных вод с большим количеством взвешенных веществ ухудшает качество очищенной воды по показателям мутности и остаточного алюминия. Для таких условий рекомендуется максимальное осветление оборотной воды.

Логическим продолжением совершенствования технологии обработки промывных вод является полный отказ от возврата каких-либо стоков в «голову» сооружений. Как уже говорилось выше, это связано с главными и трудно устранимыми недостатками оборотного водоснабжения: неравномерностью подачи и различием показателей качества обрабатываемой поверхностной воды и добавляемой промывной.

Предлагается выделить (из имеющихся на станции или проектируемых) один или несколько отстаивников и скорых фильтров и использовать их для обработки промывных вод. При этом на выделенных сооружениях поддерживается индивидуальный технологический режим, а очищенная вода направляется в резервуары чистой воды, используется для промывки фильтров или для технических целей станции. В этом случае общее количество обрабатываемой на сооружениях станции воды остается неизменным, то есть, нет необходимости в дополнительном строительстве, за исключением отдельного смесителя для выделенной технологической цепочки. Накопление и усреднение по составу и расхо-

ду промывных вод осуществляется в резервуаре-усреднителе. Возможны три основных варианта обработки промывных вод:

- согласно первой схеме промывные воды обрабатываются на выделенном из технологического процесса горизонтальном отстойнике, с подачей очищенной воды на общие скорые фильтры станции очистки с последующей подачей в резервуар чистой воды;
- по второй схеме промывные воды обрабатываются на выделенном горизонтальном отстойнике и скором фильтре с подачей очищенной воды в резервуар чистой воды;
- третий вариант предполагает очистку промывной воды по второй схеме, но очищенные промывные воды подаются на промывку скорых фильтров станции очистки.

Вторичные промывные воды, образующиеся от выделенных скорых фильтров, направляются в тот же резервуар-усреднитель, откуда перекачиваются на цепочку выделенных сооружений согласно одной из предложенных схем.

В ЗАО «Водоканал» г. Новокузнецка совместно с кафедрой Водоснабжения и водоотведения Сибирского индустриального университета были проведены исследования по обработке промывной воды [4,5].

На рисунке 1 представлены результаты исследований.

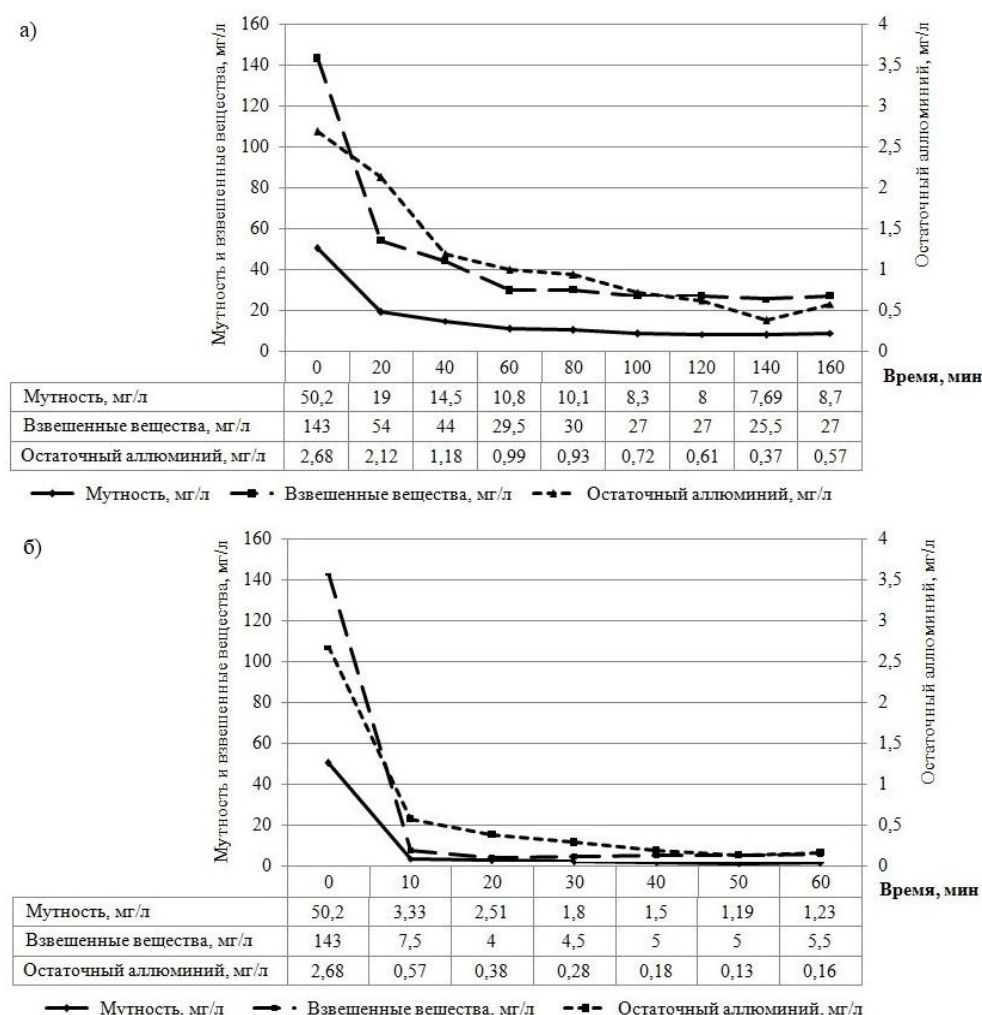


Рисунок 1 – Графики отстаивания усредненной пробы промывной воды фильтров: а – без добавления реагентов, б – с добавлением флоккулянта «Праестол» дозой 0,3 мг/л

Исследования показали, что без реагентной обработки процессы идут очень вяло. Отстаивание воды в свободном объеме в течение часа позволяют снизить содержание взвеси до 30 мг/дм^3 , и дальнейшее увеличение времени отстаивания не приводит к изменениям. Обработка флокулянтами позволяет резко сократить время отстаивания до 10–20 мин при существенном повышении качества очистки (до $4\text{--}2 \text{ мг/дм}^3$).

При этом в резервуар-усреднитель можно собирать все грязные технологические стоки станции: промывные воды фильтров, сбросы из смесителей и камер хлопьеобразования, осадок из отстойников, вторичные промывные воды от выделенных фильтров. В такой схеме все задержанные загрязнения концентрируются в выделенном отстойнике, осадок из которого подвергается механическому обезвоживанию и утилизируется. Как видно из графика, скорость осаждения шламовых вод резко возрастает при разбавлении их промывной водой фильтров [6].

Данная технология предлагается для использования на водопроводных сооружениях Кемеровской области.

Библиографический список

1. Егорцев А.С, Ланге Л.Р. Ворон Л.В. Проблемы повторного использования промывной воды на станциях водоподготовки – В кн. Сб. трудов всеросс. науч. конф. студ., асп. и молодых ученых: Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения. – Новокузнецк: СибГИУ. 2015. С.272–275.
2. Ланге Л.Р. Гохман Б.М. Пронина С.В. Технологии использования промывной воды – В кн. Сб. трудов всеросс. науч. конф. студ., асп. и молодых ученых: Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения. – Новокузнецк: СибГИУ. 2010. С 184-188.
3. Ланге Л.Р. Гохман Б.М. Повторное использование промывной воды – В кн.: Сб науч. трудов. Новые строительные технологии. – Новокузнецк: СибГИУ. 2010. С 219-221.
4. Дордин В.Д, Ланге Л.Р., Добрынина Н.В. Использование повторнозагрязненных вод на станции водоподготовки //Водоочистка. 2014 №1. С.35-38.
5. Ланге Л.Р. Дордин В.Д. Добрынина Н.В. Снижение расхода воды на собственные нужды станций водоподготовки – В кн.: Сб. трудов XIX междунар. науч.-практ. конф. Водоснабжение и водоотведение: качество и эффективность . Кемерово: «Экспо-Сибирь», 2013. С.56–59.
6. Ланге Л.Р., Дордин В.Д. Повторное использование промывных вод на Левобережном водозаборе г. Новокузнецка // Вестник СибГИУ. 2012. №1. С. 57-59.

СЕКЦИЯ 3. СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

УДК 69.059.14:725.85

ОБСЛЕДОВАНИЕ И ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ СПОРТИВНОГО ЗАЛА ГЛАВНОГО КОРПУСА СИБГИУ В УСЛОВИЯХ ДЕЙСТВИЯ ФАКТИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

Алешин Н.Н., Алешин Д.Н., Колесников А.В., Мальцев В.В.

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»,
г. Новокузнецк, Россия, maltsev84@ya.ru

Аннотация. Объектом исследования являлся спортивный зал главного корпуса СибГИУ в условиях действия фактических нагрузок. Цель работы заключалась в установке категории технического состояния отдельных элементов и строительных конструкций в целом на основе анализа их эксплуатационной пригодности.

Ключевые слова: обрешетка, стропильные ноги, железобетонные прогоны, металлические фермы, металлические прогоны, железобетонные плиты подвесного перекрытия.

Рассматриваемый объект исследования – спортивный зал №64 расположен в открылке левого крыла здания главного корпуса и занимает объём четвертого и пятого этажей в осях 2-П и Ш-Я. Длина спортивного зала составляет 35 м, а ширина 16,3 м. Высота потолка составляет 7,5 м. Спортивный зал окружен кирпичными стенами толщиной 640 мм.

Несущими конструкциями покрытия являются: двухскатные металлические фермы треугольного очертания с углом наклона верхнего пояса $d = 18^\circ$. Пролёт ферм 16,5 м, фермы опираются на кирпичные стены с шагом 3,6 м. Нижний пояс ферм ломанного очертания, раскосы нисходящие. Сечения элементов ферм – составного сечения из двух парных равнополочных уголков. Узловые соединения элементов ферм на фасонках толщиной 12 мм.

В узлах верхнего пояса ферм установлены железобетонные прогоны таврового сечения пролётом 3,6 м, то есть равного шагу ферм. По железобетонным прогонам по скатам крыши с шагом 1,2 м расположены стропильные ноги из двух спаренных плах сечением 50×170 мм.

На стропила вдоль здания уложены с шагом 250 мм деревянные бруски сечением 50×50 мм, представляющие собой обрешетку для кровли из оцинкованной стали толщиной 0,7 мм.

В узлах нижнего пояса ферм закреплены конструкции подвесного перекрытия, представляющие собой конструкции подвесного потолка.

Состав конструкций подвесного перекрытия включают в себя металлические прогоны пролётом 3,6 м. из швеллеров №20 с приваренным по всей длине прогона равнополочным уголком 75×75×6 мм. Шаг прогонов соответствует шагу нижних узлов ферм.

На нижней полке прогонов уложены железобетонные плиты подвесного потолка. По железобетонным плитам уложен пароизоляционный слой, утеплитель из минераловатных плит и котельный шлак.

По результатам обследования была составлена ведомость дефектов, основные из которых представлены на рисунке 1.

Железобетонные плиты подвесного чердачного перекрытия. Обследование железобетонных плит производилось в месте вскрытия их от утеплителя. Обнаружено отслоение штукатурного слоя на потолке, а также шелушение поверхностного слоя бетона снизу (на потолке) как правило в местах протечек и повышенной влажности. Необходимо про-

известии восстановление защитного слоя бетона с штукатуркой и затирку поверхностей раствором с добавлением клея.

Фермы в осях 3, 4, 6, 7, 8, 10. Фермы по вышеперечисленным осям имеют незначительные дефекты: переменную высоту катетов сварных швов по его длине; отсутствие заводки сварных швов на торец элементов; незначительная расцентровка осей элементов в узлах ферм; отсутствует коррозионная защита поверхностей; и другие незначительные дефекты, которые в данных конкретных условиях эксплуатации не приводят к нарушению работоспособности, и несущая способность ферм с учетом влияния имеющихся дефектов и повреждений обеспечивается. Однако, необходимо проводить осмотр технического состояния ферм и выполнить антикоррозийную защиту. Ферма по оси 9. Нижний пояс в 1-ой панели от оси «Ш» имеет выход из плоскости до 30 мм. Это приводит к неравномерному распределению напряжений в сечении нижнего пояса, но при этом отсутствует опасность внезапного разрушения и функционирование фермы возможно при контроле ее состояния, продолжительности и условий эксплуатации. Ферма находится в ограниченно работоспособном состоянии. Необходимо проводить осмотр технического состояния, выполнить антикоррозийную защиту.

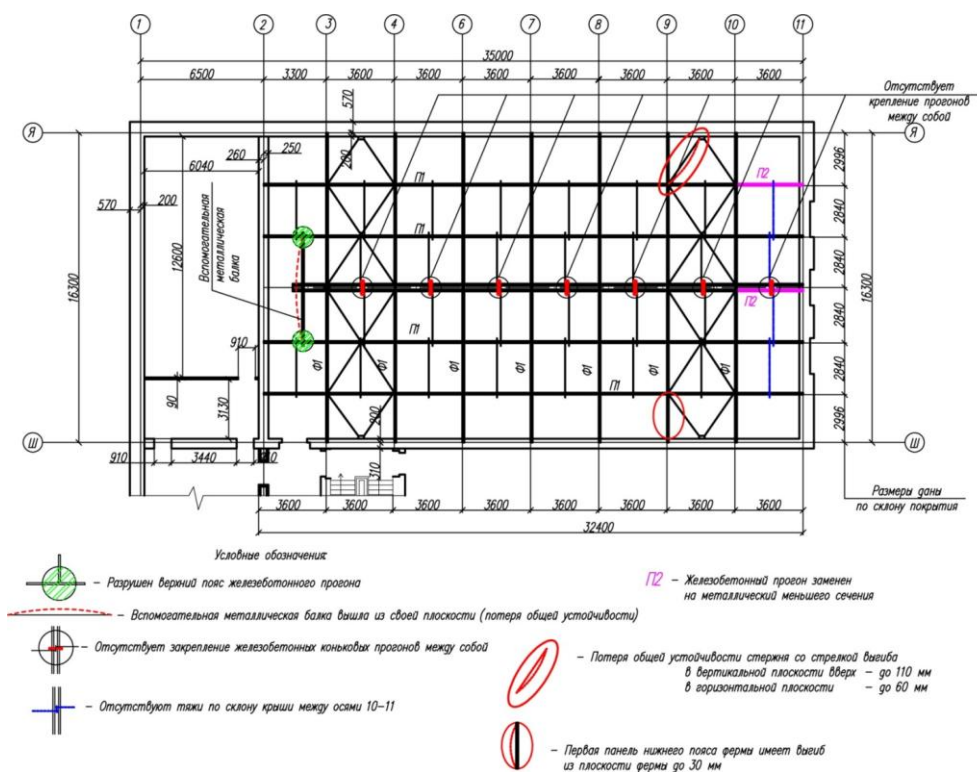


Рисунок 1 – Дефекты в конструкциях покрытия

Железобетонные прогоны в осях 2-3. Обнаружен дефект в виде вырубленного (разрушенного) верхнего пояса железобетонных прогонов. Железобетонные прогоны имеют уменьшение сечения в пролете на расстояние 1250 мм от оси 3, в месте установки вспомогательной балки. Железобетонные прогоны в недопустимом состоянии. Необходимо произвести усиление железобетонного прогона по разработанному проекту. Усиление прогона осуществляется с помощью шпренгельной системы, которая состоит из верхнего пояса основной конструкции и двух подкрепляющих раскосов с дополнительной стойкой.

Железобетонные прогоны в осях 3-10. Видимых дефектов в конструкциях прогонов не обнаружено. Железобетонные прогоны в работоспособном состоянии. Необходимо проводить осмотр технического состояния не менее двух раз в год

Коньковые прогоны. Тяжи по скатам кровли закреплены к коньковым железобетонным прогонам в середине их пролета. Поэтому такое закрепление не может считаться закреплением, обеспечивающим неизменяемость конструкций в плоскости покрытия.

Требуется дополнительное закрепление тяжей в коньковом узле по проекту. Усиление прогона кровли осуществляют постановкой тяжей диаметром 16 мм, изготовленных из стали С245.

Вспомогательная металлическая балка в осях 2-3. Вспомогательная металлическая балка вышла из своей плоскости до 40 мм (потеряла общую устойчивость). Дефект свидетельствует об исчерпании несущей способности и опасности обрушения (необходимо проведение срочных противоаварийных мероприятий). Усиление балки осуществляется с помощью шпренгельной системы, которая состоит из верхнего пояса основной конструкции и двух подкрепляющих раскосов с дополнительной стойкой. Вся система закреплена к коньковому узлу существующей фермы по оси 3.

Конструкция перекрытия в осях 2-3. На плиты подвесного перекрытия установлена дополнительная деревянная стойка не по проекту. Убрать стойку после усиления металлической балки и прогонов.

Связи в осях 3, 4. В связях по вышеперечисленным осям видимых дефектов не обнаружено. Отсутствует коррозионная защита поверхностей. Связи в работоспособном состоянии. Как рекомендация необходимо проводить осмотр технического состояния

Связи по верхним поясам фермы в осях 9-10. Первый раскос связей от оси «Я» имеет стрелку выгиба: в вертикальной плоскости – до 110 мм в горизонтальной плоскости – до 60 мм. Недопустимое состояние. Деформированный раскос убрать и заново восстановить.

Стропильные ноги из деревянных плах. В некоторых стропилах имеются отслоения краевых волокон, продольные трещины, вызванные усушкой древесины. По результатам внешнего осмотра и расчетов стропильные ноги находятся в работоспособном состоянии. Как рекомендация необходимо произвести пропитку древесины от возгорания и проводить осмотр технического состояния не менее двух раз в год.

Бруски обрешетки из дерева. В отдельных брусках наблюдаются провисания, выход из плоскости кровли и коробление, вызванные усушкой древесины. Произвести пропитку древесины от возгорания. Бруски и обрешетка находятся в работоспособном состоянии. Но необходимо проводить осмотр технического состояния не менее двух раз в год

При выполнении указанных требований и мероприятий приведенных в выводах, эксплуатация конструкций покрытия и подвесного перекрытия спортивного зала СибГИУ возможна без ограничений и перейдет в категорию работоспособного состояния.

Библиографический список

1. СП 13-102-2003. Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений. Актуализированная редакция [Текст]. – Введ. 21.08.2003. – Москва: ОАО «ЦПП», 2003. – 27 с.

УДК 693:620.9

РЕСУРСОБЕРЕЖЕНИЕ ПРИ УСТРОЙСТВЕ СТЕН В ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ДОМАХ

Погодин Д.А., Механиков В.М., Бурнякова Е.А

*Вологодский государственный университет,
г. Вологда, Россия, katusha59085@gmail.com*

***Аннотация.** Рассмотрены основы ресурсосбережения, дано понятие и составляющие. А также рассмотрены особенности. и выявлены задачи. ресурсосбережения. Установлена взаимосвязь между ресурсосбережением и энергоэффективностью. Выявлены направления повышения энергоэффективности и предусмотрены меры экономии энергии.*

Ключевые слова: ресурсосбережение, энергоэффективность, строительство, экономия, ресурсы.

В связи с введением Федерального закона Российской Федерации № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» и ГОСТ 30166-95 «Ресурсосбережение. Основные положения» в настоящее время ведется активная работа по снижению ресурсосбережения при строительстве домов.

В настоящее время ресурсосбережение - одна из приоритетных задач экономики России. Это связано прежде всего с дефицитом многих видов ресурсов: ростом стоимости их добычи (подготовки), а также серьезными экологическими проблемами. [5]

Обеспечение ресурсосбережения- обязательное требование к технике, технологии, организации производства и непроизводственной деятельности, хозяйственному механизму.

Ресурсосбережение- деятельность (организационная, экономическая, техническая, научная, практическая, информационная), методы, процессы, комплекс организационно-технических мер и мероприятий, сопровождающих все стадии жизненного цикла объектов и направленных на рациональное использование и экономное расходование ресурсов. [2] Другими словами- это совокупность мер по бережливому и эффективному использованию фактов производства (капитала, земли, труда). Оно обеспечивается посредством:

- использования ресурсосберегающих и энергосберегающих технологий;
- снижения фондоемкости и материалоемкости продукции;
- повышения производительности труда;
- сокращение затрат живого труда;
- повышения качества продукции; рационального применения труда менеджеров и маркетологов и др. [5]

Ресурсосбережение напрямую связано с энергоэффективностью.

Исходя из рисунка 1 можно сделать вывод, что большие потери тепла (40%) дом теряет через стены, поэтому конструктивное решение ограждающей наружной стены и влияет на энергоэффективность здания.

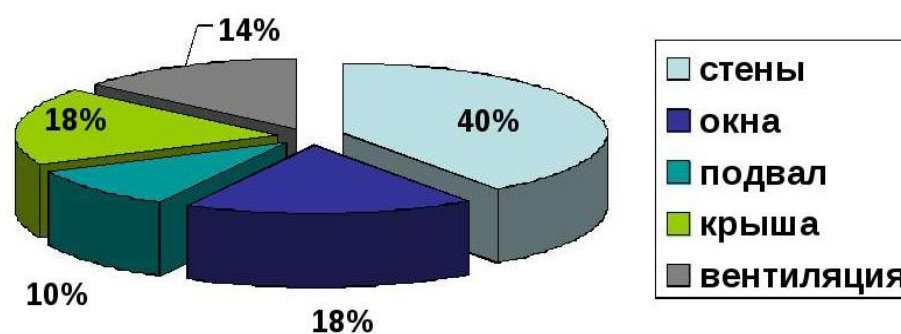


Рисунок 1 – Причины потери тепла

Таким образом, необходима разработка мероприятий по снижению ресурсосбережения и повышению энергоэффективности при устройстве стен в индивидуальных домах.

Ресурсосбережение в строительстве складывается из нескольких составляющих:

- разработка проектов зданий, обеспечивающих минимум затрат на строительство, эксплуатацию, реконструкцию или ликвидацию;
- создание ресурсосберегающих видов строительных материалов, изделий и соответствующих технологий их производства;
- разработка новых ресурсосберегающих методов расчета конструкции и технологии строительства;

- экономная эксплуатация зданий и сооружений.

Основной задачей ресурсосбережения, является экономия материальных ресурсов.

Экономить можно по-разному: можно их меньше тратить (для этого устанавливаются нормы), а можно внедрять новые технологии. А именно энергосберегающие технологии, применение которых несет достаточно реальные выгоды- это экономия энергии и затрат, связанных с ее использованием, а также поддержание необходимого экологического равновесия.

Главными направлениями повышения энергоэффективности является внедрение принципиально новых типов конструкции зданий, а также использование эффективных теплоизоляционных материалов. Речь идет как о современных методах строительства новых зданий жилого и производственного назначения, так и о комплексном переустройстве уже существующего здания.

Для достижения экономии энергии в проекте необходимо предусмотреть следующие меры:

- энергоэффективные объемно-планировочные решения;
- использование эффективной теплоизоляции наружных стен;
- применение энергосберегающих окон, форточек, жалюзи;
- применение солнцезащитных элементов в конструкции окон для снижения теплоступлений с солнечной радиацией через светопроемы в летнее время;
- утилизация всей теплоты от внутренних источников;
- выполнение наружных стен с повышенной теплоизоляцией со стороны действия холодных ветров;
- обеспечение максимального пассивного и активного использования солнечной энергии;
- герметичная заделка стыков и щелей, исключение утечек теплоты;
- максимальное использование естественного освещения и энергосберегающее;
- искусственное освещение с датчиками наличия людей в помещении для снижения затрат электрической энергии на освещение.

Таким образом, решение проблем ресурсосбережения при возведении зданий, является одним из важных направлений повышения эффективности строительства.

Библиографический список

1. Федеральный закон Российской Федерации № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 23.11.2009 N 261-ФЗ (действующая редакция, 2016).
2. ГОСТ 30166-95 Ресурсосбережение. Основные положения.- введ.01.01.2002-М.: Госстрой, 2002.-с.
3. Комолов Д.А. Энергоэффективность / Д.А. Комолов // Экономика и ТЭК сегодня. – 2008. - №11. – С.35-45.
4. Башмаков И.А Повышение энергоэффективности – энергетический ресурс экономического роста // ЭнергоРынок.2007. N2.
5. <http://greenevolution.ru/enc/wiki/resursosberezhenie>

УДК 699.865

КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ФУНДАМЕНТОВ В ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ЗДАНИЯХ

Погодин Д.А., Механиков В.М., Рябцев С.С.

Аннотация. Рассмотрены вопросы энергоэффективности в малоэтажном домостроении, приведены критерии для классификации энергоэффективных зданий, представлены способы защиты фундаментов от природных воздействий, рассмотрены варианты утепления фундаментов и мостики холода, кратко дана информация о преимуществах технологии теплоизолированных фундаментов мелкозаложенного.

Ключевые слова: малоэтажное строительство, энергоэффективность, фундамент, мостики холода, теплоизолированных фундаментов мелкозаложенного.

Малоэтажное домостроение является одним из самых современных и динамично развивающихся направлений жилищного строительства [1]. Одно из главных требований к малоэтажному домостроению – применение современных экономичных конструктивных решений, строительных материалов и технологий, направленных на снижение использования топливно-энергетических ресурсов (ТЭР), поскольку около 50 % всей потребляемой энергии народным хозяйством относится к отоплению зданий и сооружений.

Одним из эффективных путей экономии ТЭР в строительстве является повышение теплотехнических свойств ограждающих конструкций и снижение теплотерь через них.

Требования по повышению энергетической эффективности зданий, которые являются основным конечным потребителем энергии, являются одной из важнейших составляющих законодательства в большинстве стран мира.

Преимущества малоэтажного строительства:

- индустриальность дает возможность при использовании современных технологий без применения тяжелой строительной техники возводить жилье с более низкой себестоимостью и эксплуатационными затратами в более короткие сроки;
- энергоэффективность позволяет при использовании современных экономичных конструктивных решений, строительных материалов и технологий, уменьшить потребление ТЭР в соответствии с современными нормативными требованиями.

Здания необходимо проектировать энергоэффективными, т.е. затраты на эксплуатацию должны быть минимизированы, в целях экономии топливно-энергетических и невозобновляемых природных ресурсов. Основной принцип проектирования энергоэффективного дома - поддержание комфортной внутренней температуры без применения систем отопления и вентиляции за счет максимальной герметизации здания и использования альтернативных источников энергии. Критерием для классификации таких домов является энергопотребление.

Если затраты на отопление помещений в год составляют:

- менее 90 кВтч/м² - дом считается энергоэффективным;
- менее 45 кВтч/м² - энергопассивным;
- менее 15 кВт ч/м² - нулевого энергопотребления (на отопление ничего не тратится, но требуется энергия для подготовки горячей воды) [2].

Теплопотери фундаментов составляют 10-15% от общей теплопотерь малоэтажного здания. При строительстве зданий с низким энергопотреблением необходимо устройство неразрывного слоя теплоизоляции вокруг всего здания.

Конструктивные элементы подземных частей здания при эксплуатации испытывают значительные физические нагрузки от воздействия температурных факторов, грунтовых вод, тепловых потоков, что может привести к образованию трещин и разрушению. На пути движения холодных потоков лежит утеплитель и слой грунта, что препятствует проникновению холодных потоков под здание и теплых потоков из-под здания, частично для отопления дома используется положительная температура земли [3]. На рисунке 1 показаны виды природных воздействий и способы защиты фундаментов в пучинистых грунтах.

Мостики холода или теплонапряженных элементов (ТНЭ) оказывают большое влияние на теплотехнические характеристики ограждающих конструкций и способствуют увеличению теплопотерь здания. ТНЭ – это участки сопряжения конструктивных элементов с пониженным термическим сопротивлением. Существуют геометрические ТНЭ, которые возникают вследствие архитектурно-конструктивных особенностей здания и материальные, обусловленные различной теплопроводностью строительных материалов [4].

Основным последствием ТНЭ является понижение температуры на внутренней поверхности ограждений, примыкающих к проблемной области. Кроме увеличения теплопотерь здания, ТНЭ повышают вероятность образования конденсата на внутренней поверхности ограждений, что приводит к возникновению плесени. Также разница в температурных режимах может явиться причиной возникновения разрушения конструкций. На рисунке 2 показаны типичные мостики холода.

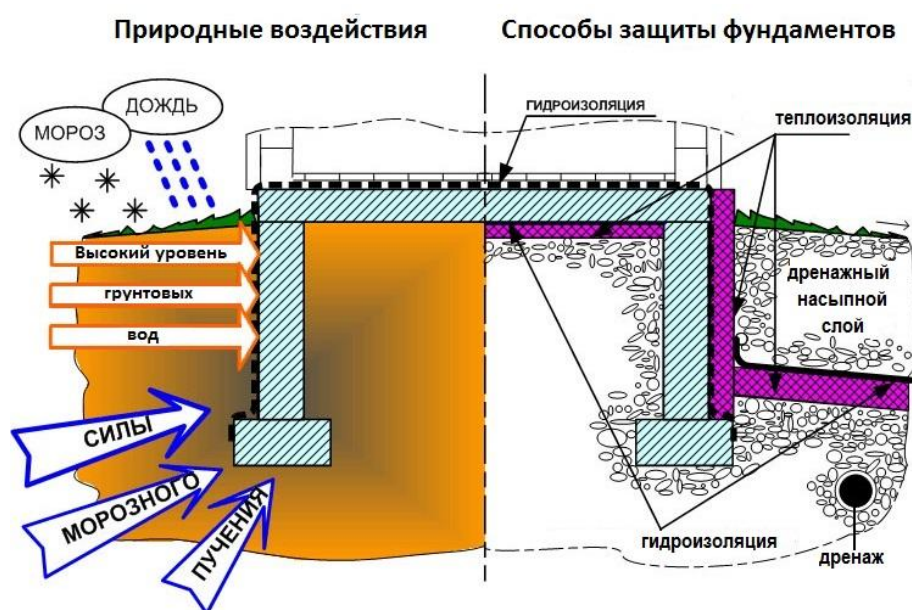


Рисунок 1 – Способы защиты фундаментов

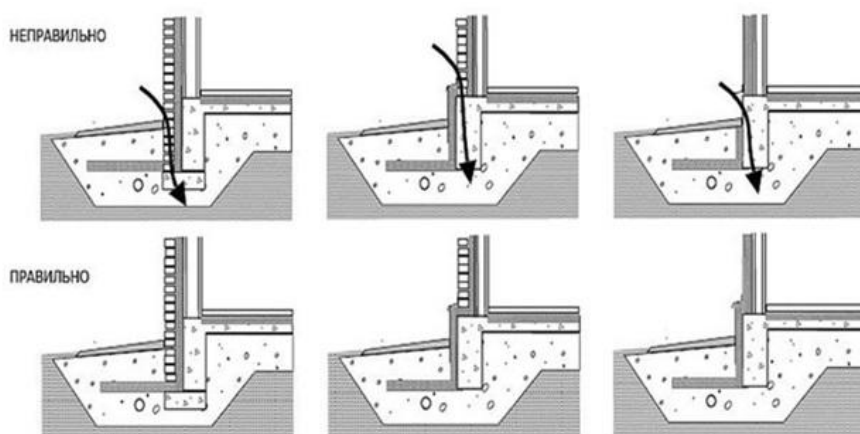


Рисунок 2 – Ошибки утепления фундаментов и мостики холода

При устройстве фундамента малоэтажного здания (до 3-х этажей) с низким энергопотреблением более целесообразно и экономически выгодно использовать технологию теплоизолированных фундаментов мелкого заложения (ТФМЗ). Данная технология позволяет выполнить неразрывный подземный слой теплоизоляции, значительно снизить финансовые и трудовые затраты.

Использование данной технологии позволяет:

- защитить здание от деформаций и возможных разрушений, вызванных силами морозного пучения грунта;
- снизить на 40—50 % стоимость фундамента;
- сократить сроки строительства;
- уменьшить теплопотери здания;
- сократить расходы на отопление;
- увеличить срок службы фундамента.

По вышеперечисленным факторам можно судить о больших перспективах развития малоэтажной застройки, как одного из интенсивно развивающихся секторов экономики.

Мероприятия по повышению теплозащиты фундаментов позволят снизить затраты на отопление здания в процессе эксплуатации.

Библиографический список

1. Выступление Председателя Правительства Российской Федерации В.В. Путина в Ступино [Электронный ресурс]. – Условия доступа: <http://premier.gov.ru>, <http://vladimirput.in>.
2. Куроптев А.С., Семиненко А.С. Энергоэффективное строительство: зарубежный и российский опыт [Электронный ресурс]. – Условия доступа: <http://www.scienceforum.ru/2015/pdf/17452.pdf>
3. Грызлов В.С. Тепловая защита и энергоэффективность зданий: Справочное пособие/ Грызлов В.С., Каптюшина А.Г., Ефимова К.А., Курочкин С.Н. – Череповец: ЧГУ, 2011.- ISBN 978-5-85341-461-7.
4. Табунщиков Ю. А., Бродач М. М., Шилкин Н. В. Энергоэффективные здания. – М.: АВОК – ПРЕСС, 2003. – 200с.

УДК 693

ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ, ВОЗНИКАЮЩИЕ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ИЛИ РЕКОНСТРУКЦИИ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ В УСЛОВИИ ПЛОТНОЙ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ

Погодин Д.А., Ермолаев А.И.

*Вологодский государственный университет,
г. Вологда, Россия, Denispogodin2013@yandex.ru*

***Аннотация.** Рассмотрены вопросы и основные проблемы градостроительства, возникающие при строительстве и реконструкции зданий в условиях плотной городской застройки. Произведен анализ стесненных условий, выявлены особые требования, которые должны быть учтены при подготовке и производстве строительно-монтажных работ.*

Ключевые слова: строительство, реконструкция, стесненные условия, жилые здания, анализ стесненных условий, требования.

Рыночная экономика изменила направленность жилищного строительства. Тенденции максимальной ориентации районной типовой застройки городов поменялись на наполнение плотности застройки исторически сложившихся районов жилыми домами индивидуального проектирования [1]

Возникла принципиально новая организационно-технологическая строительная проблема - разработка и обоснование рациональных и эффективных методов по возведению жилых зданий в условиях строительной инфраструктуры при комплексной реконструкции в исторически сложившейся застройке городских районов [2].

Анализ условий стесненности позволяет выявить особые требования, которые должны быть учтены при подготовке и производстве строительно-монтажных работ:

- необходимость проверочных расчетов существующих и монтируемых конструкций на восприятие ими монтажных нагрузок;
- принятие мер по защите существующих инженерных коммуникаций и технологического оборудования от возможных повреждений при выполнении монтажных работ;
- ограничение размеров монтажной зоны и характеристика факторов, влияющих на эти ограничения и т.д. [3, 4].

Одной из основных проблем в условиях существующей городской застройки является размещение на площадке крупногабаритных строительных машин и кранов. Ранее построенные здания и сооружения препятствуют перемещению стрелы крана или бетононасоса, отсутствует возможность проложить подкрановые пути. Выходом из этих проблем являются использование самоподъемных легкомонтируемых кранов стационарного типа на сравнительно небольшом фундаменте, применение бетоноукладочных комплексов, связанных с вертикальной подачей бетонной смеси внутрь здания и последующее её распределение на ярусе манипуляторами различных типов.

Еще одной проблемой при строительстве или реконструкции является невозможность расположения на строительной площадке всего необходимого оборудования, инженерных сооружений, машин и механизмов. В этом случае вне пределов строительной площадки могут располагаться административно-бытовые помещения, столовые и санитарные помещения, арматурные, столярные и слесарные цеха и мастерские, открытые и закрытые склады. Так же при ограничении складских помещений могут быть использованы следующие приемы: организация монтажа строительных конструкций с колёс и применение максимально укрупнённых элементов.

Не менее важным вопросом является ведение земляных работ вблизи действующих подземных коммуникаций. Такие работы выполняются под наблюдением мастера, а в непосредственной близости от них, кроме того, под наблюдением работников организации, ответственной за эксплуатацию этих коммуникаций.

Так же одним из основных усложняющих факторов, влияющим на производство строительных работ относится производство строительных работ в охранной зоне действующей воздушной линии электропередачи. При установке грузоподъемных кранов в охранной зоне воздушной линии электропередачи необходимо снять напряжение с воздушной линии электропередачи. При обоснованной невозможности снятия напряжения работу строительных машин в охранной зоне линии электропередачи разрешается производить при условии выполнения следующих требований:

- расстояние от подъемной или выдвижной части строительной машины в любом ее положении до находящейся под напряжением воздушной линии электропередачи должно быть не менее указанного в таблице 2;
- корпуса машин, за исключением машин на гусеничном ходу, при их установке непосредственно на грунте, должны быть заземлены при помощи инвентарного переносного заземления [5].

При строительстве или реконструкции в условиях плотной городской застройки максимально используются современные средства механизации и опыт, полученный при проведении работ в аналогичных условиях.

Несмотря на перечисленные выше проблемы, условия плотной городской застройки являются неотъемлемой частью современного строительства, а, следовательно, решение данных проблем является наиболее актуальной задачей технологического проектирования.

Библиографический список

1. Строительный комплекс России. Состояние и стратегии развития. – М.: ЗАО «Архитектура, строительство, дизайн», ж. «Архитектура, строительство, дизайн», 2000. № 4. – С. 54-55.

2. Горячев О.М., Прыкина Л.В. Особенности возведения зданий в стесненных условиях. М.: Academia, 2012. – 272 с.

3. Погодин Д.А., Козлов В.А. О проблемах реконструкции жилых зданий в стесненных условиях // Эффективные строительные конструкции: теория и практика: сборник статей XIV Международной научно-технической конференции. – Пенза: Приволжский Дом знаний, 2014. – С. 105 – 108.

4. Погодин Д.А., Козлов В.А. О проблемах возведения жилых зданий в стесненных условиях // Строительная наука – 2014: теория, образование, практика, инновации (посвящается 55-летию ИСиА САФУ): сборник трудов международной научно-технической конференции, г. Архангельск: - Архангельск: Изд-во ООО «Студия рекламы «Точка», 2014. – С. 209 – 212.

5. СНиП 12-03-2001. Безопасность труда в строительстве. Часть I. Общие требования / ФГУ ЦОТС Госстрой России.- М.: Стройиздат, 2001.

УДК 624.014

ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИК В Г.НОВОКУЗНЕЦКЕ

Алешин Д.Н., Алешина Е.А.

*Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк, Россия, dsx001@mail.ru, el.alesh14@yandex.ru*

Аннотация. В данной статье отражены проблемы обеспечения надежности и долговечности строительных конструкций промышленных сооружений на стадии эксплуатации. Рассматриваются характерные дефекты и повреждения строительных конструкций галерей обогатительных фабрик в г.Новокузнецке, выявленные в результате обследования. Анализируются причины возникновения дефектов и повреждений строительных конструкций.

Ключевые слова: надежность, долговечность, строительные конструкции, эксплуатация, обследование, дефекты, повреждения, галереи, обогатительные фабрики.

В настоящее время одним из актуальных направлений в области строительства является обследование строительных конструкций существующих промышленных сооружений с целью определения возможности и условий их дальнейшей безопасной эксплуатации [1]. Зачастую причиной обследования несущих и ограждающих конструкций промышленного сооружения является аварийное состояние сооружения или его части (рисунок 1) и необходимость принятия срочных мер по предотвращению их обрушения [2, 3].

После ввода объекта в эксплуатацию, в процессе работы появляются повреждения и деформации основных элементов и конструкций, что приводит к необходимости повышения надежности и долговечности строительных конструкций. Определяющее значение для своевременного выявления повреждений имеют плановые осмотры и обследование строительных конструкций, а в случае «поднадзорных» зданий и сооружений – экспертиза промышленной безопасности [4].



Рисунок 1 – Деформация консольной части галереи подачи угля

В соответствии с [5], надежность строительного объекта – это способность выполнять требуемые функции в течение расчетного срока эксплуатации. Долговечность – это способность строительного объекта сохранять физические и другие свойства, устанавливаемые при проектировании и обеспечивающие его нормальную эксплуатацию в течение расчетного срока службы при надлежащем техническом обслуживании [5]. Надежность и долговечность строительных конструкций должна обеспечиваться на всех стадиях: проектирования, строительства, эксплуатации.

Рассмотрим основные причины, вызывающие дефекты и повреждения строительных конструкций на стадии эксплуатации и тем самым снижающие надежность и долговечность строительных конструкций.

Неправильная организация нормальной эксплуатации объекта может вызывать перегрузки, связанные с несвоевременной уборкой просыпи с конвейеров (рисунок 2), скоплением снега и производственной пыли, складированием ремонтных материалов при производстве текущих ремонтов оборудования [4].



Рисунок 2 – Скопление просыпи угля на пролетном строении транспортерной галереи

Причинами повреждений строительных конструкций от механических воздействий могут являться: нарушение правил технической эксплуатации; удары транспортных средств и грузов о конструкции (рисунок 3); использование конструкций для подвески непредусмотренных грузов, опирания домкратов для подъема и перемещения грузов без соответствующего расчета и необходимого усиления; вырезка отверстий в элементах конструкций (рисунок 4) для пропуска коммуникаций без усиления ослабленных сечений [6].



Рисунок 3 – Механические повреждения полки двутавра



Рисунок 4 – Вырез в элементе связи

Еще одной причиной, снижающей надежность и долговечность строительных конструкций, является коррозия металлов (рисунок 5, 6) и разрушение защитных покрытий (рисунок 7). Степень коррозионного повреждения характеризуется скоростью проникновения коррозии (мм в год) по толщине поперечного сечения элементов, а также площадью поражения конструкций и зависит от следующих факторов: степени воздействия агрессивной среды на материал конструкций; способов антикоррозионной защиты, количества слоев и покрытий; конструктивной формы элементов и расположения их в пространстве; соблюдения правил технической эксплуатации конструкций, включая контроль над рабочими параметрами технологического оборудования. В сухом атмосферном воздухе сталь практически не подвергается коррозии. Скорость атмосферной коррозии зависит от содержания влаги в воздухе. Повышение относительной влажности воздуха до 70-75% приводит к сравнительно небольшим потерям стали. При влажности, превышающей эти значения, наблюдается интенсивное ускорение процессов коррозии [6].



Рисунок 5 – Коррозия стальной балки



Рисунок 6 – Разрыв связи из-за коррозии



Рисунок 7 – Разрушение бетона ребер и полок плиты, коррозия арматуры

Таким образом, для предотвращения большей части характерных повреждений строительных конструкций достаточно обеспечить правильную эксплуатацию промыш-

ленных объектов, не допуская вышеперечисленных причин повреждения конструкций, и тем самым повысить надежность и долговечность промышленных сооружений.

Библиографический список

1. СП 13-102-2003. Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений. Свод правил по проектированию и строительству / Госстрой России. – Москва, 2004.
2. Алешин Н.Д., Никотин А.А., Алешин Д.Н. Обследование конструкций галереи ЦОФ «Кузнецкая». – Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Новокузнецк, СибГИУ, 2012. – Вып.16. – Ч.III. Технические науки. – 202 с. – С.102-104.
3. Алешин Н.Д., Колесников А.В., Алешин Д.Н. Обследование и восстановление консольной части галереи подачи угля с учетом требований безопасной эксплуатации. – Окружающая природная среда и экологическое образование и воспитание: сборник статей XIV Международной научно-практической конференции. – Пенза: Приволжский Дом знаний, 2014. – 64 с. – С.3-5.
4. Алешин Д.Н., Никотин А.А., Алешина Е.А. Повышение долговечности и надежности металлоконструкций промышленных зданий и сооружений. – Эффективные строительные конструкции: теория и практика: сборник статей XV Международной научно-технической конференции. – Пенза: Приволжский Дом знаний, 2015. – 236 с. – С.7-11.
5. ГОСТ Р 54257-2010. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения и требования (с изм. №1).
6. Алешин Д.Н., Белоусов Н.С., Алешина Е.А. Дефекты и повреждения стальных конструкций. – Фундаментальные и прикладные научные исследования: сборник статей Международной научно-практической конференции (5 ноября 2015 г., г.Екатеринбург). / в 3 ч. Ч.2 – Уфа: Аэтерна, 2015. – 270 с. – С.3-7.

УДК 622.6

ПРОЦЕССЫ ТЕПЛОПЕРЕНОСА ЧЕРЕЗ СТЕНЫ С ЗАЩИТНО-ДЕКОРАТИВНЫМ СЛОЕМ ИЗ ТОНКОСЛОЙНОЙ ШТУКАТУРКИ

Власенко М. И., Тихомиров С.А.

*Академия Строительства и Архитектуры Донского Государственного Технического Университета (бывший Ростовский Государственный Строительный Университет).
г. Ростов-на-Дону, Россия, mariya_vlasenko91@mail.ru*

Аннотация. Освещены актуальные исследования теплопереноса внутри ограждающих конструкций, применяемых в строительстве зданий различного назначения. Приведены результаты серии экспериментов, выполненных с использованием численных методов, заложенных в основу компьютерной программы. Анализ полученных данных способствует созданию более совершенных конструкций с более высокими теплофизическими свойствами. Моделирование процессов теплопереноса повышает точность проводимых расчетов.

Ключевые слова: энергосбережение, каркасные стены, вентилируемая воздушная прослойка, теплопроводные включения, температурные поля, энергоэффективность зданий.

Введение

Вопрос энергосбережения объектов жилищно-коммунального хозяйства является актуальным и острым для многих стран. В последние годы в России принят ряд нормативных документов, значительно ужесточающих требования к тепловой защите и энергоэффективности зданий.

С 1 июля 2015 г. на территории России стал обязательным к применению СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003 [3] в части нормирования и расчета показателей тепловой защиты зданий, которое дает оценку теплопроводным включениям.

Большинство гражданских зданий (жилые, торговые, детские, учебные, лечебные, зрелищные) возводится по типовым проектам. [1] Нередко используются конструкции стен с защитно-декоративным слоем из тонкослойной штукатурки. Такие конструкции состоят в упрощенном виде, чаще всего используемом для расчетов, из типовых элементов, представленных в СП 230.1325800.2015 [2]. Расчет приведенного сопротивления теплопередаче фрагмента теплозащитной оболочки ограждающей конструкции приводится в нормативных документах с учетом теплопроводных включений, таких как шурупы, болты, анкера и пр. Однако существенным образом отличается картина температурных полей внутри стеновой конструкции в различных узлах, что не учитывается в СП 50.13330.2012 [3]. Это существенным образом влияет на точность расчетов.

Задача исследования

В рамках этого исследования рассматривается опыт экспериментальных исследований температурных полей стен с защитно-декоративным слоем из тонкослойной штукатурки. Изучалась динамика стационарного теплопереноса в зимний период для г. Ростова-на-Дону для сложных составных конструкций с различными свойствами слоев. Фрагменты конструкций и состав слоев каркасной стены были взяты из справочника Rockwool. Исследование проводилось с целью совершенствования методов расчета. Теплопроводность взята по расчетным характеристикам при условии А с учетом коэффициентов неоднородности по СП 23-101-2004 [4]. В нашем случае $\gamma = 0,74$.

Стена при новом строительстве может быть несущей или самонесущей и представляет собой трехслойную конструкцию с несущим слоем из полнотелого керамического кирпича, бетонных блоков или монолитного железобетона.

Перед установкой утеплителя изолируемые поверхности обрабатывают проникающей грунтовкой для уменьшения водопоглощения и повышения адгезии. При необходимости грунтовку наносят дважды. В цокольной части зданий для установки первого ряда плит утеплителя применяют специальные стартовые профили (цокольные шины), прикрепляемые к стене анкерными дюбелями. Монтаж системы осуществляют послойно. Плиты утеплителя устанавливаются с низу в верх с соблюдением правил перевязки швов: смещение вертикальных швов по горизонтали, зубчатая перевязка на углах здания, обрамление оконных и дверных проемов плитами с подогнанными по месту вырезами. Предварительную фиксацию плит утеплителя осуществляют с помощью клея, наносимого на их обратную сторону.

Состав сложной конструкции наружной стены представлен в направлении от теплой поверхности к холодной. Значения теплопроводности были взяты из СП 50.13330.2012 [2]:

- внутренняя штукатурка – Раствор сложный (песок, известь, цемент) $\rho=1700$ кг/м³, $c_0=0,84$ кДж/(кг ·°С), $\lambda=0,70$ Вт/(м ·°С), $b=20$ мм

- стена (несущая) – Силикатного на цементно-песчаном растворе $\rho=1800$ кг/м³, $c_0=0,88$ кДж/(кг ·°С), $\lambda=0,76$ Вт/(м ·°С), $b=380$ мм

- клеевой состав – Цементно-песчаный раствор $\rho=1800$ кг/м³, $c_0=0,84$ кДж/(кг ·°С), $\lambda=0,76$ Вт/(м ·°С), $b=2$ мм

- утеплитель – Теплоизоляционные плиты из каменной ваты Фасад Баттс (ТУ 5762-020-45757203-05), Фасад Баттс Д (ТУ 5762-016-45757203-05), Фасад Ламелла (ТУ 5762-027-45757203-09) $\rho=125$ кг/м³, $c_0=0,84$ кДж/(кг ·°С), $\lambda=0,042$ Вт/(м ·°С), $b=130$ мм

- декоративная штукатурка – Цементно-песчаный раствор $\rho=1800$ кг/м³, $c_0=0,84$ кДж/(кг ·°С), $\lambda=0,76$ Вт/(м ·°С), $b=20$ мм

- армирующая сетка $\rho=7850 \text{ кг/м}^3$, $c_0=0,482 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{°C)}$, $\lambda=58 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$, $b=3 \text{ мм}$, шаг 50×50

Теплотехнический расчет выполнен с учетом коэффициента неоднородности:

$$R_{ст.} = 1/8,7 + 0,02/0,70 + 0,38/0,76 + 0,002/0,76 + 0,13/0,042 + 0,020/0,76 + 0,003/58 + 1/23 = 3,81 \text{ м}^2 \text{°C/Вт}$$

$$R_{ст} > R_{ст. ГСОП}$$

$$3,81 \cdot 0,74 = 2,82 > 2,63$$

Междуэтажное перекрытие – Железобетон $\rho=2500 \text{ кг/м}^3$, $c_0=0,84 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{°C)}$, $\lambda=1,92 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$, $b=220 \text{ мм}$.

Влияние составных элементов стеновых конструкций и теплопроводных включений на теплопроводность и тепловые поля

Наиболее приемлемый способ определения фактических характеристик здания при стационарной теплопроводности связан с использованием численных методов, реализация которых возможна с помощью ЭВМ. В связи с этим теоретическое исследование процессов переноса в многослойных конструкциях проведено на основе метода конечных элементов, заложенного в основу программы.

Рассматривались различные фрагменты стеновых конструкций (Рисунок 1а, Рисунок 2а, Рисунок 4а, Рисунок 5а, Рисунок 6а) угловые фрагмент конструкций стены (Рисунок 3а), узлы крепления окон (Рисунок 7а). Как видно из расчета, выполненного в программе стен с защитно-декоративным слоем из тонкослойной штукатурки, теплопроводные включения оказывают колоссальное влияние на тепловые потоки внутри ограждающей конструкции, что существенным образом сказывается на энергоэффективности зданий.

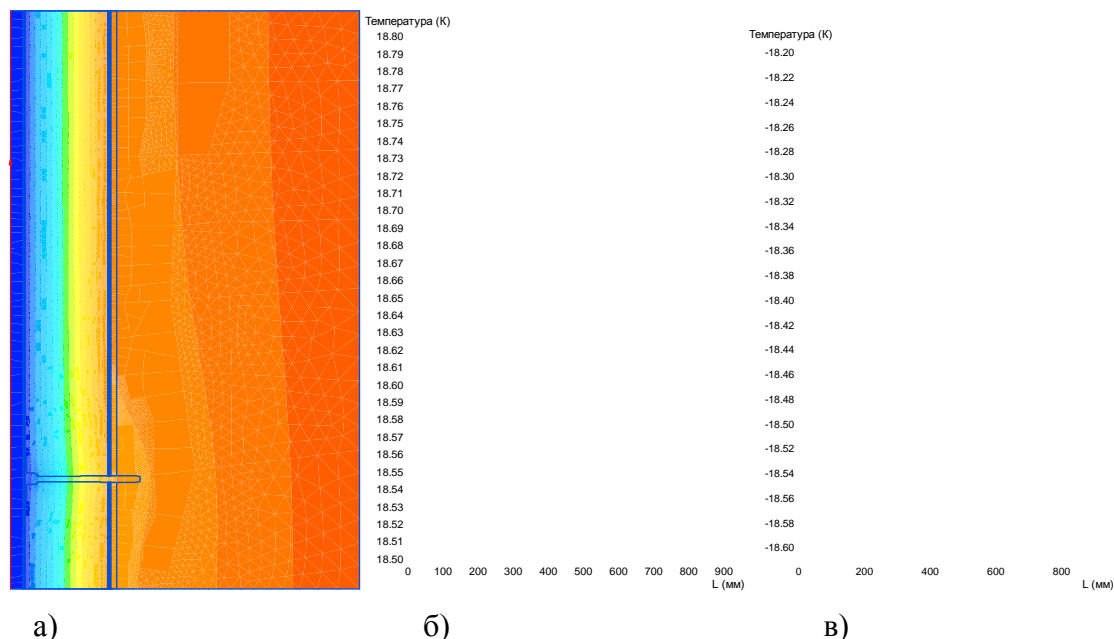
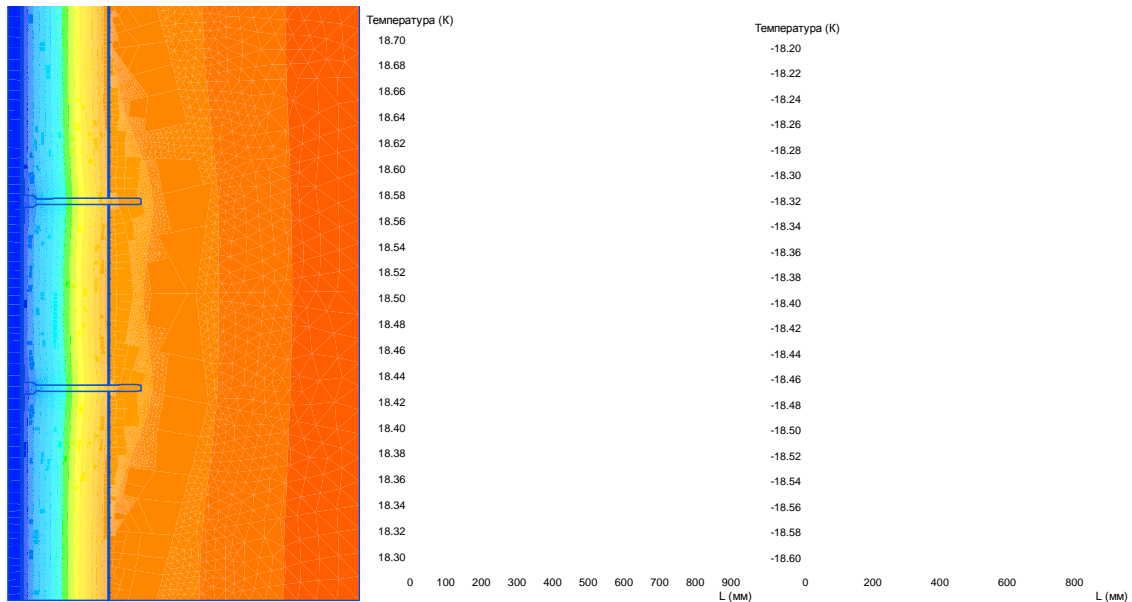


Рисунок 1 – Фрагмент стеновой конструкции (Вариант 1). а) Тепловые поля внутри наружной стены; б) Температура на внутренней поверхности рассматриваемого фрагмента ограждающей конструкции; в) Температура на наружной поверхности рассматриваемого фрагмента ограждающей конструкции

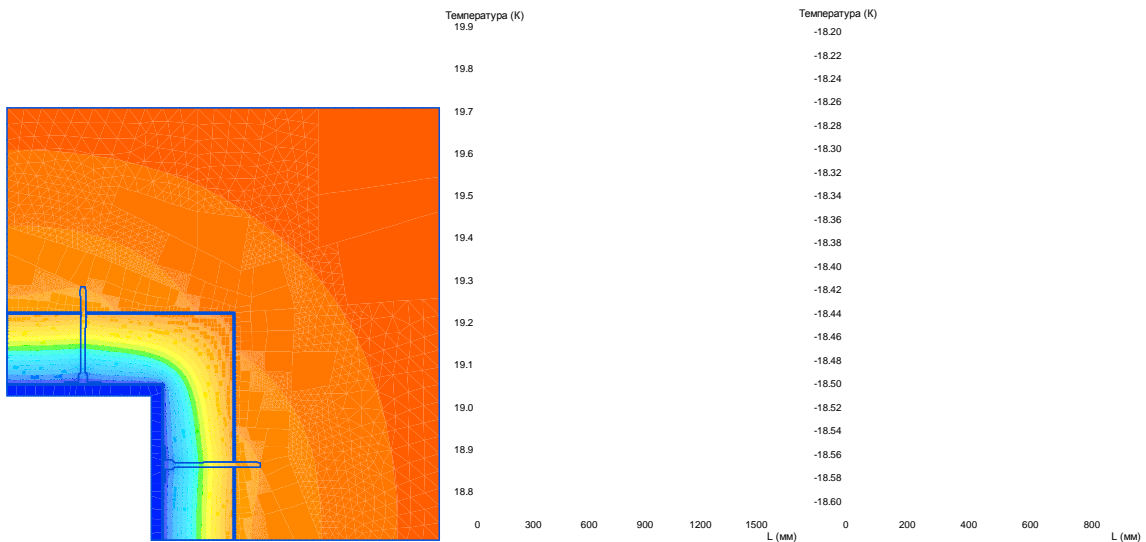


а)

б)

в)

Рисунок 2 – Фрагмент стеновой конструкции (Вариант 2). а) Тепловые поля внутри наружной стены; б) Температура на внутренней поверхности рассматриваемого фрагмента ограждающей конструкции; в) Температура на наружной поверхности рассматриваемого фрагмента ограждающей конструкции.



а)

б)

в)

Рисунок 3 – Угловой фрагмент стеновой конструкции. а) Тепловые поля внутри наружной стены; б) Температура на внутренней поверхности рассматриваемого фрагмента ограждающей конструкции; в) Температура на наружной поверхности рассматриваемого фрагмента ограждающей конструкции.

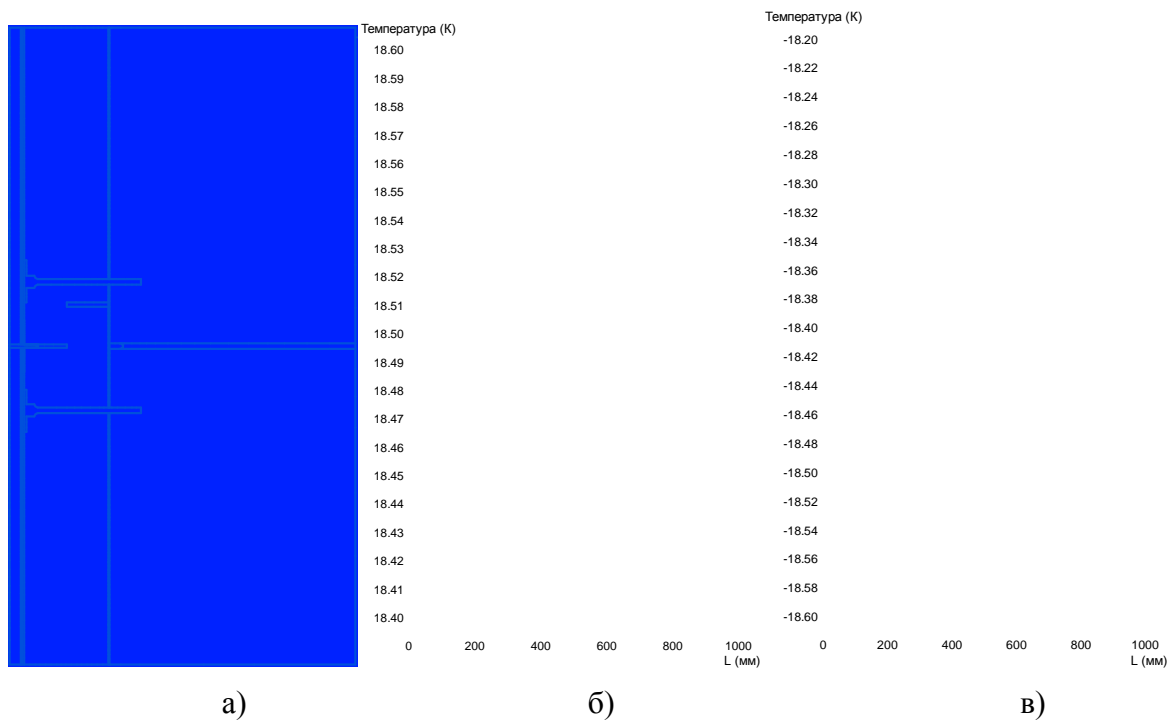


Рисунок 4 – Фрагмент стеновой конструкции (Вариант 3). Наличие деформационного шва. а) Тепловые поля внутри наружной стены; б) Температура на внутренней поверхности рассматриваемого фрагмента ограждающей конструкции; в) Температура на наружной поверхности рассматриваемого фрагмента ограждающей конструкции.

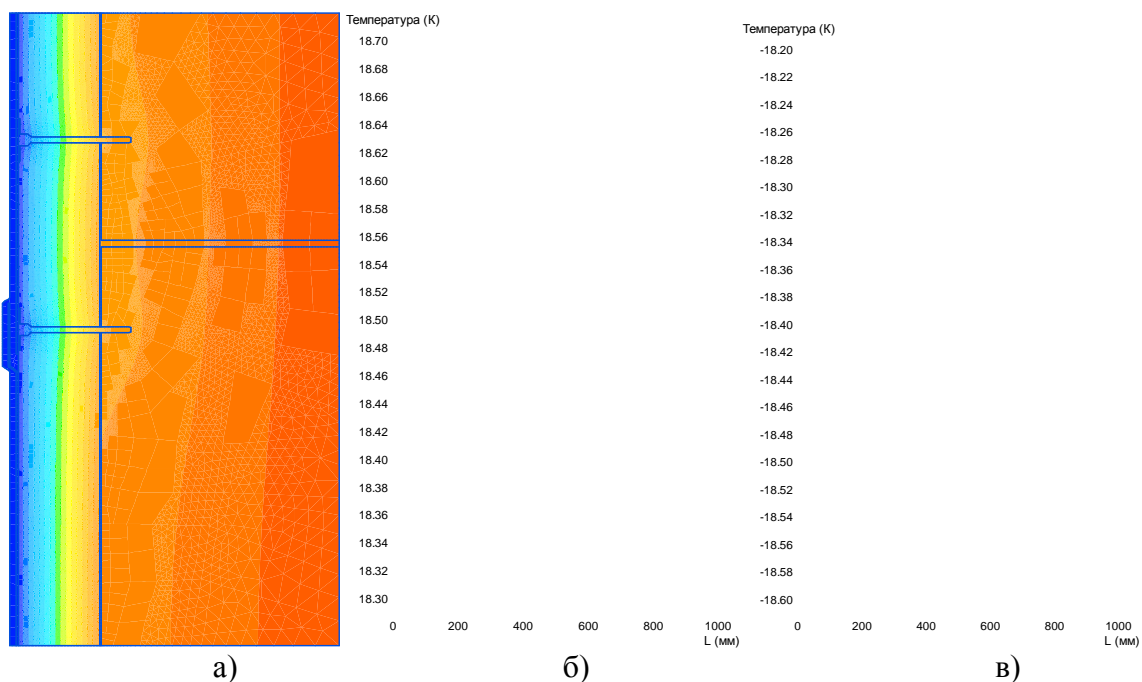


Рисунок 5 – Фрагмент стеновой конструкции (Вариант 4). а) Тепловые поля внутри наружной стены; б) Температура на внутренней поверхности рассматриваемого фрагмента ограждающей конструкции; в) Температура на наружной поверхности рассматриваемого фрагмента ограждающей конструкции.

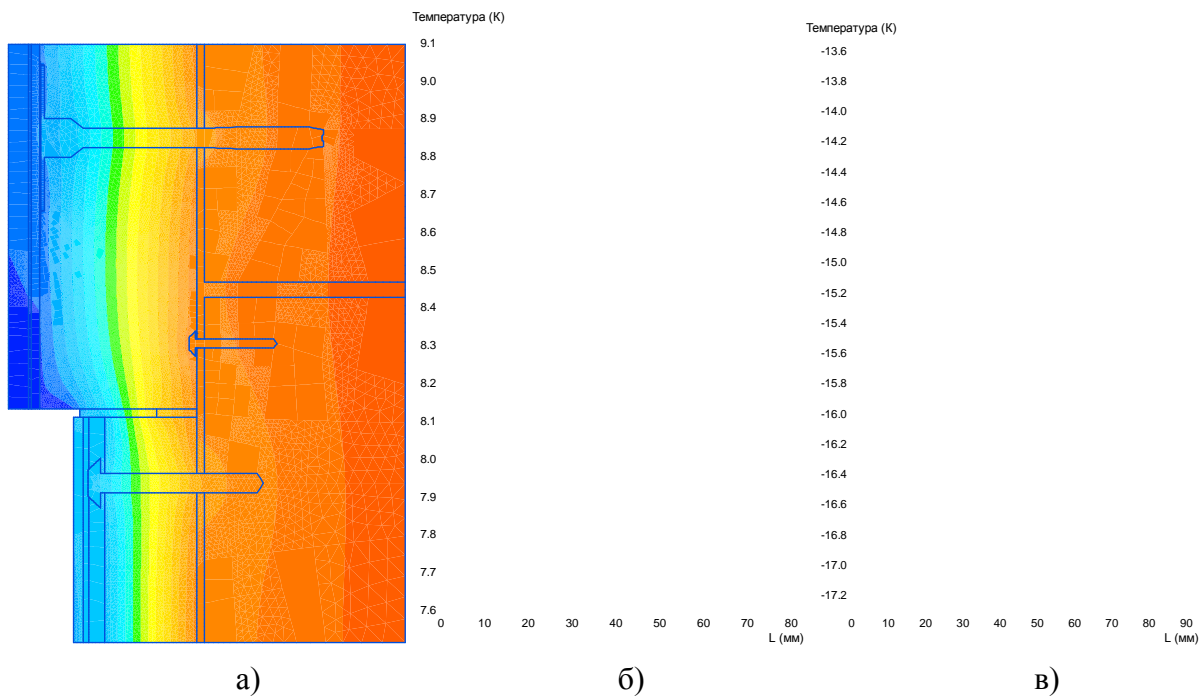


Рисунок 6 – Фрагмент стеновой конструкции (Вариант 5). Фрагмент стены на стыке с ограждающей конструкцией подвала. а) Тепловые поля внутри наружной стены; б) Температура на внутренней поверхности рассматриваемого фрагмента ограждающей конструкции; в) Температура на наружной поверхности рассматриваемого фрагмента ограждающей конструкции.

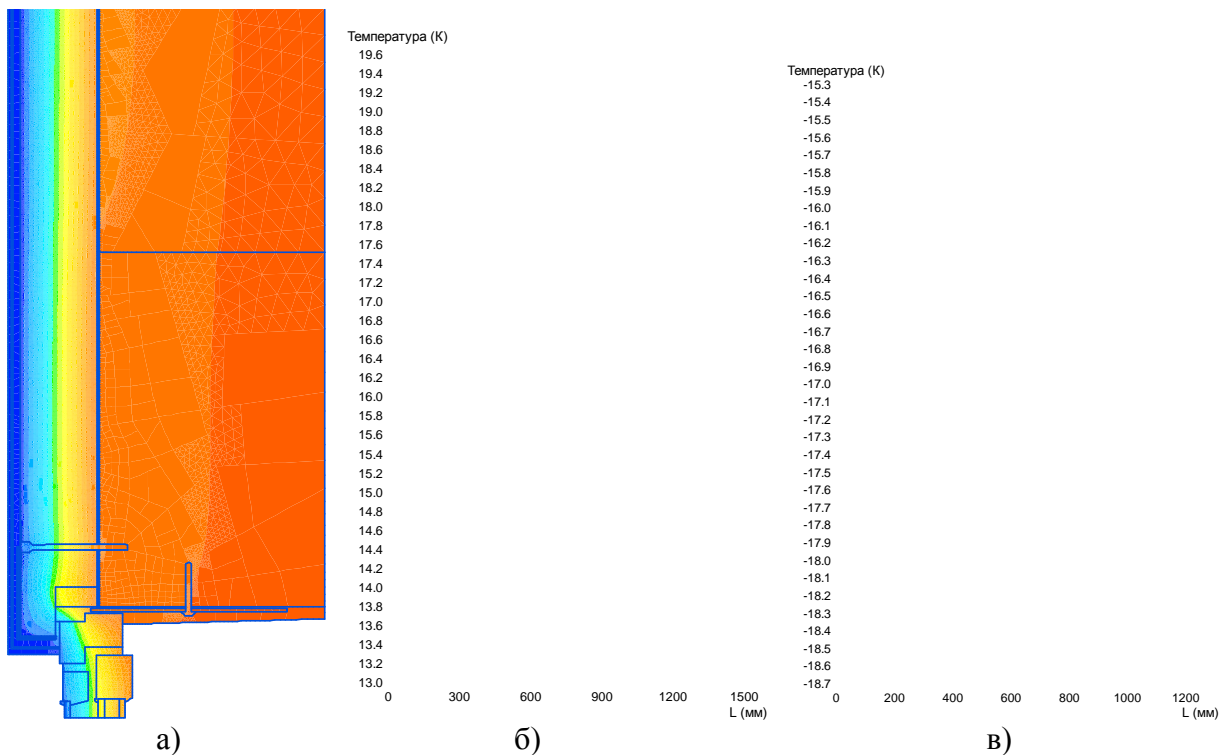


Рисунок 7 – Фрагмент крепления оконного блока. а) Тепловые поля внутри наружной стены; б) Температура на внутренней поверхности рассматриваемого фрагмента ограждающей конструкции; в) Температура на наружной поверхности рассматриваемого фрагмента ограждающей конструкции.

Полученные данные представлены в виде графиков, позволяющих провести параметрический анализ, и могут быть использованы при создании более совершенных конструкций с хорошими теплозащитными свойствами. Из температурных графиков хорошо видна зависимость температуры от теплопроводных включений. Перепад температур, более чем в 1°C , на внутренней поверхности прослеживается на рисунке 3б, для углового фрагмента ограждающей конструкции. Температура на внутренней поверхности для стеновых конструкций на стыке с подвалом колеблется $\approx 1,5^{\circ}\text{C}$. Для фрагмента крепления оконного блока температура на внутренней поверхности ограждающей конструкции колеблется $\approx 0,8^{\circ}\text{C}$, однако сильно падает на стыке с креплением оконного блока.

Перепад температур на наружной поверхности для стен с защитно-декоративным слоем из тонкослойной штукатурки в основном не выходит за пределы $\approx 0,35^{\circ}\text{C}$. Исключением становится узел на стыке с конструкцией подвала, где перепад составляет $\approx 3,5^{\circ}\text{C}$, а также температура на наружной поверхности стены сильно повышается в месте стыка с оконной конструкцией.

Не редко конструкции имеют дефекты, связанные низким качеством строительно-монтажных работ, а также подвержены износу. Под физическим износом конструкции, элемента, системы инженерного оборудования и здания в целом следует понимать утрату ими первоначальных технико-эксплуатационных качеств (прочности, устойчивости, надежности и др.) в результате воздействия природно-климатических факторов и жизнедеятельности человека. Для стен с защитно-декоративным слоем из тонкослойной штукатурки применимы таблицы 10 и 15 по ВСН 53-86(р) "Правила оценки физического износа жилых зданий" [5]. А именно, повреждения представлены в виде трещин шириной до 2 мм и глубиной $1/3$ стены, отпадения штукатурки, выветривания швов, ослабления и разрушения кладки, заметного искривление стен.

Заключение

При проектировании теплозащиты зданий различного назначения следует применять, как правило, типовые технические решения и изделия полной заводской готовности, в том числе конструкции комплектной поставки, со стабильными теплоизоляционными свойствами, достигаемыми применением эффективных теплоизоляционных материалов с минимумом теплопроводных включений и стыковых соединений в сочетании с надежной гидроизоляцией, не допускающей проникновения влаги в жидкой фазе и максимально сокращающей проникновение водяных паров в толщу теплоизоляции. Это гарантирует наилучшие теплозащитные свойства конструкций и здания в целом.

Библиографический список

1. Шерешевский И.А. Конструирование гражданских зданий. – Москва: Архитектура-С, 2005. – 168.
2. СП 230.1325800.2015. Конструкции ограждающих зданий. Характеристики теплотехнических неоднородностей. – Москва, 2015.
3. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. – Минрегион России, 2012.
4. СП 23-101-2004. Проектирование тепловой защиты зданий. – Москва, 2004.
5. ВСН 53-86(р). Правила оценки физического износа жилых зданий. – Госгражданстрой, 1987.

УДК 378.245.2

СОСТАВЛЯЮЩИЕ УСПЕШНОЙ ЗАЩИТЫ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Матвеев А.А.

***Аннотация.** Изложены особенности культуры самостоятельной работы студента для успешной защиты выпускной квалификационной работы в условиях бюджета времени.*

***Ключевые слова:** выпускная квалификационная работа, доклад, защита ВКР, руководитель ВКР.*

После успешной защиты выпускной квалификационной работы (ВКР), каждый защитившийся знает, что ощущает студент перед одним из важнейших этапов в своей жизни. Защита ВКР вызывает волнение, и чем меньше времени остаётся до представления своей работы Государственной Аттестационной Комиссии (ГАК), тем это чувство только увеличивается. Каждый студент, прошедший через все эти переживания, может дать несколько рекомендаций тем, кому это только предстоит и параллельно ответить на основные вопросы, возникающие перед дипломным проектированием. Следуя всем этим советам, можно не только облегчить выполнение ВКР, но и подойти к защите подготовленным.

Когда надо приступать к работе над ВКР?

ВКР выполняется в период дипломного проектирования, в соответствии с учебным планом. Защищаются ВКР обычно в июне. Перед выходом на преддипломную практику студент должен определиться с руководителем ВКР и определить тему работы. Тема ВКР утверждается перед выходом на дипломное проектирование. Из опыта дипломного проектирования видно, что студент последнего (завершающего) курса обучения, осенью уже должен определиться с темой и руководителем. Студенты, не подавшие темы ВКР в срок, к защите не допускаются.

Что может быть темой дипломного проектирования?

Разнообразие тем дипломного проектирования достаточно обширно и включает вопросы разработки как непосредственно ВКР с расчётами конструкций и т.д., так и в области смежных проблем. Это могут быть вопросы, связанные с различными системами, разработкой программных комплексов, помогающих при проектировании, и т.д. ВКР могут иметь чисто программный характер – это разработка или модификация прикладных программных продуктов и систем. ВКР могут выполняться двумя и более студентами при большом объеме работы. Конкретно обсудить вопрос о теме ВКР можно с куратором или руководителем.

Выбор руководителя дипломного проектирования.

Дипломное проектирование осуществляется на выпускающей кафедре. ВКР защищается только на заседании ГАК по соответствующему направлению подготовки на выпускающей кафедре университета. Руководитель и тема ВКР должны отвечать определенным требованиям. Руководитель ВКР должен иметь оконченное высшее образование, стаж работы после окончания Вуза не менее 3 – х лет, быть специалистом по теме дипломного проектирования, способным обеспечить руководство на необходимом уровне. Тема ВКР должна быть актуальной, соответствовать современному состоянию науки и техники, а также направлению подготовки, по которой обучается студент. Задание должно предусматривать возможность выполнения определенного объема работы в течение срока дипломного проектирования, причем работа должна носить завершённый характер и показывать способности ее автора к инженерной деятельности.

Что такое защита и предзащита ВКР?

Заключительным этапом дипломного проектирования является защита выполненных ВКР на заседаниях ГАК. В состав ГАК обычно входит 5 – 7 человек (представители сторонних организаций, преподаватели выпускающей кафедры). Очередность в день защиты формируется после прохождения студентом – дипломником предзащиты, которая

проводится за неделю до защиты ВКР и выявляет степень готовности дипломника к его защите.

На предзащиту дипломник должен представить:

- 1) полностью завершённую и правильно оформленную ВКР в виде переплетённой пояснительной записки и графической части, в состав которой входят 6 – 12 чертежей формата А1, с подписями руководителя, консультантов и автора ВКР;
- 2) отзыв руководителя и рецензию (справку об антиплагиате) на ВКР;
- 3) задание на ВКР, подписанное заведующим кафедрой, руководителем и дипломником;
- 4) дипломник должен продемонстрировать знание всех вопросов, затрагивающихся в его работе.

На защиту дипломник должен представить тот же список, что и на предзащиту.

Как сделать правильный доклад?

Удачно сделанный доклад обеспечивает значительный вклад в успех при защите ВКР, поэтому его подготовке следует уделить особое внимание. Продолжительность доклада должна составлять 30 – 45 минут, в течение которых необходимо успеть изложить результаты почти полугодовой работы.

Рекомендуется следующая структура доклада: вступление; постановка задачи; пути решения задачи; полученные результаты; заключение.

ВСТУПЛЕНИЕ должно быть очень коротким, состоять из одной – двух фраз и определять область, к которой относится тема ВКР. После этого необходимо очень четко и коротко сформулировать цель ВКР, дать **ПОСТАНОВКУ ЗАДАЧИ**. Это сразу определяет круг вопросов, которые могут рассматриваться, и обеспечивает правильное восприятие представляемых материалов. **ПУТИ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ** – один из основных разделов доклада. Здесь необходимо кратко рассмотреть возможные подходы к решению поставленной задачи и более подробно представить выбранный подход автором ВКР, объяснить, как решалась задача, и обосновать правильность принимаемого решения. **ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ** должны давать полное представление о том, чего достиг автор ВКР, насколько полученные результаты оригинальны и соответствуют поставленным целям. Желательно перечислить все полученные результаты и подробнее остановиться на наиболее важных результатах. В **ЗАКЛЮЧЕНИИ** необходимо кратко изложить результаты работы по каждому разделу пояснительной записки.

Предлагаемая структура доклада является наиболее общей и может конкретизироваться и изменяться в зависимости от особенностей и содержания работы, полученных результатов и представленных демонстрационных материалов. Например, если на заседании ГАК будут демонстрироваться разработанные дипломником технические или программные средства, это нужно учесть соответствующим образом при составлении доклада. В случае необходимости доклад можно написать, согласовать его с руководителем, откорректировать. Даже при волнении студента, что практически неизбежно, доклад не должен прерываться или комкаться. Очень полезно отрепетировать доклад.

Подготовка к ответам на вопросы и замечания во время защиты.

Вопросы, которые задаются в процессе защиты ВКР, могут быть из любой дисциплины или области знаний, но, как правило, они задаются по теме. Поэтому, в первую очередь, дипломник должен свободно ориентироваться в своей работе, знать разделы и темы, которые использовались при дипломном проектировании. Количество и характер вопросов в значительной степени зависит от доклада. При правильно сделанном докладе, который сможет заинтересовать членов ГАК в нужном направлении, многие вопросы можно предугадать, следовательно, подготовиться к ним. Замечания рецензента известны и к ответам на них следует подготовиться заранее. Ответы должны быть по существу, короткими и содержательными. Если принципиальных возражений нет, то с замечаниями

рецензента лучше согласиться. Если замечания являются существенными, то это обстоятельство следует учесть при составлении доклада.

В каком порядке проходит защита?

Защита ВКР проходит в следующем порядке. Председатель ГАК объявляет начало защиты и предоставляет слово дипломнику. Дипломник в течение 30 – 45 минут делает доклад. Чтобы не возникало неудобной паузы, желательно четко обозначить окончание доклада и поблагодарить членов ГАК за внимание. После этого секретарь ГАК зачитывает отзыв руководителя и рецензию (справку об антиплагиате) на ВКР и дипломнику предоставляется возможность ответить на замечание рецензента. Затем члены ГАК начинают задавать вопросы. Обычно первым задает вопросы председатель ГАК. Как правило, каждый член ГАК задает от одного до трёх вопросов, хотя бывают и исключения. Ответы на вопросы должны быть краткими и по существу вопроса. Если у присутствующих вопросов нет, председатель объявляет окончание защиты. После защиты последнего дипломника объявляется закрытое заседание ГАК, где подводятся итоги работы комиссии. По окончании закрытого заседания дипломники приглашаются в аудиторию, и председатель ГАК объявляет результаты защиты, поздравляет молодых инженеров и объявляет заседание завершённым.

Какие ошибки наиболее распространены при защите?

Ошибки, встречающиеся при защитах ВКР, весьма разнообразны и зависят от темы и особенностей работы. Хотя ряд ошибок, в основном, определяются авторами ВКР и приводят к снижению оценок работ, выполненных на хорошем уровне. Ниже приводятся некоторые типовые ошибки, в основном, связанные с недостаточной подготовкой к защите ВКР: 1) неудачный доклад, из которого не ясно основное содержание ВКР; 2) доклад затянут, председатель прерывает дипломника, просит соблюдать регламент и заканчивать доклад, студент сбивается, доклад скомкан, все запуталось; 3) дипломник затрудняется ответить на замечания рецензента, которые ему были известны заранее; 4) дипломник отвечает не на тот вопрос, который был ему задан; 5) дипломник плохо ориентируется в представленной к защите ВКР, автором которой он является.

Вот основные пункты, которые обязательно должен соблюдать студент.

В заключении отметим, что, несмотря на все переживания, дипломное проектирование останется светлым в жизни этапом, который никогда не забудется и будет вспоминаться хорошо.

Библиографический список

1. Матвеев А.А. Знания – основа качества и безопасности в строительстве / А.А. Матвеев // Новые строительные технологии 2010: Сборник научных трудов. СибГИУ. – Новокузнецк, 2010.
2. Матвеев А.А. Выпускная квалификационная работа как условие и результат сформированности культуры самостоятельной работы студентов инженеров – строителей / А.А. Матвеев, О.А. Козырева // Технологическое и профессиональное образование в России и за рубежом как фактор устойчивого развития общества: материалы V Международной научно – практической конференции: часть 2. – Новокузнецк, 2010.
3. Матвеев А.А. Успешность защиты дипломного проекта как результат и условие сформированности культуры самостоятельной работы студента инженера – строителя // А.А. Матвеев // Управление качеством образования (регион, вуз, школа): материалы Всероссийской научно – практической конференции, (г. Тверь, 29 октября 2010 г.). – Тверь: Тверской государственный технический университет, 2010.
4. Матвеев А.А. Культура самостоятельной работы как условие развития профессиональных компетенций будущих инженеров – строителей / А.А. Матвеев, О.А. Козырева // Профессиональное образование в России и за рубежом. – 2011. - № 2 (4).

5. Матвеев А.А. Культура самостоятельной работы студента инженера – строителя как фактор успешной защиты дипломного проекта / А.А. Матвеев, О.А. Козырева // Европа и современная Россия. Интегративная функция педагогической науки в едином образовательном пространстве: материалы VIII Международной научной конференции, 14 – 15 августа 2011. – М.: МАНПО, 2011.

6. Матвеев А.А. Культура самостоятельной работы в системе непрерывного профессионального образования / А.А. Матвеев, О.А. Козырева // Педагогическое образование: вызовы XXI века: материалы II Международной научно – практической конференции, посвященной памяти выдающегося российского ученого – педагога Виталия Александровича Сластенина: 22 – 23 сентября, Москва. В 2 – х ч. Ч. 1. – М.: МАНПО, 2011.

7. Матвеев А.А. Дефиниции и условия формирования культуры самостоятельной работы инженера – строителя в системе непрерывного профессионального образования / А.А. Матвеев, О.А. Козырева // Проблемы эффективности реализации инноваций в учебном процессе: материалы Региональной научно – практической конференции (г. Нижневартовск, 22 апреля 2011 г.) / отв. ред. Э.М. Рянская. – Нижневартовск: НГГУ, 2011.

8. Матвеев А.А. Выпускная квалификационная работа в структуре сформированности культуры самостоятельной работы будущих инженеров – строителей / А.А. Матвеев, О.А. Козырева // Инновационные образовательные технологии в высшем образовании – 2011: материалы II Международной научно – методической конференции г. Дмитровград, 21 апреля 2011. – Дмитровград: Технологический институт – филиал ФГОУ ВПО «Ульяновская государственная сельскохозяйственная академия», 2011.

9. Матвеев А.А. Принципы и условия формирования культуры самостоятельной работы будущего инженера – строителя / А.А. Матвеев, О.А. Козырева // Инновационные технологии в профессиональном образовании: сборник материалов II Всероссийской научно – методической конференции. – Грозный: изд – во «Грозненский рабочий», 2011.

УДК 624.014.2:69.059.3

ВОПРОСЫ УСИЛЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Матвеев А.А.

*Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк, Россия.*

***Аннотация.** Рассмотрены вопросы усиления строительных конструкций в промышленных зданиях и сооружениях.*

***Ключевые слова:** аварийный узел, стальные конструкции, механические воздействия*

В России эксплуатируется значительное количество металлических конструкций в зданиях и сооружениях различного назначения, построенных еще в прошлом веке. При этом происходит физический и моральный износ конструкций.

Наибольший объем, и разнообразие форм металлических конструкций приходится на производственные здания и сооружения. Для зданий и сооружений характерны более интенсивный физический и моральный износ, что объясняется более сложными условиями эксплуатации и высокими темпами совершенствования промышленных технологий.

При длительной эксплуатации строительных объектов происходит потеря надежности конструкций в результате механических, температурных и агрессивных воздействий.

Решение о возможности эксплуатации конструкций и необходимости их усиления принимают в результате оценки технического состояния.

На основании результатов обследований и проверочных расчетов конструкций дают оценку их технического состояния. Эта оценка должна определить возможность дальнейшей эксплуатации конструкций, необходимость проведения мероприятий по ремонту и повышению их несущей способности.

Учет фактического состояния конструкций и условий эксплуатации позволяет установить менее жесткие ограничения смещений и гибкости элементов сохраняемых конструкций, чем для новых. При этом основным критерием является возможность нормальной эксплуатации конструкций в конкретных условиях.

Различают три типа состояния объекта, а также отдельных конструктивных узлов и элементов:

работоспособное – несмотря на имеющиеся отступления от норм, государственных стандартов и технической документации, нормальная эксплуатация конструкций обеспечивается в конкретных условиях рассматриваемого здания;

ограниченно работоспособное – для обеспечения функционирования конструкций необходимо проведение специальных (допустимых условиями эксплуатации) мероприятий по контролю за состоянием конструкций, параметрами технологического процесса, нагрузками или другими условиями эксплуатации (возможно с ограничением продолжительности функционирования);

неработоспособное (недопустимое) – существующее или прогнозируемое по расчету состояние конструкций является одним из предельных состояний и без усиления конструкции не могут быть допущены к эксплуатации.

Если конструкции не соответствуют эксплуатационным требованиям, разрабатывают проект их усиления.

Применительно к стальным конструкциям наиболее просто решаются вопросы усиления, технического перевооружения и реконструкции. С помощью сварки можно легко прикрепить к элементам существующего каркаса новое технологическое оборудование, при необходимости усилив эти элементы. Примеры усиления стальных конструкций рассмотрены на нижеприведенных рисунках.

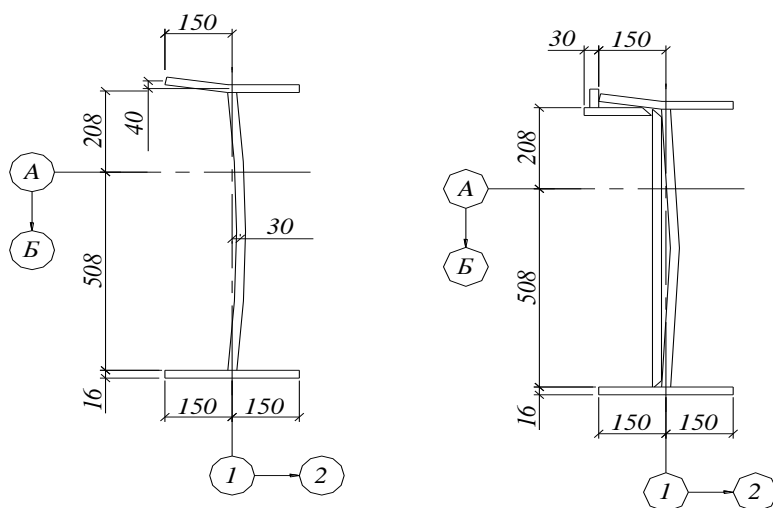
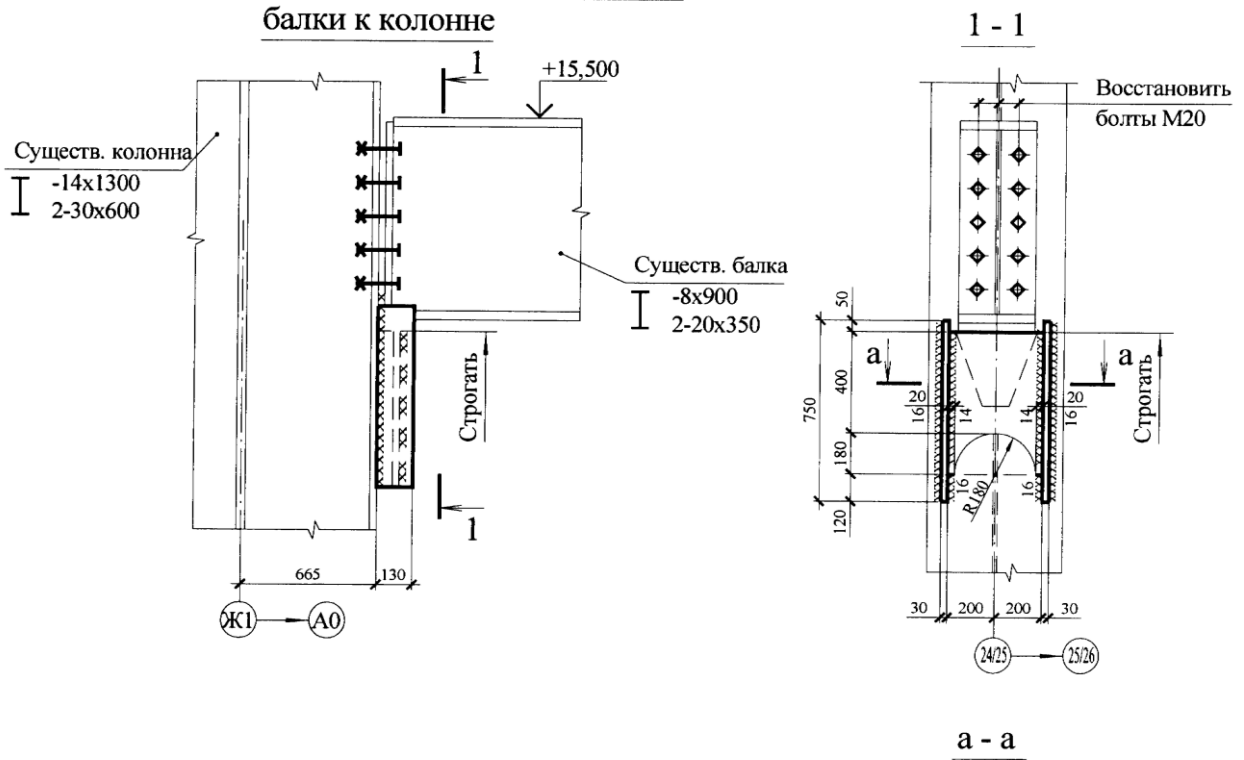


Рисунок 1 – Поврежденное и усиленное сечение колонны

Усиление аварийного узла крепления



1. Материал сталь С345-3.

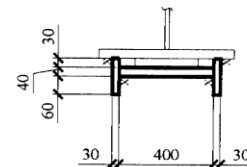


Рисунок 2 – Усиление аварийного узла крепления балки к колонне

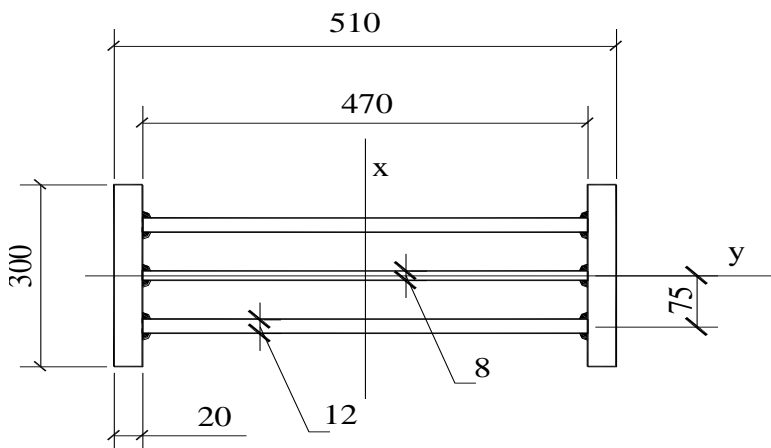


Рисунок 3 – Усиленное сечение колонны

Проект усиления стальных конструкций разрабатывается с учетом заключения о техническом состоянии эксплуатируемых конструкций, составленный по результатам их обследования и выполненных проверочных расчетов.

У строительных конструкций, имеющих дефекты и повреждения, снижена несущая способность. Дефекты и повреждения строительных конструкций – результат естественного старения материалов и механического повреждения под воздействием атмосферных осадков и технологического процесса производства.

Дальнейшая эксплуатация несущих конструкций возможна при выполнении соответствующих ремонтов и усилений и при организации систематического контроля за состоянием строительных конструкций зданий и своевременного устранения повреждений и дефектов.

Библиографический список

1. Матвеев А.А. Нарушения исправного состояния подкрановых конструкций / А.А. Матвеев // Новые строительные технологии 2005: Сборник научных трудов. СибГИУ – Новокузнецк, 2005.
2. Матвеев А.А. Усиление строительных конструкций / А.А. Матвеев, Н.И. Максимова // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Под общей редакцией С.М. Кулакова. СибГИУ – Новокузнецк, 2006.
3. Матвеев А.А. Усиление строительных конструкций здания ЦТО / А.А. Матвеев, А.А. Логинов // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. СибГИУ – Новокузнецк, 2009.
4. Матвеев А.А. Знания – основа качества и безопасности в строительстве / А.А. Матвеев // Новые строительные технологии 2010: Сборник научных трудов. СибГИУ. – Новокузнецк, 2010.

УДК 624.96

ОСНОВЫ БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОДКРАНОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Матвеев А.А.

*Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк, Россия.*

Аннотация. *Изложены основы безопасной эксплуатации подкрановых конструкций в промышленных зданиях.*

Ключевые слова: *поперечные трещины, подкрановые конструкции, тормозные конструкции*

Безопасная эксплуатация мостовых кранов определяется исправным состоянием подкрановых конструкций и их креплений, которое необходимо поддерживать постоянно и своевременно. Подкрановые конструкции промышленного здания включают подкрановые балки, тормозные балки или фермы, узлы креплений балок и тормозных ферм к колоннам, крановый рельс с креплениями и упоры. Эксплуатация и натурные обследования показывают, что в подкрановых конструкциях появляются следующие повреждения: расстройство креплений крановых рельсов; геометрические отклонения путей от проектного

положения; повреждение креплений подкрановых конструкций; трещины в подкрановых балках; трещины в тормозных конструкциях; недопустимые эксцентриситеты рельсов.

В сварных подкрановых балках наиболее частыми повреждениями являются трещины в верхнем пояском шве и в стенке в околошовной зоне. Трещины носят ярко выраженный усталостный характер и появляются после нескольких сотен тысяч циклов загрузки. Все трещины можно разделить на три вида: развивающиеся от торца балки; идущие от ребра жесткости; между ребрами жесткости.

Поперечные трещины в верхних поясах балок встречаются достаточно редко. Обычно эти трещины возникают у отверстий для болтов крепления рельса или в местах дефектов шва. Местные погибы верхних поясов являются следствием эксцентричного приложения нагрузки и поворота пояса.

Основными типами повреждений клепаных подкрановых балок являются: ослабление заклепок верхнего пояса, продольные и поперечные трещины в верхних поясных уголках, местные погибы верхнего пояса. Отсутствие остаточных сварочных напряжений, меньшая концентрация местных напряжений, утолщение верхней части стенки балки полками поясных уголков, податливость заклепочных соединений облегчают условия работы клепаных балок и делают их более долговечными. Повреждения в них возникают значительно позже, чем в сварных балках.

Наибольшее число повреждений возникает в решетчатых подкрановых балках, широко применявшихся в 50-х годах в зданиях с тяжелым режимом работы. Наличие острых концентраторов, знакопеременный цикл напряжений в верхних поясах, воздействие крутящих моментов приводит к ускоренному развитию трещин усталостного характера. Трещины возникают в продольных швах верхнего пояса (аналогично сварным балкам) и в фасонках. Наблюдались случаи разрыва раскосов. На некоторых заводах повреждения решетчатых балок носили аварийный характер, и они заменялись сплошностенчатыми.

Основными причинами повреждений тормозных конструкций являются несоответствие действительной работы тормозных конструкций принимаемой расчетной схеме и появление дополнительных, не учитываемых при проектировании, усилий. Совместная работа тормозной конструкции и подкрановой балки приводит к их кособокому изгибу с кручением и значительному увеличению касательных напряжений по сравнению с принятой методикой расчета по расчлененным плоским схемам. Трещины в швах сопряжения тормозных конструкций и балок появляются чаще у опор, в местах вырезов для пропуска крючьев крепления рельса и у смотровых люков. Неудовлетворительное качество приварки тормозных листов, отсутствие подварки, прерывистые швы способствуют более раннему появлению трещин. Повреждения тормозных конструкций связаны с грубыми нарушениями правил технической эксплуатации: складированием на тормозных площадках тяжелых грузов, вырезкой отверстий и отдельных элементов тормозных ферм.

Местами характерных повреждений креплений подкрановых конструкций к колоннам являются сварные и заклепочные сопряжения тормозной конструкции с колонной и расстройство опирания поддерживающей тормозную балку конструкции. Основная причина повреждений — несоответствие действительной работы узла принятой расчетной схеме. Жесткость креплений создает неразрезность тормозной конструкции и подкрановой балки, не рассчитанных на восприятие возникающих усилий от смещения. Повсеместно ослабляются болтовые соединения подкрановых балок к колоннам и между собой.

Наиболее характерные повреждения крановых рельсов — износ верхних и боковых граней головки, повреждения рельсов в местах стыков и трещины в шейке рельса. Износ рельсов зависит от непараллельности путей и от перекаса колес крана. Степень повреждения концов рельсов зависит от смещения их торцов и размера зазора в стыке. Трещины в шейке рельсов часто наблюдаются около стыков и отверстий.

Из двух наиболее широко применяемых в современных цехах с тяжелым режимом креплений рельсов к подкрановым балкам — крючьями и двухболтовыми лапками — наиболее повреждаемы крепления крючьями. Крючья разгибаются и вытягиваются, поэтому не закрепленный ими рельс имеет значительные поперечные и продольные смещения (угон). Крепления двухболтовыми лапками значительно надежней, но в ряде цехов с кранами весьма тяжелого режима с жестким подвесом они ослабляются, а так как болты подтягиваются несвоевременно, поперечная подвижность рельса достигает 10 — 15 мм. Повреждения крановых рельсов и их креплений сильно сказываются на работе подкрановых конструкций и ускоряют появление в них повреждений. Преждевременно появляются повреждения в подкрановых конструкциях из-за нарушения геометрии подкрановых путей в плане и по вертикали.

Повреждения крановых упоров заключаются в ослаблении креплений, остаточных деформациях, а при сильных ударах — и в разрушении. Остановка крана при подходе к упору должна обеспечиваться концевыми выключателями и системой блокирования, обеспечивающими торможение.

Повреждения подкрановых конструкций общей поверхностной коррозией незначительны благодаря мощности сечений и открытому, хорошо обдуваемому профилю. При обследовании старых цехов иногда обнаруживаются отдельные очаги повышенной местной коррозии около опорных узлов, в местах крепления к балке тормозного листа, особенно при наличии в таких местах производственной пыли и атмосферной влаги.

Основными факторами, способствующими развитию повреждений и снижающими долговечность подкрановых конструкций, являются интенсивность работы мостовых кранов и срок эксплуатации.

Подкрановые конструкции — наиболее повреждаемые элементы каркаса, особенно в зданиях с кранами тяжелого и весьма тяжелого режима работы. Для выявления причин массовых повреждений подкрановых конструкций проводят детальное обследование, анализируют крановые воздействия и действительную работу по следующим вопросам: общее напряженное состояние подкрановых балок; местное напряженное состояние стенки подкрановых балок; местные изгибные напряжения в стенке подкрановых балок при кручении верхнего пояса; работа элементов креплений подкрановых балок; увеличение надежности и долговечности подкрановых конструкций.

Большое влияние на действительную работу подкрановых конструкций оказывают геометрические несовершенства мостовых кранов и рельсового пути, среди которых определяют: разность отметок путей на соседних колоннах и в створе здания; расстояние между осями путей в пролете и отклонения путей от разбивочных осей; смещение осей рельса относительно оси подкрановой балки (эксцентриситет рельса); параллельность колес и перекося моста крана, так как искажение геометрии крана приводит к увеличению горизонтальных крановых воздействий и повышенному износу подкрановых конструкций.

Положение и состояние рельсов и их креплений, состояние стыков рельсов могут оказывать негативное влияние на работу подкрановых конструкций. Чтобы уменьшить динамичность крановых воздействий и снизить уровень местных напряжений в стенке под колесом крана, под рельсы устанавливают прокладки из низко модульного материала. Также существенное влияние на местное напряженное состояние стенки оказывают неровности контакта подошвы рельса и верхнего пояса. Для уменьшения этого влияния рекомендуют установку низко модульной прокладки, например, в виде армированной резиновой ленты. В этом случае местные сжимающие напряжения сглаживаются, распределяются на большую длину, а пиковые напряжения уменьшаются почти вдвое. Напряжения под стыком рельса при наличии прокладки также значительно уменьшаются, а наибольшее их значение смещается в сторону оси стыка. Низко модульная прокладка существенно уменьшает динамическое воздействие нагрузки. Выбор типа низко модульной про-

кладки зависит от давления колеса. Для обеспечения надежной работы прокладок разработаны пружинные крепления рельса.

В сплошных сварных подкрановых балках образование трещин происходит в верхнем пояском шве и в околошовной зоне стенки, в приопорных зонах и около ребер жесткости. Вероятные очаги развития трещин – дефекты сварных швов (подрезы, непровары, места перерыва швов). В клепаных подкрановых балках трещины образуются в обушке верхних поясных уголков, а также важно состояние заклепок соединения элементов верхнего пояса и стенки.

Узлы крепления подкрановых балок и тормозных конструкций к колоннам могут иметь трещины в элементах крепления и в сварных швах, а также расстройство болтовых и заклепочных соединений. Особенно часто подобные повреждения возникают в жестких элементах крепления, препятствующих свободному перемещению подкрановых балок и повороту опорных сечений. В узлах крепления тормозных листов или ферм к подкрановым балкам возможно наличие трещин и важно состояние болтовых и заклепочных соединений.

Осадки, горизонтальные смещения и повороты фундаментов приводят к изменению расчетной схемы колонн и могут вызвать расстройство узлов крепления примыкающих элементов подкрановых конструкций.

Анализ повреждений подкрановых конструкций позволяет дать общую оценку надежности работы, выявить наиболее слабые места и сконцентрировать внимание на основных вопросах по разработке мероприятий по уменьшению и предотвращению повреждений.

Библиографический список

1. Матвеев А.А. Нарушения исправного состояния подкрановых конструкций / А.А. Матвеев // Новые строительные технологии 2005: Сборник научных трудов. СибГИУ – Новокузнецк, 2005.
2. Матвеев А.А. Усиление строительных конструкций / А.А. Матвеев, Н.И. Максимова // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Под общей редакцией С.М. Кулакова. СибГИУ – Новокузнецк, 2006.
3. Матвеев А.А. Усиление строительных конструкций здания ЦТО / А.А. Матвеев, А.А. Логинов // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. СибГИУ – Новокузнецк, 2009.
4. Матвеев А.А. Знания – основа качества и безопасности в строительстве / А.А. Матвеев // Новые строительные технологии 2010: Сборник научных трудов. СибГИУ. – Новокузнецк, 2010.

УДК 69.059.32

РЕКОНСТРУКЦИЯ ДЕРЕВЯННЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Музыченко Л.Н., Буцук И.Н.

*ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»,
г. Новокузнецк, Россия, inno4kanvkz@mail.ru*

***Аннотация.** В статье рассмотрены основные принципы усиления элементов деревянных конструкций, приведены примеры усиления элементов несущих деревянных конструкций и их защита от непосредственного воздействия вредных факторов.*

***Ключевые слова:** конструкции, древесина, ремонт, усиление, дефекты, несущая способность, антисептирование.*

На территории России эксплуатируется множество зданий и сооружений, возведенных с использованием конструкций на основе древесины. Деревянные конструкции отличает простота обработки, малый вес, прочность, экологичность, химическая стойкость, что предопределяет целесообразность использования древесины наравне со сталью и бетоном в качестве основного строительного материала. Немаловажным достоинством древесины по сравнению с другими конструкционными материалами является то, что она относится к возобновляемым ресурсам. Кроме того, при производстве большинства конструкционных материалов, за исключением дерева, требуются большие затраты энергии, дефицит которой ощущается во многих странах. При соблюдении правильных условий эксплуатации и своевременно проводимых осмотров и ремонтов деревянные конструкции могут сохранять свои эксплуатационные характеристики столетиями. Однако зачастую воздействие различных факторов (использование материалов ненадлежащего качества, механические и иные повреждения, нарушение правил эксплуатации) приводит к снижению их эксплуатационной надежности и долговечности. Кроме этого, при проведении технического перевооружения и реконструкции часто необходимо повышение грузоподъемности и интенсивности работы подъемно-транспортного оборудования, установка дополнительных коммуникаций, приводящих к увеличению нагрузки на несущие элементы. В связи с вышеизложенным возникает необходимость проведения работ по восстановлению и увеличению несущей способности деревянных конструкций путем их ремонта и усиления.

При обследовании зданий и сооружений выявлено, что в процессе эксплуатации деревянных конструкций, как правило, выходит из строя не целиком вся конструкция, а ее составной элемент или локальный участок, имеющий какой-либо дефект.

Таким образом, говоря об усилении стержневых деревянных конструкций, необходимо рассматривать способы усиления как всей системы в целом, так и ее простейших конструктивных элементов (балок и стоек).

Основные требования к усилению конструкций:

- обеспечение необходимой несущей способности, надежности и долговечности;
- включение в работу элементов усиления, обеспечение их совместной работы с основной конструкцией;
- элементы усиления не должны изменять положение центра тяжести основного сечения и нарушать центровку элементов в узлах конструкций.

Усиление конструкций выполняется при отсутствии временных нагрузок: снеговой нагрузки – на покрытиях и технологических – на перекрытиях.

Выбор того или иного способа усиления (или их комбинаций) зависит от технического состояния конкретной конструкции.

Наиболее эффективными считаются способы усиления конструкций путем изменения статической (конструктивной) схемы (введение затяжек, устройство дополнительных стоек, подкосов). Эти способы рекомендуется применять, как правило, при неудовлетворительном техническом состоянии конструкций, при наличии свободного пространства под усиливаемой конструкцией.

Чаще всего встречаются случаи поражения деревянных конструкций домовыми грибами. При незначительных биологических повреждениях древесины (загнивание на глубину 1 – 3 см) необходимо механическим способом снять загнивший поверхностный слой древесины с захватом здоровых слоев на глубину 2 – 3 см и обработать этот участок антисептиком.

При значительном грибковом поражении (на глубину до 1/4 сечения элемента) загнившая часть древесины удаляется полностью с захватом здоровых слоев на глубину 2 – 3 см и прилегающих участков длиной до 0,3 м здоровой на вид древесины. Проверочным расчетом решается вопрос об усилении накладками ослабленного сечения.

При гнилостных разрушениях на глубину более 1/4 сечения (опорные части балок, ферм) рекомендуется полностью выпилить пораженный участок с захватом прилегающих участков длиной до 0,5 м здоровой древесины. Ослабленное сечение усиливается «протезами».

Каменные и бетонные поверхности, примыкающие к пораженным участкам древесины (балочные гнезда, кирпичные столбы), тщательно очищаются от грибковых образований и обрабатываются маслянистыми антисептиками.

Древесина для усиления несущих элементов деревянных конструкций должна удовлетворять требованиям первого сорта.

Поскольку размеры и характер усиливаемых элементов очень разнообразен, выбор того или иного способа усиления, а также сечения элементов усиления (профилей, болтов, накладок) определяются в проекте на усиление конструкций.

В настоящее время существует множество различных способов усиления деревянных конструкций, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки. Работы по усилению деревянных конструкций в условиях эксплуатации имеют определенные специфические особенности. Связано это с ограниченным доступом к конструкциям и стесненными условиями при выполнении работ. В связи с этим некоторые способы усиления, относящиеся к увеличению несущей способности с изменением статической схемы работы конструкции, зачастую не могут быть применены. В случае наличия дефектов на локальных участках конструкций, безусловно, целесообразнее применять способы по восстановлению, несущей способности, указанные в классификации (см. таблицу 1). Также одним из вариантов усиления деревянных конструкций является разгрузка конструкций: полное или частичное. Вопрос о выборе способа усиления для каждого конкретного случая решается в зависимости от характера дефекта. В случае, когда необходимо увеличение несущей способности конструкции или ее составляющего элемента, использование способов по восстановлению и разгрузке конструкций часто бывает недостаточным. Таким образом, для усиления деревянных конструкций эксплуатируемых зданий и сооружений наиболее рациональным способом является увеличение несущей способности без изменения статической схемы работы, при этом данные способы усиления рекомендуется (при необходимости) использовать совместно с восстановлением несущей способности и разгрузкой конструкций. Наиболее простым и в то же время эффективным способом усиления деревянных конструкций эксплуатируемых зданий и сооружений является увеличение площади поперечного сечения элементов.

Самым простым методом усиления является установка дополнительных, самостоятельно работающих конструкций. В данном случае дополнительные элементы скрыты ограждающими конструкциями, что не нарушает интерьер здания, не изменяется конструктивная схема покрытия, перекрытия. Но данный способ не является экономичным и применяется только когда необходимо сохранить первоначальный вид здания.

Таблица 1 – Основные способы усиления конструкций

Наименование способа	Методы реализации усиления
1. Разгрузка конструкций	1.1 Частичное (уменьшение фактически действующей нагрузки, передача нагрузки на другие конструкции). 1.2 Полное (передача нагрузки на другие конструкции).
2. Косвенное усиление или изменение условий эксплуатации	2.1 Использование резервов несущей способности за счет уточнения: - фактически действующих постоянных и временных нагрузок; - фактических прочностных характеристик древесины; - действительной расчетной схемы; - характера совместной работы несущих и ограждающих конструкций; - несущей способности по современным нормам. 2.2 Ограничение технологических и временных нагрузок:

	<ul style="list-style-type: none"> - замена существующих ограждающих конструкций на новые, с меньшей массой; - замена старого технологического оборудования на новое оборудование с меньшей массой; - своевременная уборка сверхнормативных отложений производственных отходов на галереях и горизонтальных и наклонных поверхностях конструкций; - очистка перекрытий от строительного мусора и демонтированного оборудования; - регулярная очистка покрытия от снега зимой; - замена старого утеплителя (шлака) на современный более легкий утеплитель; - установка дополнительных несущих конструкций в промежутке между существующими конструкциями для их разгрузки.
3. Изменение статической схемы работы конструкций	<p>3.1 Подведение (установка) дополнительных опор, подвесок.</p> <p>3.2 Превращение неразрезных систем в разрезные системы и наоборот.</p> <p>3.3 Введение дополнительных элементов: затяжек, шпренгелей.</p> <p>3.4 Постановка дополнительных связей, распределительных систем.</p>
4. Увеличение площади поперечного сечения элемента	Присоединение к существующему элементу дополнительных элементов, увеличивающих его площадь (наращивание высоты сечения путем клеевоздевой запрессовки дополнительных слоев для клееных элементов, устройство накладок на болтах и др.).
5. Местное усиление	Устройство накладок, перекрывающих местные дефекты, стальных протезов в опорных узлах конструкций.
6. Усиление соединений	Постановка дополнительных болтов и нагелей, изменение схемы работы узлового соединения, развитие накладок.

Когда не представляется возможным установить дополнительные элементы, то элемент, который работает с перенапряжением или содержит дефекты, приходится заменять полностью новым, из такого же материала, либо подобного, с теми же физическими характеристиками.

В случаях повреждения концов стропильной конструкции или балок применяют метод протезирования с использованием пластмасс (стержневую арматуру из полиэфирного стеклопластика). Поврежденная конструкция подразделяется на 3 зоны: разрушенная древесина, частично поврежденная древесина, здоровая древесина.

Поврежденную конструкцию вывешивают и в поврежденной части сверлят отверстия вдоль оси элемента, или под углом, но с выходом отверстия в зону разрушения древесины.

Стержни арматуры, предварительно обработанные и имеющие шероховатую поверхность для обеспечения надежного сцепления с клеем, вставляют в подготовленные отверстия и вклеивают, удалив при этом поврежденные части конструкции. Смола проникает в поры древесины и укрепляет ее, обеспечивая надежное сцепление арматуры с древесиной.

Твердение смолы происходит с выделением тепла и достигает 30 – 70°C, поэтому работы можно производить при отрицательных температурах.

Отсутствие качественных продухов или их заделка жильцами дома ухудшает вентиляцию деревянных конструкций, приводит к интенсивному гниению прежде всего опорных частей несущих балок и черного пола. Из-за плохой термоизоляции концы балок с северной стороны здания промерзают и увлажняются конденсатом. Увлажнение конструкций перекрытий приводит к повышению деформативности балок, их гниению и снижению эксплуатационной надежности. При поражении гнилью опорных частей отдельных балок перекрытий взамен обрезанного сгнившего конца устанавливаются две накладки

из досок, сечение которых определяется расчетом и должно быть несколько больше, чем сечение существующей балки.

При большом объеме повреждений применяют прутковые протезы, которые изготавливают заранее в мастерских. Длину протезов принимают на 10 % больше двойной длины обрезанного конца балки. Опорные части выполняют из швеллеров (№ 20 – 30 – для балок междуэтажных перекрытий, № 12 – 16 – для чердачных перекрытий).

Для установки прутковых протезов под дефектные балки подводят временные опоры, разбирают деревянное перекрытие по ширине на 75 см снизу и на 1,5 м сверху от стены, спиливают поврежденный участок балки по длине примерно на 0,5 м, заводят протез в опорную нишу и скрепляют его с балкой гвоздями. Пораженную грибом древесиной необходимо немедленно сжечь; новую древесину должны применять в воздушно-сухом состоянии, а также обрабатывать огнезащитными составами и антисептиками. При повышенных нагрузках на перекрытие в деревянных балках появляются продольные трещины в средней зоне. Аналогичные трещины могут возникнуть и при усушке древесины. При незначительных дефектах деревянных перекрытий их ремонт осуществляют протезированием, наращиванием сечения балок, частичной заменой черного или чистого пола. Протезирование применяют при поражении гнилью или жучками небольших участков балок, оно заключается в аккуратном вырезании дефектного участка и установкой на гвоздях (болтах) новой древесины. Места усиления должны быть соответствующим образом антисептированы.

При усилении наращиванием сечение балки увеличивается накладками расчетного сечения по всей длине или на части пролета. Усиливаемые элементы крепят к существующей балке гвоздями или болтами. При достаточной толщине перекрытия усиление деревянных балок может быть осуществлено с помощью надбалок или подбалок, которые крепят к усиливаемой балке с помощью вертикальных болтов. Усиленные концы балок междуэтажных перекрытий антисептируют и заделывают в стены наглухо, в чердачных перекрытиях балки оставляют открытыми сверху, утепляя их эффективным материалом. Элементы усиления должны быть изолированы от каменной кладки (бетона) прокладкой из толя или рубероида. При значительных дефектах деревянных балок рекомендуется преобразование их в шпренгельные фермы, в балки составного сечения или полная замена путем установки рядом с поврежденной балкой новой.

Ремонт деревянных покрытий, как правило, связан с расстройством узловых соединений (появлением трещин в местах концентрации напряжений), обнаружением продольных трещин в стропильных конструкциях из-за усушки древесины или перегрузки кровли, гниением деревянных конструкций из-за плохого проветривания, замачивания, некачественного антисептирования и т. п. Чаще всего гниению подвержены мауэрлат и участки стропильных ног, примыкающих к нему. При перегрузке кровли появляются также расслоения древесины в стропилах в местах крепления затяжки. Реконструкция кровли требуется при замене более легкого кровельного покрытия (например, кровельного железа) на более тяжелое (асбестоцементные листы). В этом случае, как правило, необходимо увеличить уклон стропил и их сечение. Усиление стропил при незначительных повреждениях гнилью осуществляют протезированием или наращиванием. При необходимости увеличения уклона устанавливают новые стропила, которые соединяют с существующими стойками и подкосами. При наличии средней стены увеличения несущей способности стропил можно добиться установкой дополнительных подкосов, а в случае ее отсутствия – второй по высоте затяжкой или шпренгелем.

Продольные трещины в стропилах стягивают металлическими хомутами на болтах. Усиление деревянных стропильных ферм всех типов осуществляют различными способами с учетом характера обнаруженных дефектов: при загнивании опорных концов ферм вырезают опасный участок, заменяя его протезами; при недостаточной несущей способности стыка нижнего пояса (растянутого раскоса) устраивают дополнительные на-

кладки или растянутые тяжи между узлами ферм; при потере устойчивости верхнего пояса или сжатых элементов решетки устанавливаются дополнительные связи или увеличиваются сечения элементов, прикрепляя к ним с помощью болтов или гвоздей дополнительные бруски или доски.

Усиление деревянных арок и рам зависит от вида конструкции и характера обнаруженных дефектов. Наиболее простым способом усиления гнутых арок из нескольких слоев досок, соединенных на гвоздях, является устройство обшивки из двух слоев досок, которые крепятся к вертикальным поверхностям арок также на гвоздях. Кривые арки усиливают постановкой рядом со старой аркой новой из косяков и скреплением их гвоздями или болтами. Гнутые арки можно усилить, превратив их в металлодеревянные фермы. К распространенным дефектам в дощато-гвоздевых и клефанерных рамах является выпучивание их нижних поясов в карнизных узлах. После разгрузки рам нижние пояса выправляют и усиливают постановкой парных накладок или нашивкой фанерных диагональных фасонков. Усиленные сжатые пояса смежных рам должны быть раскреплены связями. Нижние растянутые пояса рам усиливают парными накладками или металлическими тяжами.

В составных сжатых элементах короткие прокладки рекомендуется заменить сплошными или усилить боковыми накладками на гвоздях или болтах. Связи, воспринимающие сдвигающие силы, должны быть поставлены по расчету. Эффективным способом усиления деформированных сжатых и сжато-изгибаемых составных элементов является их обшивка после устранения деформаций двумя слоями перекрестных досок на гвоздях. Растянутые элементы могут быть усилены или восстановлены постановкой деревянных накладок и прокладок, соединенных с ремонтируемым элементом необходимым по расчету количеством связей. Более надежным способом ремонта является постановка натяжных усилений, которые позволяют ввести усиленный элемент в работу без разгрузки конструкции и выправить, хотя бы частично, ненормальные деформации конструкции. Натяжные усиления могут быть местными и общими. Общее усиление применяется при наличии дефектов по всему элементу, например, при недоброкачественной древесине нижнего пояса составной балки или фермы.

Изгибаемые элементы (балки, прогоны и др.) усиливают прикреплением дополнительных деревянных элементов на болтах или на глухарях или путем превращения балки в шпренгельную или в подвесную систему. Концы деревянных балок часто подвергаются загниванию и требуют удаления сгнившей древесины и замены концов балок новыми деревянными или стальными частями.

Опорные узлы ферм также иногда загнивают и может возникнуть необходимость в полной замене их новой конструкцией. Для этого прибегают к вырезке старого сгнившего материала и антисептируют оставшийся. Вырезанные части заменяют новой конструкцией из антисептированной древесины с применением натяжных хомутов в соединении с нижним поясом. Рациональным решением является замена деревянной конструкции узла на стальную, которое при условии надлежащей защиты древесины исключает опасность возобновления гниения в дальнейшем;

Общее усиление дефектных конструкций производят путем постановки рядом с усиливаемыми аналогичных или других конструкций, имеющих общую с ними конфигурацию. Так, например, балочная сегментная ферма может быть усилена постановкой рядом с ней трехшарнирной арки с затяжкой, подтягиванием которой арка может быть включена в работу.

Другим приемом усиления служит постановка стального шпренгеля (подпружной цепи), подтягивая которую выправляют прогиб несущей конструкции и включают шпренгель в работу.

Усиление стоек. Ремонт стоек сплошного сечения, имеющих излом или выпучивание из плоскости, заключается в восстановлении проектного положения элемента и

увеличении его жесткости в плоскости изгиба путем установки деревянных накладок и прокладок на болтах. Накладки ставятся со стороны вогнутости деформированного элемента. При значительном биологическом разрушении стоек (более 1/2 сечения) в опорных узлах производится их предварительная разгрузка путем постановки рядом временной стойки на домкрате. Поврежденная часть стойки выпиливается и заменяется новой того же сечения. Новая вставка тщательно приторцовывается к основной стойке и скрепляется с ней деревянными или стальными накладками на болтах.

Усиление цельных балок. Балки с механическими ослаблениями, надрывами растянутых волокон, недопустимыми прогибами (более $l/200$) усиливают деревянными накладками на болтах или изменяют конструктивную схему введением шпренгеля, или установкой промежуточной стойки.

Усиление стропил. Наиболее часто встречающееся повреждение стропил – загнивание их опорных частей и прилегающих участков мауэрлатов. В этом случае концы стропильной ноги вывешивают, выпиливают сгнившие части стропильной ноги и мауэрлата, затем укладывают слой гидроизоляции, новый мауэрлат, усиливают стропильную ногу парными накладками из досок, прикрепляя их гвоздями к здоровой части стропил, и закрепляют стропильную ногу на место скобой.

Усиление ферм. Растянутые элементы (нижние пояса, раскосы, стойки) усиливаются с помощью деревянных накладок на болтах или натяжных металлических хомутов, дублируются или заменяются стальными тяжами. Деформированные сжатые элементы ферм усиливаются постановкой накладок и прокладок на гвоздях и болтах. Опорные узлы усиливаются стальными протезами.

Усиление клееных деревянных конструкций. Клееные деревянные конструкции нуждаются в усилении при механических повреждениях сечения и в случае значительных расслоений по клеевым швам. При механических повреждениях ослабленные участки конструкций перекрываются стальными накладками на болтах и глухарях или, при наличии технологических условий, наклеиваются дополнительные слои досок с клеегвоздевой запрессовкой.

Многолетний опыт эксплуатации деревянных конструкций показал, что при отсутствии увлажнения, систематической защите от гниения, проветривании деревянные конструкции обеспечивают длительный (несколько десятков лет) срок безопасной работы. Для конструкций из дерева применяют преимущественно хвойные породы, а для ответственных деталей соединений (шпонок, нагелей, вкладышей) – твердые лиственные породы.

Частичный или полный ремонт деревянных конструкций чаще всего связан с некачественной их защитой от непосредственного увлажнения атмосферными или техногенными водами, плохой термо- и пароизоляцией, отсутствием систематической просушки древесины, неудовлетворительной защитой от гниения и энтомологических разрушителей. Основными причинами разрушения структуры древесины являются солнечная радиация, механические повреждения, увлажнение, которое является благоприятной средой для развития дереворазрушающих грибов, а также насекомых-вредителей. Гниение древесины происходит при влажности более 25 %, температуре от -3 до $+(35 - 70)^{\circ}\text{C}$, застойном воздухе и заражении ее грибами. В сухой древесине с влажностью до 12 % и в древесине, находящейся в воздушно-сухом состоянии (15 – 18 %), домовые грибки не развиваются. Деревянные конструкции, расположенные в воде и на сквозняке, грибами также не разрушаются. В связи с этим для длительной безопасной эксплуатации деревянных конструкций необходимо создать вокруг них соответствующие температурно-влажностные условия. Если это невозможно по технологическим или другим соображениям, деревянные конструкции следует тщательно обработать ядохимикатами, антисептировать. Антисептирование производят в весенний или летний период, так как в это

время личинки жуков подходят к поверхности пораженной древесины и обеспечивается просушивание деревянных конструкций.

Значительный эффект в деле защиты древесины достигается нанесением на поверхность соответствующих лакокрасочных покрытий, которые наносятся в жидком виде тонким слоем кистью или опрыскивается распылителями.

Бесцветные и прозрачные лаки применяются, когда необходимо сохранить декоративные свойства древесины.

Деревянные конструкции могут надежно служить в течение весьма длительного времени. Их надежность и долговечность зависит от точности проектирования, изготовления, качества применяемых материалов, соблюдения правил эксплуатации. Современные способы защиты древесины повышают срок эксплуатации конструкций. Для обеспечения долговечности необходимо защищать опорные части несущих конструкций от увлажнения, для чего деревянные стойки и колонны, нижние узлы арочных и рамных конструкций следует опирать на фундаменты выше отметки пола на 15–20 см. Верхний пояс несущих конструкций должен хорошо проветриваться, для чего кровлю следует устраивать по прогонам. Панели стен необходимо относить от стоек (колонн). Сорт и категории древесины должны соответствовать назначению элементов конструкций. В связи с этим в процессе изготовления и монтажа деревянных конструкций необходим технический надзор, а в процессе эксплуатации – контроль за нагрузками на конструкции.

Библиографический список

1. Зубарев Г.Н. Конструкции из дерева и пластмасс. Изд. 2 – М.: Высшая школа, 1996. – 287 с., ил.
2. Музыченко Л.Н., Буцук И.Н. Усиление деревянных конструкций зданий и сооружений // Сборник статей Международной научно-практической конференции 10 февраля 2016 года «Технологии XXI века: проблемы и перспективы развития». – Уфа: АЭТЕРНА, 2016. – стр. 137 – 142.

УДК 624.014:69.059.3

УСИЛЕНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ

Музыченко Л.Н., Дудин А.А.

*ФГБОУ Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк, Россия, k.u-ng@yandex.ru*

***Аннотация.** При реконструкции промышленных предприятий возникает необходимость оценивать состояние несущих и ограждающих конструкций, выявить возможность их эксплуатации, а в ряде случаев запроектировать усиление отдельных элементов или конструкций каркаса.*

***Ключевые слова:** реконструкция, усиление, разгрузка, ферма, нагрузка, предварительное напряжение, металл.*

Под усилением конструкций обычно подразумевают совокупность мероприятий, направленных на увеличение несущей способности конструкций или отдельных их элементов. Усиление может быть временным, аварийным, постоянным (капитальным) и перспективным.

Временно можно усиливать конструкции, которые будут эксплуатироваться в ограниченный срок или должны эксплуатироваться до капитального усиления.

Аварийное усиление применяют в экстренных случаях.

Постоянное (капитальное) усиление является основным, наиболее распространённым в настоящее время видом усиления.

Перспективное усиление применяют в тех случаях, когда нагрузка на усиливаемые конструкции с течением времени будет увеличена.

По условиям производства работ возможно усиление под нагрузкой с частичной разгрузкой и с частичным демонтажем конструкции. Наиболее выгодно (но не всегда возможно) усиление под нагрузкой, которая обеспечивает наименьшие трудности для производства, размещённого в здании.

Частичная разгрузка (и частный случай – освобождение конструкции от всей нагрузки кроме собственного веса) необходима, когда во время усиления приходится временно ослабить элементы и соединения, воспринимающие большие усилия.

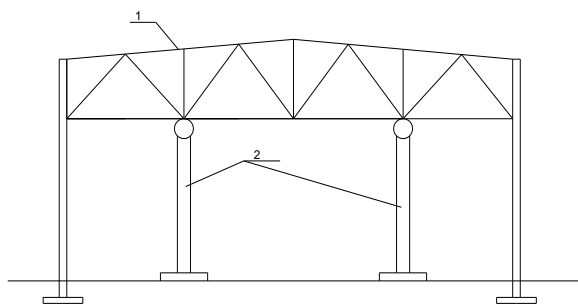
Частичный демонтаж необходим в тех случаях, когда часть элементов имеет настолько существенные повреждения, что их целесообразно заменить новыми. Эти элементы перед демонтажем должны быть полностью разгружены.

Способы разгрузки на время усиления зависят от конкретных условий производства, размещённого в здании и достаточно разнообразны. Простейший способ разгрузки стропильных ферм – это установка временных стоек, опирающихся на временные же фундаменты (см. рисунок 1,а). Верх стоек снабжается домкратами или приспособлениями, позволяющими приподнять нижние узлы фермы. Стойки большой высоты получают достаточно тяжелыми, и поэтому часто оказывается целесообразным использовать другие способы разгрузки: например, можно установить подмости на мостовом кране и с помощью домкратов передать на них нагрузку от ферм (см. рисунок 1,б).

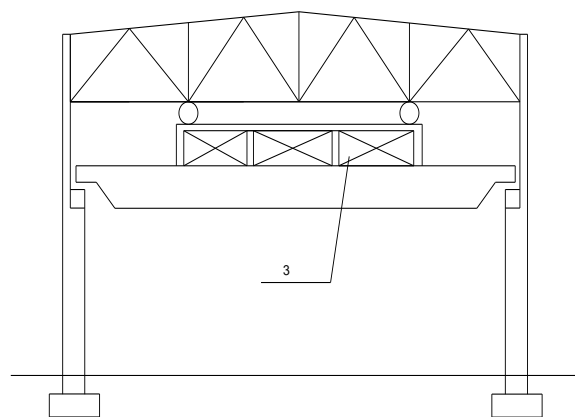
Разгрузка колонн возможна с помощью стоек, установленных внутри здания (см. рисунок 1,в), а также снаружи (см. рисунок 1,г). При проектировании разгружающих элементов нужно учитывать, что опоры должны располагаться в узлах ферм, чтобы избежать изгибов элементов верхнего или нижнего пояса.

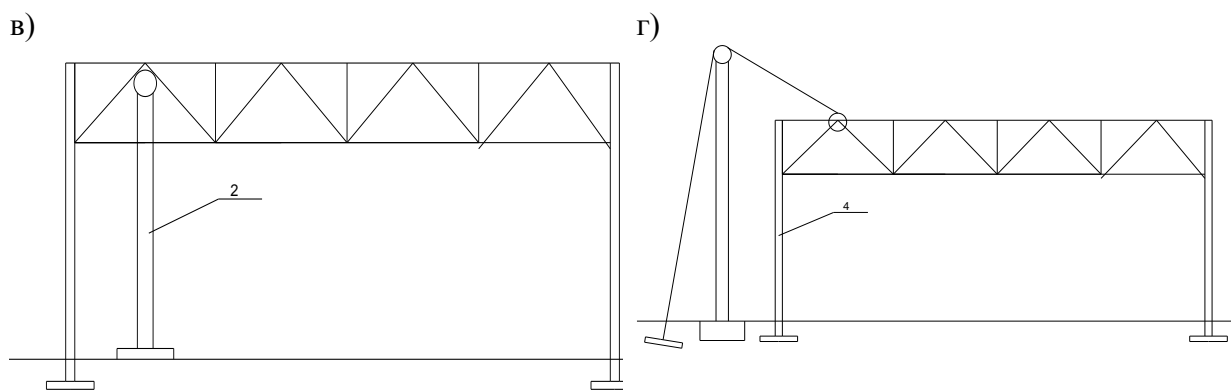
В подкрановых конструкциях усилия от собственного веса составляют незначительную часть суммарного усилия, и поэтому, ограничив движения мостовых кранов, можно производить усиления этих конструкций.

а)



б)





1-разгружаемая ферма; 2-временные стойки; 3-подмости на кране;
4-разгружаемая колонна.

Рисунок 1 – Примеры способов разгрузки конструкций во время усиления

Возможность использования какого-либо способа разгрузки должна быть обоснована расчётом, так как при изменении условий опирания меняется распределение усилий в элементах. Среди элементов усиливаемых конструкций особое место занимают сжатые стержни. Усиление сжатых стержней стальных конструкций служит надёжным средством предотвращения аварий. Усиление стальных конструкций, выполняемое обычными традиционными способами, то есть без предварительного напряжения усиливающих элементов, связано с перерасходом металла. Такое усиление трудно выполнить под эксплуатационной нагрузкой и в большинстве случаев требуется её значительное снижение.

Перечисленные недостатки можно избежать, используя предварительное напряжение усиливающих элементов, что легко выполнимо под полной эксплуатационной нагрузкой и позволяет обеспечить полную совместную работу старого и нового (добавляемого) металла сразу после усиления, до приложения дополнительной нагрузки. Предварительное напряжение уменьшает деформации (прогибы) усиливаемых сжатых стержней на заранее заданную величину, что существенно повышает их несущую способность. Экономия металла усиления может достигать 60-80%.

Библиографический список

1. Металлические конструкции. Общий курс: Учебник для вузов/Е. И. Беленя, В. А. Балдин, Г. С. Ведеников и др.; Под общ. ред. Е. И. Беленя. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1986. – 560 с., ил.
2. Металлические конструкции : учебник для вузов / Ю.И. Кудишин, Е.И. Беленя, В.С. Игнатъева [и др.] ; под ред. Ю.И. Кудишина. – 8-е изд., перераб. И доп. – М.:Academia, 2006. – 681 с. : ил.

УДК 624.072.2

ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ БАЛОЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Музыченко Л.Н., Саломатин Н.М., Буцук И.Н.

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»,
г. Новокузнецк, Россия, inno4kanvkz@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрены основные виды балочных конструкций, приведены особенности работы и конструирования бистальных и предварительно напряженных балок, балок с гибкой и перфорированной стенками.

Ключевые слова: балки, конструкции, работа, нагрузки, напряжения, стенка.

Весьма широкое распространение балочных конструкций привело к появлению ряда конструктивных форм, которые в отдельных случаях более эффективны, чем традиционные прокатные или составные балки, и их применение дает экономический эффект. К таким конструктивным формам можно отнести: бистальные балки, балки из алюминиевых сплавов, предварительно напряженные балки, балки с гибкой стенкой, балки с перфорированной стенкой и сталебетонные балки. Рассмотрим некоторые особенности их работы и конструирования.

Бистальные балки. Одним из источников экономии металла в строительных конструкциях является применение вместо обычной малоуглеродистой, сталей повышенной прочности. Однако в балках, изготовленных целиком из стали повышенной прочности, нельзя полностью использовать все преимущества этой стали, так как в стенке балки и в сечениях вблизи опор напряжения значительно меньше расчетных сопротивлений. Кроме того, местная устойчивость элементов балки из высокопрочной стали относительно менее благоприятна по сравнению с устойчивостью этих же элементов, выполненных из обычной малоуглеродистой стали. Поэтому часто целесообразно использовать балки из двух марок стали различной прочности – бистальные, в которых сталь повышенной прочности применяется только в наиболее напряженных участках поясов балок, а вся стенка и пояса — вблизи опор балки, т. е. участки балки, испытывающие меньшие нормальные напряжения, выполняются из стали малоуглеродистой (см. рисунок 1).

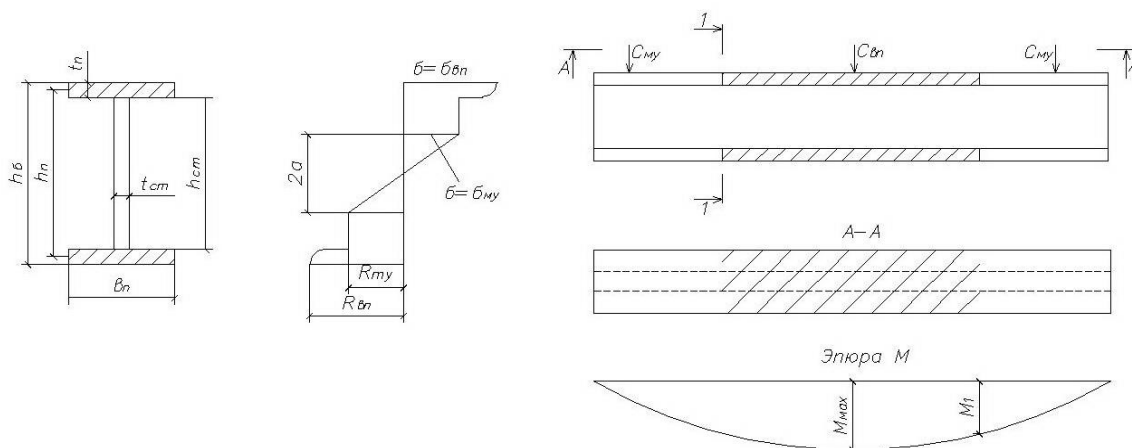


Рисунок 1 – Бистальные балки

Работа такой балки отличается от работы обычных балок тем, что при действии расчетной нагрузки в крайних участках стенки, примыкающих к поясам из высокопрочной стали, может возникнуть текучесть материала стенки. Однако эти участки стенки работают в условиях ограниченной деформации, так как находятся между упругоработающими поясами и остальной частью стенки и текучесть в них не может быть опасной для всей балки.

Расчет бистальных балок учитывает возможное появление пластичности в крайних участках стенки. Принимая расчетную эпюру напряжений в бистальной балке по рисунку 1, которая предполагает, что крайние участки стенки текут, а напряжения по толщине пояса постоянны и равны расчетному сопротивлению материала, прочность балки можно проверить по формуле:

$$M = R^{\hat{a}n} A_n h_0 + \frac{R^{\hat{e}n} t_{\hat{n}\hat{n}} h_{cn}^2}{4} - \frac{R^{\hat{e}n} t_{\hat{n}\hat{n}} \alpha^2}{3} = R^{\hat{a}n} W_{d\hat{d}},$$

где $R^{\hat{a}n}$ – расчетное сопротивление высокопрочной стали; $R^{\hat{e}n}$ – расчетное сопротивление малоуглеродистой стали;

$$\alpha = \frac{R^{\dot{e}i}}{R^{\dot{a}i}} \cdot \frac{h}{2}.$$

Отсюда нетрудно получить приведенный момент сопротивления сечения бистальной балки:

$$W_{\dot{d}\dot{d}} \approx A_n h_0 + W_{\dot{n}\dot{n}} m,$$

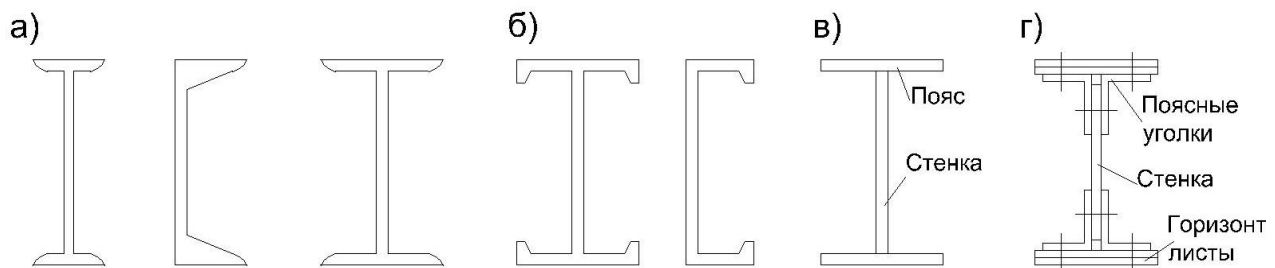
$$\text{где } W_{\dot{n}\dot{n}} = \frac{t_{\dot{n}\dot{n}}^2 h_{\dot{n}\dot{n}}}{6}; \quad m = \frac{3}{2} \cdot \frac{R^{\dot{e}i}}{R^{\dot{a}i}} \left[1 - \frac{1}{3} \left(\frac{R^{\dot{e}i}}{R^{\dot{a}i}} \right)^2 \right] - \text{коэффициент использования эпюры}$$

напряжений в стенке балки. Длина участка балки с поясами из высокопрочной стали определяется по эпюре моментов из условия несущей способности бистального и моно-стального сечения, т. е. по $M_{max} = R^{\dot{a}i} \cdot W_{\dot{d}\dot{d}}$ и $M_1 = R^{\dot{e}i} \cdot W$ (см. рисунок 1), где W_{np} и W подсчитаны для сечений с одинаковыми геометрическими размерами. Подбор сечений, проверки прочности и устойчивости мало отличаются от аналогичных проверок составных балок с подстановкой в них соответствующих значений расчетных сопротивлений материала поясов и стенки.

Особенности проектирования балок из алюминиевых сплавов. В качестве материала для балок могут быть использованы почти все алюминиевые сплавы. Целесообразнее, однако, применять сплавы средней и высокой прочности. Главной особенностью материала, влияющей на конструкцию балок из алюминиевых сплавов, является более низкий по сравнению со сталью модуль упругости его $E_{an} = 7100 \text{ кН/см}$ против $E_{cm} = 20600 \text{ кН/см}$. Вследствие меньшего модуля упругости балки из алюминиевых сплавов относительно более деформативны и менее устойчивы, чем стальные.

В готовых балках двутаврового и швеллерного сечения, которые изготавливают прессованием (см. рисунок 2б), местную устойчивость поясов увеличивают устройством бульб - утолщений на концах поясов. Высота готовых балок обычно не превышает 400 мм по условию прессования, и при необходимости увеличения несущей способности балок приходится раньше переходить на составные сечения, чем в стальных балках.

Конструктивная форма составных балок двутаврового сечения почти не отличается от составных стальных балок (см. рисунок 2). Балки из разупрочняющихся при сварке сплавов делают клепаными. Высота сечения составной балки принимается из сравнения оптимальной по расходу материала высоты и минимальной высоты, удовлетворяющей прогибу балки при полном использовании материала. Из-за малого модуля упругости алюминиевых сплавов часто минимальная высота получается больше, чем оптимальная.



а – прокатные; б – прессованные; в – сварные; г - клепанные и болтовые

Рисунок 2 – Сечение балок

Подбор сечения и подборка его прочности производится аналогично стальным балкам с соответствующими расчетными сопротивлениями сплавов. При проверке прочности упругопластическая работа балок не принимается во внимание, так как сплавы не имеют площадки текучести.

Проверка общей и местной устойчивости балки проводится в соответствии с указанием строительных норм.

Предварительно напряженные балки. Предварительное напряжение - один из приемов увеличения эффективности использования материала конструкций. С его помощью удастся уменьшить расход металла на балку на 10-20%, а стоимость конструкции – на 5-12%, понизить строительную высоту балки, добиться более рационального распределения материала по длине балки и т. п. Эффективность предварительного напряжения объясняется тем, что в конструкции во время ее возведения создаются предварительные напряжения, обратные по знаку напряжения от нагрузки. Во время работы конструкции эти предварительные напряжения используются в первую очередь, и только после их исчерпания материал начинает воспринимать основные напряжения, вплоть до величины расчетного сопротивления. Таким образом, предварительное напряжение увеличивает протяженность упругой работы основного материала конструкции. Дополнительным источником экономии стоимости предварительно напряженных балок служит то, что применяемые для создания предварительного напряжения высокопрочные материалы, частично заменяющие основной материал конструкции, относительно дешевле обычной конструкционной стали.

Нужно иметь в виду, что удельная стоимость стали, т.е. стоимость 1 т, отнесенная к пределу текучести, уменьшается с увеличением прочности стали.

Существует несколько приемов создания предварительного напряжения в балках, и каждый из них влияет на конструктивную форму балки.

Предварительное напряжение можно создать изгибом отдельных элементов в пределах их упругой работы, в направлении, противоположном их прогибу под нагрузкой, с последующим соединением изогнутых элементов между собой продольными швами (см. рисунок 3). После освобождения конструкций от принудительного изгиба в ней остаются предварительные напряжения, обратные по знаку напряжению от нагрузки. Такой прием увеличивает область упругой работы балки, причем напряжения в ней достигают размера, соответствующего пластическому шарниру, минуя упругопластическую стадию работы.

Наиболее часто предварительное напряжение осуществляют высокопрочной затяжкой, помещаемой вблизи растянутого пояса балки: в разрезных балках в средней части нижнего пояса, в неразрезных в пролетной части у нижнего пояса и на участках верхнего пояса у промежуточных опор.

Затяжка превращает балку в статически неопределимую систему. При действии внешней нагрузки несущая способность ее повышается, во-первых, потому, что сначала в ней исчерпываются предварительные напряжения, что увеличивает область упругой работы материала балки. Во-вторых, потому, что балка с затяжкой работает как статически неопределимая система и растягивающее усилие в затяжке, складывающееся из предварительного натяжения и самонапряжения под нагрузкой, уравнивается усилиями от сжимающих напряжений в балке. В результате в такой балке образуется дополнительный момент от внутренних сил, уравнивающий часть внешнего изгибающего момента.

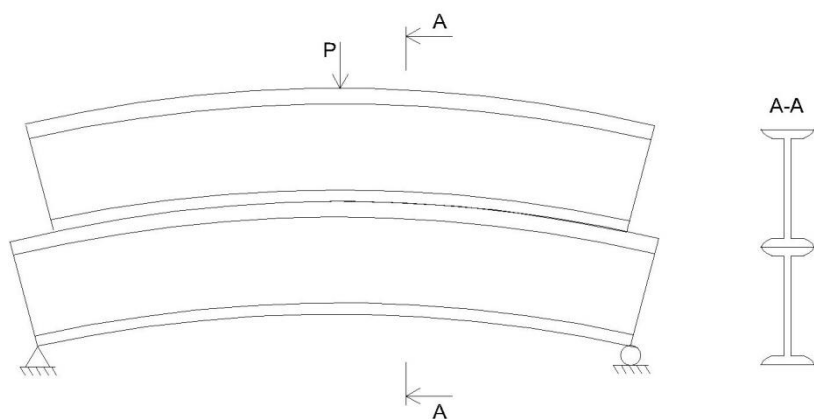


Рисунок 3 – Предварительное напряжение балок изгибом элементов с последующим сплачиванием в изогнутом состоянии

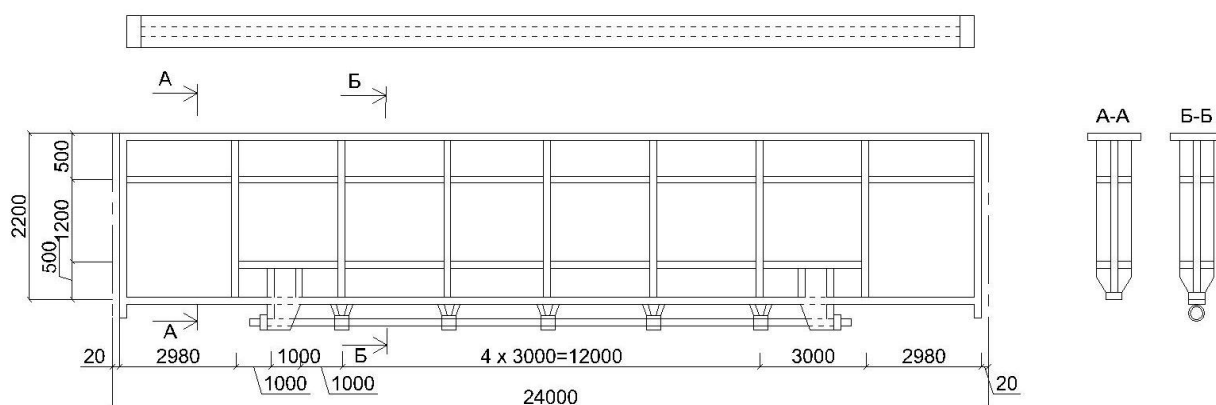


Рисунок 4 – Предварительно напряженная балка

Значительное суммарное растягивающее усилие в затяжке от ее предварительного натяжения и от действия внешней нагрузки делают рациональным изготовление ее из высокопрочных материалов (стальных канатов, пучков проволоки и т. п.).

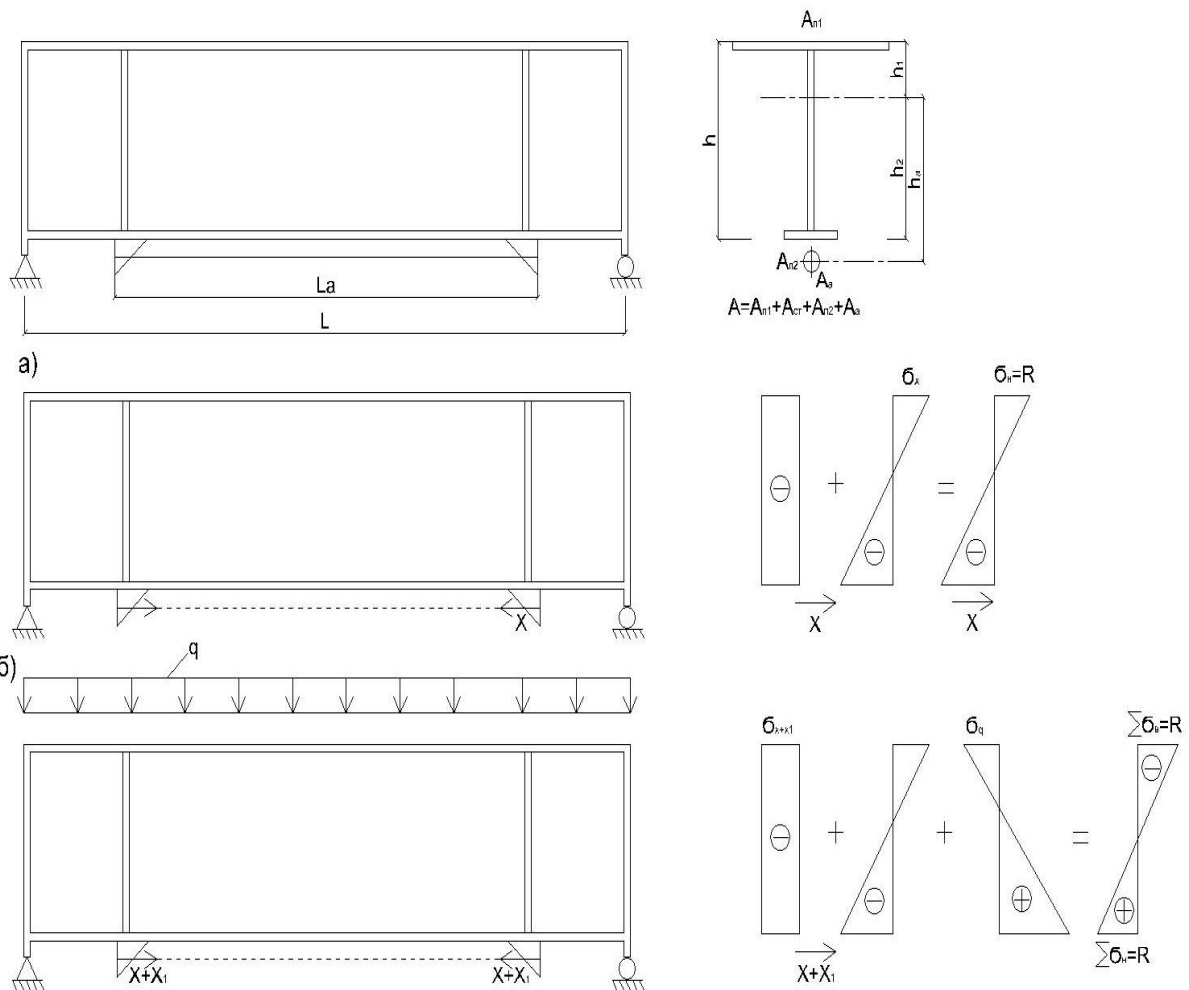
Наиболее полно разработаны вопросы предварительного напряжения однопролетных балок высокопрочной затяжкой (см. рисунок 4). В этих балках принимают несимметричное сечение с уменьшенным нижним поясом, так как напрягающая затяжка частично заменяет его работу. Сам нижний пояс осуществляют из листа или профильного металла - труб, уголков, швеллеров, что улучшает его работу на сжатие во время предварительного напряжения.

Затяжки имеют анкерные крепления на концах в виде колодки с пробкой, стаканов, заливаемых легкоплавким сплавом, стаканов с клиньями или стаканов с пластическим обжатием троса. Затяжки размещают вблизи нижнего пояса. Во всех случаях затяжку свободно пропускают через направляющие устройства, приваренные к поясу балки на расстояниях 1-2м друг от друга. Эти направляющие устройства создают благоприятные условия для сжатого в процессе предварительного напряжения нижнего пояса и предохраняют его от возможной потери устойчивости из плоскости балки. Длину затяжки принимают меньше длины балки и располагают ее только под теми участками, где само сечение балки без предварительного напряжения не может воспринять действующий в этом месте расчетный момент от внешней нагрузки. В месте анкерного закрепления затяжки на балку передаются большие сосредоточенные силы, вызывающие значительные местные напряжения в стенке и поясе балки. Это место усиливают постановкой дополнительных ребер жесткости и специальных упорных пластин, усиливающих стенку балки.

Расчет балки в наиболее напряженном сечении, обычно в середине пролета, ведут в два этапа. Прикладывая к балке усилие X от затяжки (см. рисунок 5,а), подвергаем балку внецентренному сжатию, наиболее напряженным в ней оказывается нижний пояс. Сила натяжения X ограничивается прочностью или устойчивостью сжатого при этом нижнего пояса:

$$\sigma_i = -\frac{n_1 X}{A} - \frac{n_1 X h_a}{W_i} \leq \varphi R,$$

где $n_1 = 1,1$ – коэффициент надежности по перегрузке силы предварительного натяжения; при обеспечении надежного прямого контроля силы X принимают $n_1 = 1$; A – площадь сечения балки; W_H – момент сопротивления сечения балки для нижней кромки; φ – коэффициент продольного изгиба нижнего пояса балки относительно вертикальной оси, принимается из условия равенства свободной длины нижнего пояса расстоянию между местами соединения нижнего пояса с затяжкой между направляющими устройствами; R – расчетное сопротивление материала балки.



а – предварительное напряжение балки; б – нагружение балки внешней нагрузкой

Рисунок 5 – Расчет предварительно напряженных балок

Во время работы балки под нагрузкой (см. рисунки 5, б) предварительное напряжение в ней исчерпывается и в идеально подобранной балке напряжения в поясах и затяжке стремятся к своим расчетным сопротивлениям, определенным по формулам:

$$\sigma_a = -\frac{n_2 X + X_1}{A} - \frac{M_q - (n_2 X + X_1)h_a}{W_a} \leq R_\gamma;$$

$$\sigma_i = -\frac{n_2 X + X_1}{A} - \frac{M_q - (n_2 X + X_1)h_a}{W_i} \leq R_\gamma;$$

$$\sigma_f = -\frac{n_1 + X_1}{A_f} \leq R_\gamma.$$

Причем усилие самонапряжения затяжки определяется по формуле:

$$X_1 = \int \frac{M_1 M_q}{EI_a} dx / \left(\int \frac{M_1^2}{EI_a} dx + \frac{l_a}{E_a A_a} + \frac{l_a}{EA} \right),$$

где M_1 и M_q – значения моментов в основной системе балки от единичного усилия в затяжке $X = 1$ и от внешней нагрузки q ; EI_a – жесткость балки при изгибе; $E_a A_a$ – жесткость затяжки при растяжении; $n_2 = 0,9$ – коэффициент недогрузки усилий предварительного натяжения; при обеспечении надежного прямого контроля значения X принимаются $n_2 = 1$; R^q – расчетное сопротивление материала затяжки.

Критерием оптимального подбора сечения таких балок следует считать возможность воспринимать наибольший изгибающий момент при заданной площади сечения балки.

Проверка прочности балки в месте теоретического обрыва затяжки по касательным и приведенным напряжениям производится так же, как и в обычных балках.

Прогиб балки в середине пролета определяют от действия нормативных нагрузок и по «Инструкции по проектированию предварительно напряженных стальных конструкций», его следует отсчитывать от хорды, соединяющей опоры балки. При определении прогиба необходимо учитывать обратный выгиб балки от усилий предварительного натяжения и от самонатяжения затяжки. Тогда

$$f = f_d - f_x - f_{x1} \leq [f],$$

где f_p – прогиб балки от действующих нормативных нагрузок без учета работы затяжки; f_x и f_{x1} – обратные выгибы балки соответственно от усилий предварительного натяжения и самонатяжения затяжки; $[f]$ – предельный прогиб.

Обратный выгиб балки от усилий в затяжке:

$$f_x = \frac{X h_a (2l_a - l_a^2)}{8EI_a}.$$

Весьма существенна для предварительно напряженных балок проверка местной устойчивости стенки, причем наиболее опасной может оказаться область стенки вблизи нижнего пояса, так как в процессе предварительного напряжения здесь будет действовать наиболее неблагоприятная эпюра сжимающих напряжений.

В предварительно напряженных балках, так же как и в обычных балках, в отдельных случаях может быть допущено развитие пластических деформаций, но только в самой балке. Пластические деформации в затяжке не допускаются, так как текучесть затяжки, мгновенно наступающая по всему сечению, приводит к недопустимому развитию деформаций балки.

Развитие пластических деформаций в предварительно напряженных балках ограничивается теми же условиями, что и в обычных балках. Предварительное напряжение балок из алюминиевых сплавов стальными затяжками дает значительно больший эффект, чем в стальных балках, благодаря большему модулю упругости и меньшей стоимости стальной затяжки по сравнению с материалом алюминиевой балки. Однако в этом случае надо учитывать менее благоприятную местную устойчивость балки из алюминиевого

сплава и температурные напряжения, возникающие вследствие различных коэффициентов линейного расширения алюминия и стали.

Балки с гибкой стенкой. Известно, что если в балке двутаврового сечения, работающей на изгиб, уменьшать толщину стенки (увеличивать ее гибкость), то суммарная площадь сечения поясов и стенки, найденная из условия прочности, также будет уменьшаться. Препятствием значительному увеличению гибкости стенки служат потеря местной устойчивости стенкой и нежелание усложнять конструкцию балки устройством продольных ребер жесткости. Однако наблюдения за работой тонкой стенки в балке, имеющей вертикальные ребра жесткости, показывают, что стенка, потеряв устойчивость, образует складки между ребрами, направленные вдоль главных растягивающих напряжений («закритическая» работа стенки); и балка продолжает нести действующую на нее нагрузку. При этом балка как бы превращается в раскосную ферму, в которой роль растянутых раскосов выполняют растянутые участки стенки, а роль сжатых стоек — ребра жесткости (см. рисунок 6).

Таким образом, используя закритическую работу стенки, можно делать балки более тонкостенными, в результате получить экономию металла.

Работа и расчет таких балок, имеющих $6 \leq \lambda_{ст} \leq 13$, существенно отличаются от традиционных балок с устойчивой стенкой. В тонкостенной балке ребра жесткости рекомендуется ставить на расстояниях $(1 - 1,5)h_{cm}$ и каждый отсек проверять на воздействие M и Q . При действии на отсек сдвига и изгиба внешний изгибающий момент, вызывающий силу N_n (см. рисунок 7), воспринимается поясами и работающей совместно с ними припоясной частью стенки. Поперечная сила воспринимается, как и при чистом сдвиге стенкой и поясами, вызывая в стенке растяжение, а в поясах местный изгиб M_l . Поэтому проверка несущей способности пояса ведется по внецентренному сжатию от действия сил N_n и M_n , а стенки — по приведенным напряжениям от действия растягивающих, сжимающих и касательных напряжений.

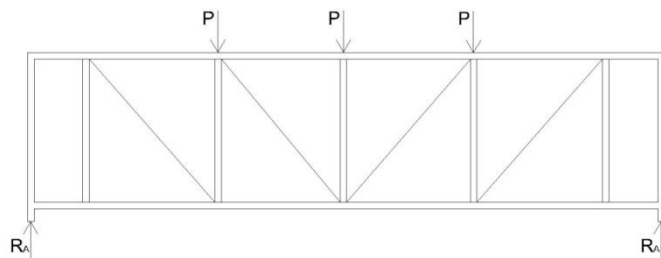


Рисунок 6 – Тонкостенная балка

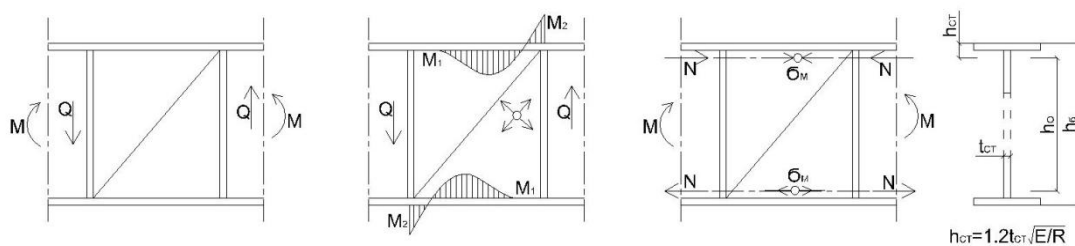


Рисунок 7 – Работа отсека тонкой балки Q и M

Полное исчерпание несущей способности отсека может произойти в результате развития пластической деформации в диагональной полосе стенки с образованием пластических шарниров в пролетном и надпорном сечениях пояса, потери устойчивости сжато-изогнутым поясом в плоскости или перпендикулярно плоскости стенки балки, местной устойчивости свеса сжато-изогнутого пояса.

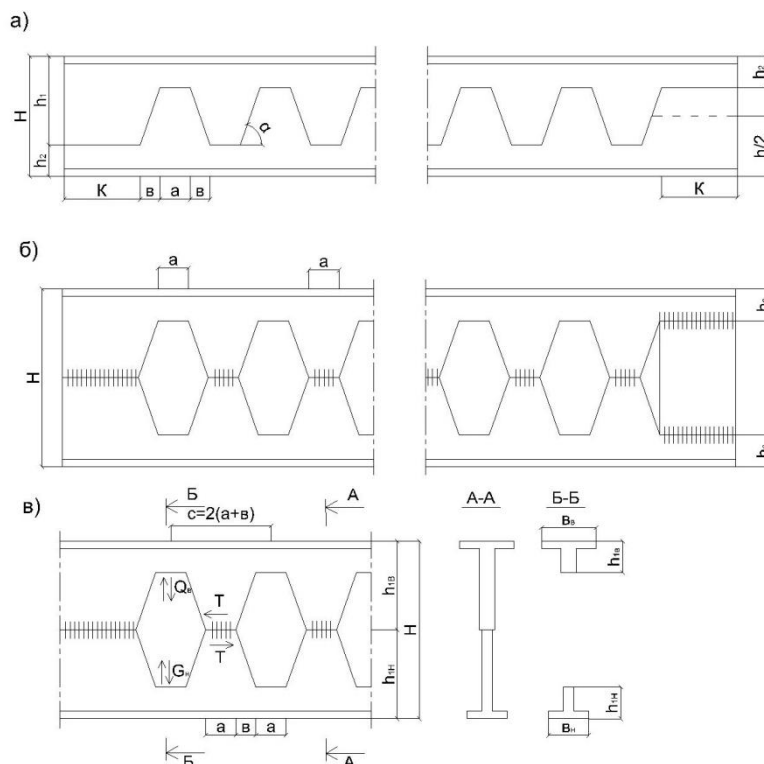
Промежуточные ребра жесткости работают и проверяются на действие внешней местной нагрузки и сжимающих или растягивающих сил, вызванных диагональными растягивающими и сжимающими напряжениями в примыкающих к ребру участках стенки.

Опорные ребра работают и проверяются как внецентренно сжатые элементы, в которых изгибающий момент вызван диагональными растягивающими напряжениями в прилегающей к ребру стенке.

Вследствие большой специфики работы балки с гибкой стенкой рекомендуется применять при статической работе, из стали с пределом текучести не более 430 МПа и не рекомендуется применять при приложении сосредоточенных нагрузок к поясам в местах, где нет ребер жесткости, и если значение временной нагрузки на балку более чем в 2 раза превышает значение постоянной нагрузки.

Балки с перфорированной стенкой. Одним из прогрессивных направлений повышения эффективности двутавровых профилей проката является создание балок с перфорированной стенкой (см. рисунок 8). Такие балки образуются путем разрезки стенки двутавра по зигзагообразной линии с последующей раздвижкой и сваркой встык частей двутавров по выступам стенки (см. рисунок 8, а). Несущая способность сквозных двутавров в 1,3—1,5 раза выше несущей способности исходного, что определяется их большей высотой, чем высота исходного двутавра. Эти качества в сочетании с их компактностью, хорошей транспортабельностью и приспособленностью к автоматизированному изготовлению делают их в ряде случаев конкурентоспособными с решетчатыми конструкциями и обеспечили им достаточно широкое применение в качестве балок перекрытий и стропильных балок. Компонировка сквозных двутавров имеет свои особенности. С целью полного использования исходного двутавра при его роспуске желательно соблюдать следующие зависимости:

$$h_1 = (0,6 - 0,75)h; a \geq 90\text{мм}, k \geq 250\text{мм}, \alpha = 40 - 70^\circ$$



а – роспуск исходного двутавра; б – сварка сквозного двутавра; в – расчетная схема двутавра

Рисунок 8 – Балка с перфорированной стенкой

В случае действия на балку сосредоточенных, регулярно расположенных грузов необходимо, чтобы положение сплошных участков стенки сквозного двутавра совпадало с положением этих грузов. Исследования показывают, что для однопролетных балок более экономично применять сквозные двутавры из двух марок сталей: верхнюю часть из двутавра обычной малоуглеродистой стали с более толстой стенкой, а нижнюю часть из двутавра более прочной стали с более тонкой стенкой. Действительная работа сквозного двутавра на поперечный изгиб достаточно сложна, так как система многократно статически неопределима, а жесткость элементов по длине переменна. В качестве первого приближения ее рассматривают как безраскосную систему Виренделя, принимая, что в середине сплошных участков стенки и в середине участков поясов в местах вырезов стенки расположены шарниры — точки нулевых моментов, в которых действуют только поперечные и продольные силы.

Библиографический список

1. Металлические конструкции. Общий курс: Учебник для вузов/Е. И. Беленя, В. А. Балдин, Г. С. Ведеников и др.; Под общ. ред. Е. И. Беленя. — 6-е изд., перераб. и доп. — М.: Стройиздат, 1986. — 560 с., ил.
2. Каплун Я.А. Стальные конструкции из широкополочных двутавров и тавров. — М.: Стройиздат, 1981.
3. Погадаев И.К. К проверке предельных состояний тонкостенных стальных реберных балок при сдвиге и сдвиге с изгибом.— Строительная механика и расчет сооружений, 1982, № 2.

УДК 669.017:539.376

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ НА УПРОЧНЕНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Котова Н.В., Алешина Е.А., Захарова Н.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г.Новокузнецк, Россия, nataly.kot@mail.ru*

***Аннотация.** Установлено, что при определенном режиме воздействия электрического потенциала на металл повышается его микротвердость. Эксперименты проводились на образцах из Fe-3% Si и Cu. Наибольший эффект наблюдался при малых значениях потенциала, в интервале ± 1 В. Упрочнение металла дает возможность снизить металлоемкость конструкции и увеличить ее долговечность.*

***Ключевые слова:** упрочнение, микротвердость, конструкции, воздействие, металлические, строительные, электрическое*

Известно, что наложение электрических и магнитных полей на объект, испытывающий деформацию, может существенно изменять деформационные характеристики последнего. В связи с этим разработка принципов регулирования пластичности металлов и сплавов с помощью различных внешних энергетических воздействий представляет большой интерес.

Измерение микротвердости конструкций - один из широко распространенных видов механических испытаний. В данном исследовании для изменения электрического состояния исследуемого образца был применен способ, который заключался в том, что к изолированному образцу, подвергаемому испытанию на микротвердость, от внешнего стабилизированного источника постоянного тока подводился положительный или отрицательный потенциал разной величины.

При исследовании микротвердости металлов HV , измеряемой стандартным способом с помощью микротвердомера ПМТ-3, использовался пирамидальный индентор Виккерса ($\gamma=68^\circ$). Образцы имели форму параллелепипеда с размерами $50 \times 15 \times 15$ мм.

Зависимости изменения микротвердости от электрического потенциала представлены на рисунках 1-2.

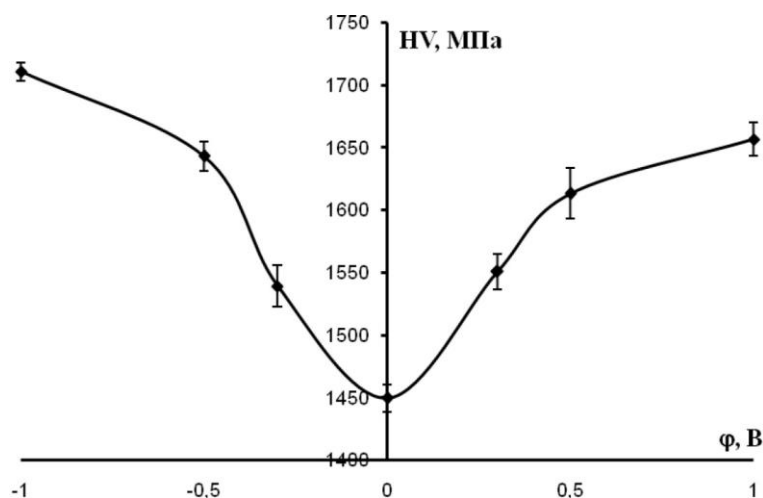


Рисунок 1 – Зависимость изменения микротвердости образца из Fe-3% Si от электрического потенциала (нагрузка на индентор 100 г)

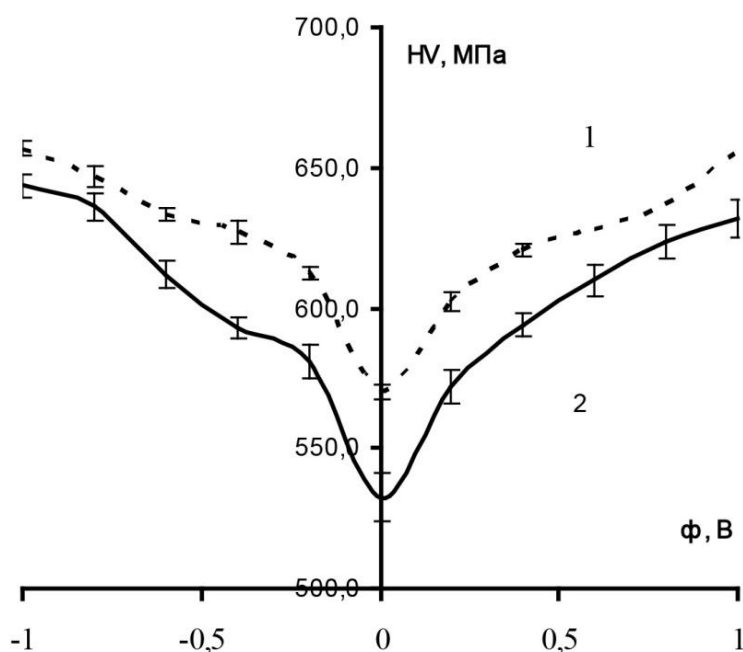


Рисунок 2 – Зависимость микротвердости образца из Cu от электрического потенциала (нагрузка на индентор: 1 – 30 г, 2 – 50 г)

Из рисунков видно, что полученные зависимости квадратичны. Несмотря на отличия в характере указанных зависимостей, видно, что в обоих случаях наибольший эффект наблюдается при малых значениях потенциала, в интервале ± 1 В. Выявлена также независимость указанных закономерностей от знака приложенного потенциала.

Таким образом, установлено, что изменение микротвердости связано не только с величиной приложенного потенциала, но и с порядком подключения, с временем его действия. При произвольном порядке проведения эксперимента сложно отделить влияние перечисленных факторов. Особенно неоднозначно эффект проявляется при обратном по-

рядке подключения, так как уменьшение потенциала по модулю сопровождается ростом времени воздействия.

Из полученных данных следует, что существование электрического эффекта не вызывает сомнений, но его величина характеризуется большим коэффициентом вариации (разбросом данных), что вообще характерно для методики измерения микротвердости. По этой причине трудно однозначно оценить характер влияния электрического потенциала.

Для уточнения необходимо определить оптимальный режим электрического заряжения, исследовать зависимость микротвердости от времени выдержки. Это необходимо, чтобы установить время стабилизации эффекта воздействия потенциала, при котором будет наблюдаться наименьший разброс значений микротвердости, и повысить достоверность количественной оценки.

Практическая значимость разработки заключается в том, что полученные закономерности позволяют выбрать оптимальный режим воздействия электрического поля для целенаправленного изменения прочностных свойств металла. Показано, что значение микротвердости меди и сплава Fe-3%Si увеличивается при подключении потенциала. Поскольку металл упрочняется, появляется возможность уменьшения сечения строительного профиля без снижения нагрузки на него.

Библиографический список

1. Коновалов С.В., Данилов В.И., Зуев Л.Б. и др. О влиянии электрического потенциала на скорость ползучести алюминия // Физика твердого тела. – 2007. – Т. 49. – Вып. 8. – С. 1389-1391.
2. Мильман Ю.В., Дуб С.Н., Голубенко А.А. Масштабная зависимость твердости и характеристики пластичности, определяемой при индентировании // Деформация и разрушение материалов. - 2008. - №8. - С.3-10

УДК 624.045

ПРОГРАММА РАСЧЕТА И ОПТИМИЗАЦИИ ЯДЕР ЖЕСТКОСТИ СВЯЗЕВЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КАРКАСОВ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ

Чапаева С.Г.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия.*

***Аннотация.** Разработан и реализован на языке программирования Fortran алгоритм расчета и оптимизации ядер жесткости углового профиля связевых железобетонных каркасов высотных сложных в плане зданий. В данном алгоритме использованы разработанные точная и приближенная методики расчета угловых ядер жесткости. В статье приведены некоторые результаты расчета.*

***Ключевые слова:** высотные железобетонные здания, ядро жесткости, связевый каркас, оптимизация армирования ядер жесткости, оптимизация расположения ядер жесткости, методика расчета ядер жесткости.*

Традиционно поперечные сечения высотных зданий выполнялись в виде прямоугольника, окружности, треугольника и т.п. Данные фигуры являются симметричными и при симметричных вертикальных несущих конструкциях не имеют эксцентриситета. Следовательно, подобные здания не подвержены чрезмерному закручиванию при действии горизонтальных усилий.

В настоящее время наблюдается тенденции ухода от простых планов к более сложным и интересным с точки зрения архитекторов. Это приводит к необходимости развития методик расчета подобных зданий на воздействие горизонтальных нагрузок.

Для восприятия горизонтальных нагрузок в высотных зданиях предусматриваются диафрагмы и ядра жесткости. Основной горизонтальной нагрузкой, действующей на высотные здания, является ветровая. В данной работе произведено развитие методики расчета и разработана методика оптимизации ядер жесткости связевых железобетонных каркасов на случай многоэтажных каркасов со сложной в плане структурой. Выполнена разработка и программная реализация алгоритма их расчета (рисунок 1).

Блок-схема алгоритма оптимизации и расчета ядер жесткости содержит следующие этапы:

1. Ввод исходных данных. Основными исходными данными, необходимыми для реализации алгоритма оптимизации являются: геометрические характеристики здания, подобластей, ядер жесткости; деформативные характеристики материалов; нагрузки, действующие на здание и колонны каркаса. Исходные данные относятся к верхнему (внешнему) уровню алгоритма оптимизации и задаются пользователем. Пользователь при выборе параметров внешнего уровня должен следовать упрощающим положениям, перечисленным в [1]. Структура произвольного уголкового ядра жесткости, принятая в расчете представлена на рисунке 2;

2. Формирование начального проекта. При формировании начального проекта программа задает параметры армирования ядер жесткости на этажах и параметры, определяющие расположение ядер жесткости в плане:

μ^{ij} , $j = 1, \dots, m$; $i = 1, \dots, n$ – коэффициенты армирования ядер в пределах этажей (m – число этажей).

$A_s^{ij} = \mu^{ij} \cdot A_k$, A_k – площадь бетонного сечения колонны;

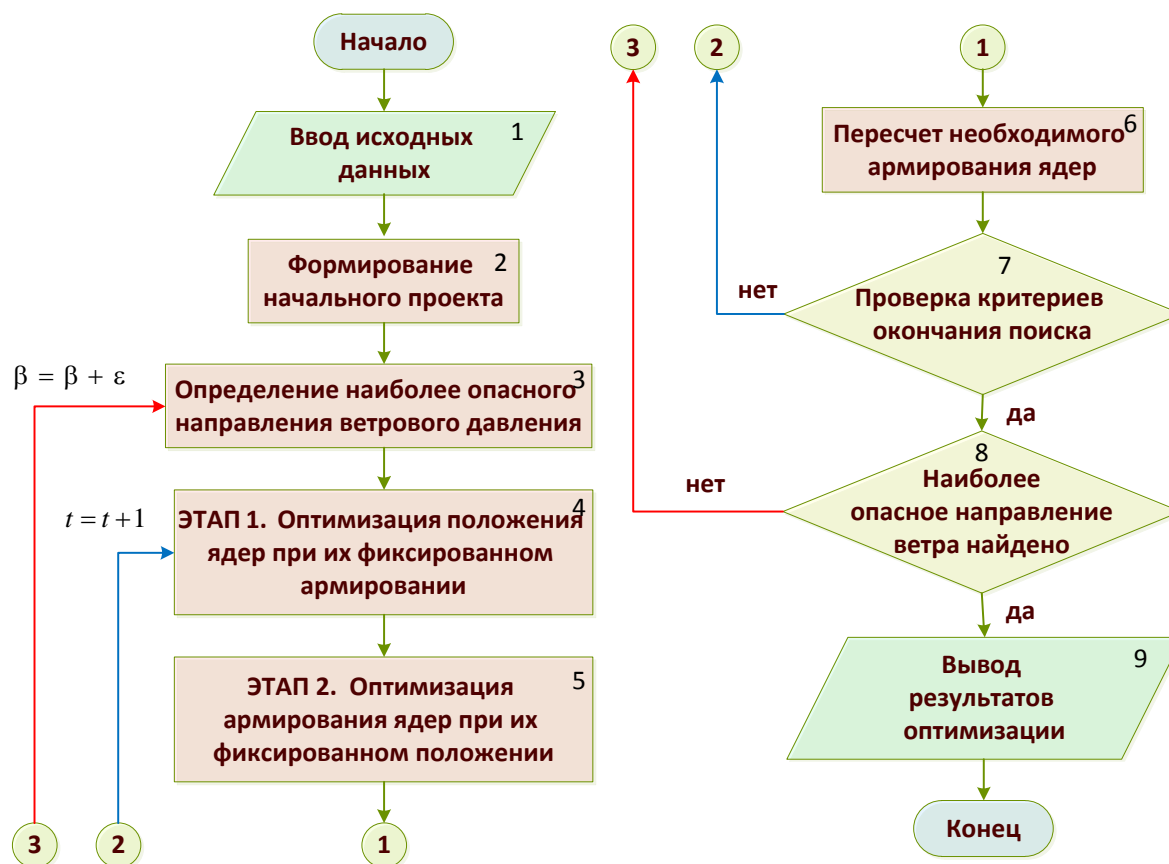
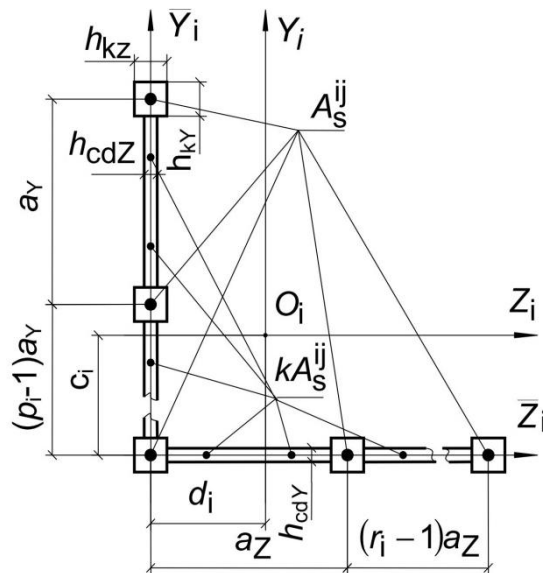


Рисунок 1 – Блок-схема алгоритма оптимизации и расчета ядер жесткости



c_i, d_i – расстояние от центра угловой колонны i -ого ядра жесткости до центра тяжести i -ого ядра жесткости по осям y_i и z_i соответственно; r_i, p_i – количество пролетов между колоннами в направлении осей z_i и y_i соответственно для i -ого ядра; A_s^{ij} – площадь арматуры в колонне i -ого ядра жесткости на j -ом этаже; k – коэффициент, связывающий армирование колонны и стенки ядра жесткости.

Рисунок 2 – Структура произвольного уголкового ядра жесткости

3. Определение наиболее опасного направления ветрового давления. Ветровое давление действует на панели наружных стен, далее через жесткие диски перекрытия нагрузка передается на колонны и ядра каркаса. Жесткость колонн мала по сравнению с жесткостью ядер, поэтому в расчетах ею можно пренебречь. В связи с этим нет необходимости рассчитывать весь каркас здания целиком, достаточно рассматривать только ядра. В алгоритме оптимизации наиболее невыгодное направление ветра определяется методом сгущения сетки [2]. Наиболее опасным направлением ветра считается такое, при котором (для ядер с определенной топологией и расположением в плане) расход арматуры на ядра каркаса оказывается максимальным;

4. Этап 1. Оптимизация положения ядер при их фиксированном армировании. На данном этапе коэффициенты армирования ядер считаются фиксированными. Следовательно, изгибные жесткости ядер не меняются. В начале этапа вычисляются координаты условного центра жесткости здания (центр жесткости ядер).

Целевая функция на первом этапе:

$$f_1(\bar{X}) = e_V^2(\bar{X}) + e_U^2(\bar{X}), \quad (1)$$

где $e_V(\bar{X}), e_U(\bar{X})$ – координаты центра жесткости здания в условных главных осях здания.

Минимум целевой функции на данном этапе приводит к совпадению центра жесткости здания с центром жесткости ядер, что приводит к исчезновению эффекта закручивания здания.

5. Этап 2. Оптимизация армирования ядер при их фиксированном положении. На втором этапе положение ядер жесткости считается фиксированным. В качестве целевой функции на данном этапе принят суммарный расход арматуры на ядра жесткости.

Целевая функция на втором этапе:

$$f_2(X) = \sum_{j=1}^m H_j \sum_{i=1}^n A_k X_{(j-1)n+i} (r_i + p_i + 1 + 2(r_i + p_i)k), \quad (2)$$

где $X_{(j-1)n+i} = \mu^{ij}$, $i = 1, \dots, n$, $j = 1, \dots, m$ - коэффициенты армирования ядер в пределах этажей; k - коэффициент, увязывающий армирование колонн и стенок ядер; H_j - высота j - того этажа здания.

В качестве метода решения данной условно-экстремальной задачи выбран метод подвижного внешнего штрафа, реализованный в программном блоке ВМР [3].

Процедура вычисления необходимых коэффициентов армирования μ^j включает следующие шаги:

- определение изгибных жесткостей ядер в уровнях этажей;
- определение жесткостей кручения здания и нагрузок на ядра жесткости;
- вычисления усилий в сечениях ядер и подбор необходимых коэффициентов армирования ядер в уровнях этажей.

Решение задачи оптимизации армирования ядер жесткости на этапе 2 заключается в поиске минимума целевой функции при соблюдении ограничений по прочности и жесткости ядер.

С применением разработанной программы выполнялось решение прикладных задач оптимизации угловых ядер жесткости. В качестве примера приведем здание со следующими параметрами: высота здания – 60 м, количество этажей – 20, сетка колонн 6 x 6 м, размеры здания в плане 78x84 м (рисунок 3).

В результате расчетов получены оптимальные ориентация и положения ядер жесткости в плане здания, найдено оптимальное армирование ядер (таблица 1). Результаты расчетов свидетельствуют об эффективности разработанного двухэтапного алгоритма оптимизации. Экономия арматуры в оптимальном проекте по положению, ориентации и армированию ядер достигает 55% по сравнению с начальным допустимым проектом и 17,1% по сравнению с проектом, оптимальным по армированию, но не оптимальным по ориентации ядер.

Таблица 1 – Расход стали на ядра каркаса

Начальный проект	Приближенная методика		Точная методика	
	начальная ориентация ядер	оптимальная ориентация ядер	начальная ориентация ядер	оптимальная ориентация ядер
13,824 м ³	8,0429 м ³	6,7582 м ³	7,4006 м ³	6,1310 м ³
107,8 т	62,7 т	52,7 т	57,7 т	47,8 т
100 %	58,2 %	48,9 %	53,5 %	44,3 %

Разработанные методики при их достаточной точности значительно снижают трудоемкость расчета ядер жесткости, по сравнению с существующими программными комплексами, а также позволяют определить наиболее опасное направление ветра на здание.

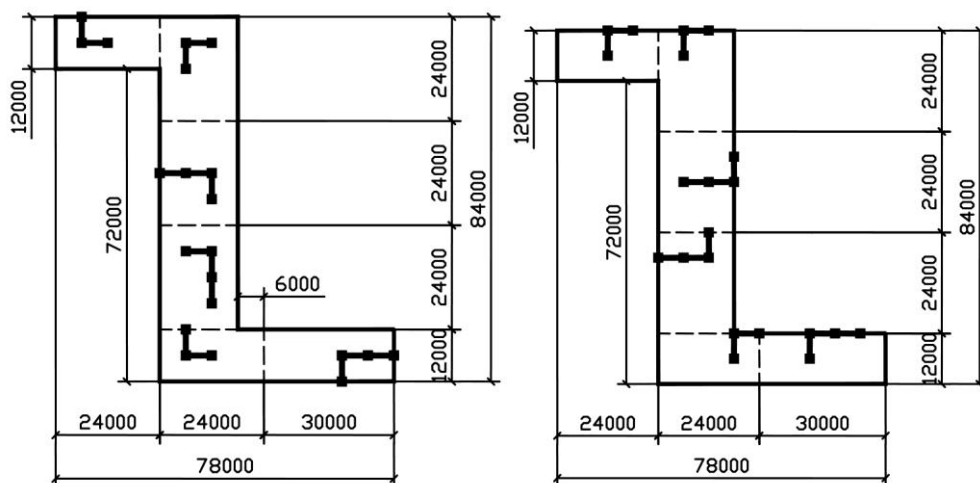


Рисунок 3 – Разбивка плана здания на подобласти, Начальное расположение ядер жесткости (слева). Оптимальное положение ядер жесткости (справа)

Библиографический список

1. Гребенюк, Г. И. Расчет и оптимизация уголковых ядер жесткости связевых железобетонных каркасов высотных, нерегулярных в плане зданий при произвольном направлении ветра / Г. И. Гребенюк, Н. Н. Пантелеев, С. Г. Чапаева // Известия вузов. Строительство. – 2007. – № 12. – С. 4–10.
2. Гребенюк, Г. И. Армирование ядер жесткости связевых железобетонных каркасов при произвольном направлении ветра / Г. И. Гребенюк, С. Г. Чапаева // Роль механики в создании эффективных материалов, конструкций и машин XXI века : труды Всероссийской научно-технической конференции; СибАДИ. – Омск, 2006. – С. 112–115.
3. Гребенюк, Г. И. Разработка расчетных моделей и оптимизация ядер жесткости уголкового профиля связевых железобетонных зданий / Г. И. Гребенюк, Н. Н. Пантелеев, С. Г. Чапаева // Известия вузов. Строительство. – 2008. – № 10. – С. 109–114.

УДК 621.644.07

К ВОПРОСУ О МЕХАНИЧЕСКОМ РАСЧЕТЕ ДЕГАЗАЦИОННЫХ ТРУБОПРОВОДОВ ИЗ СТЕКЛОПЛАСТИКОВЫХ ТРУБ ЗАО НПП «АЛТИК»

Чапаева С.Г., Чапаев Д.Б.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия.*

Аннотация. В программном комплексе *Лира-САПР 2015 Academic Set* смоделирована работа дегазационного трубопровода из стеклопластиковых труб ЗАО НПП «Алтик» при различных нагрузках, диаметрах, длинах пролетов, углах наклона трубы, с шарнирно-подвижным и шарнирно-неподвижным закреплением опор. В результате механического расчета определены прогибы трубопроводов для нахождения максимально-допустимых расстояний между опорами. В статье приведены некоторые результаты расчета.

Ключевые слова: дегазация шахт, дегазационный трубопровод, механический расчет трубопровода, стеклопластиковые трубы, опоры дегазационных трубопроводов.

К одним из самых распространенных современных конструкционных материалов относятся композиты, среди которых можно выделить стеклопластик, главными компонентами которого являются: армирующий материал из тонких высокопрочных стеклян-

ных волокон и синтетическое связующее. Благодаря своим свойствам изделия из стеклопластика нашли применение в целом ряде отраслей.

Трубы из стеклопластика впервые стали использовать в конце 1950-х гг., но они не получили должного внимания по экономическим соображениям. И только в 1980-х гг. на них снова обратили внимание. С тех пор спектр их использования только возрос. На сегодняшний день в промышленности происходит замена устаревших стальных труб на трубы из полимерных материалов.

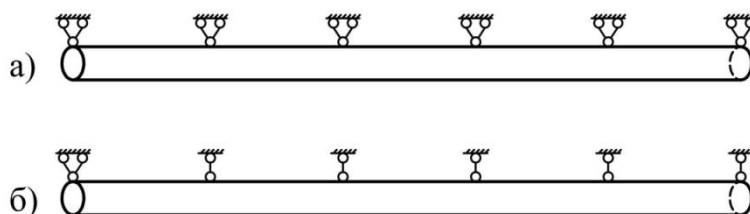
Применение стеклопластиковых труб для дегазации шахт, по сравнению с традиционными металлическими, имеет целый ряд преимуществ: повышение производительности труда монтажников, т.к. стеклопластиковые трубы в 3-4 раза легче стальных; отсутствие коррозии и электрокоррозии; стойкость к агрессивным средам и длительный срок эксплуатации (до 25 лет); отсутствие отложений на внутренней поверхности в течение всего срока службы; низкое сопротивление движению перекачиваемого газа.

В настоящее время встает вопрос о соответствии прочностных характеристик стеклопластиковых дегазационных труб требованиям. В рамках решения данного вопроса по заказу ЗАО НПП «Алтик» выполнен механический расчет дегазационного трубопровода из стеклопластиковых труб указанного предприятия. Расчет выполнялся в программном комплексе Лира-САПР 2015 Academic Set по двум группам предельных состояний (согласно СП 20.13330.2011) при следующих допущениях: не учитывались длительные характеристики стеклопластика (ползучесть и т.п.); не принималась в расчет масса фланцев в связи с их малой величиной; считалось, что прочность соединений труб и участка трубы в месте соединения не меньше прочности основной трубы. Расчетные характеристики материала получали путем деления нормативных на коэффициент надежности по материалу, равный 1,1.

В зависимости от принятой конструкции подвесов трубы к потолку шахтного тоннеля рассматривались две расчетные схемы:

– схема 1 – пятипролетная оболочка с шарнирно-неподвижным закреплением опор (рисунок 1а). Конструкция подвесов: в месте подвеса труба обматывается отрезком резиновой конвейерной ленты, вокруг нее – кольцо из проволоки, которая жестко закручивается сверху трубы; конец проволоки закрепляется на подвесе, заанкеренном в кровле штрека. В данных подвесах запрещены перемещения по трем взаимно-перпендикулярным направлениям;

– схема 2 – пятипролетная оболочка с шарнирно-подвижным закреплением опор (рисунок 1б). Конструкция подвесов: в месте подвеса труба обматывается отрезком резиновой конвейерной ленты, вокруг нее – цепь; в верхние звенья цепи продевается проволока; концы проволоки закрепляются на подвесе, заанкеренном в кровле штрека. Здесь закрепление первой (самой нижней) опоры принято шарнирно неподвижным (запрещены перемещения по трем взаимно перпендикулярным направлениям), в остальных подвесах запрещено перемещение только по вертикали.



а – схема 1; б – схема 2

Рисунок 1 – Расчетные схемы

Длины пролетов оболочки в обеих схемах одинаковые и подбираются по первой (из условия прочности) и второй (по прогибам) группам предельных состояний.

В программном комплексе сформированы следующие загрузки трубопровода: собственный вес трубы и покрытия, архимедова сила, вес сланцевой пыли и конденсата, температурное знакопеременное продольное, динамическая нагрузка от обрушения породы, продольное и поперечное сейсмическое воздействие.

Рассчитывались прогибы (провесы) порожних, нагруженных труб без особых нагрузок (обрушение породы и сейсмические воздействия) и нагруженных труб с особыми нагрузками для определения максимально-допустимых расстояний между пролетами по расчетным схемам (рисунок 1).

В расчете принимался угол наклона трубопровода к горизонту $0^\circ \leq \alpha \leq 18^\circ$, наружные диаметры трубопровода $154 \text{ мм} \leq d_n \leq 495 \text{ мм}$. Толщина стенок труб рассчитана на максимальное внутреннее рабочее давление 1 МПа.

Прочностные и деформационные характеристики стеклопластиковых труб и ряд других исходных данных для расчета взяты из каталога типовых решений для дегазации ЗАО НПП «Алтик».

В качестве примера в данной статье приведены результаты расчета прогибов δ нагруженного трубопровода без учета обрушения породы и сейсмических воздействий для длины пролета 4 м пятипролетной оболочки по обеим расчетным схемам (рисунок 1). Результаты расчета представлены на рисунке 2.

Расчеты показали, что для расчетной схемы 1 зависимости $\delta(d_n)$ при значениях $0^\circ \leq \alpha \leq 18^\circ$ и $154 \text{ мм} \leq d_n \leq 495 \text{ мм}$ укладываются в одну линию на графике, и могут быть описаны уравнением, мм

$$\delta(d_n) = 750,4 d_n^{-1,22} \quad (1)$$

В то же время для схемы 2 значения прогибов заметно зависят не только от диаметра трубы d_n , но и от угла наклона трубы α (линии 2, 3, 4 на рисунке 2). В данном случае получим уравнение поверхности $\delta(d_n, \alpha)$, мм

$$\delta(d_n, \alpha) = (13708 - 504\alpha) d_n^{(0,009\alpha - 1,6)} \quad (2)$$

В формулах (1), (2): d_n – наружный диаметр трубы, мм; α – угол наклона трубопровода к горизонту, градусы.

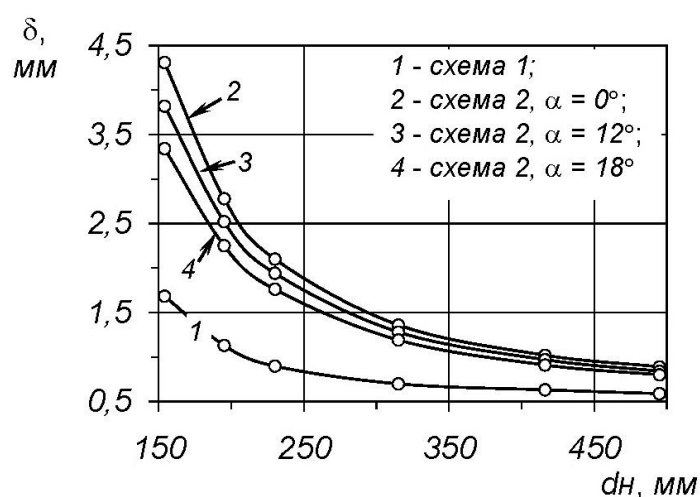
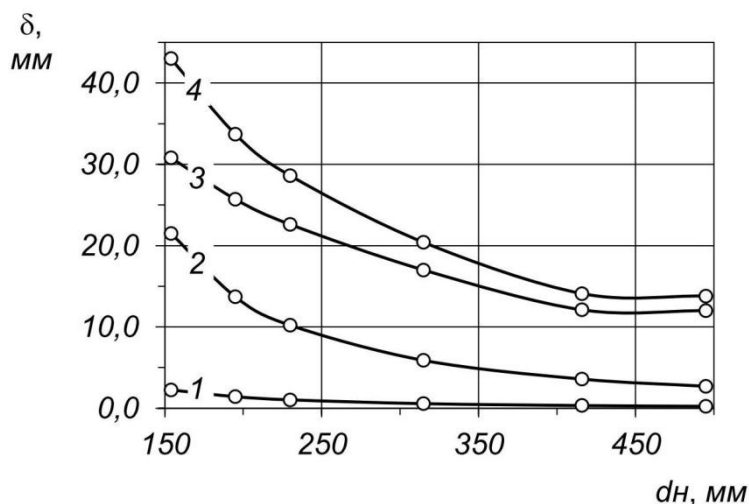


Рисунок 2 – Прогиб нагруженного трубопровода, длина пролета 4 м.

Как видно из рисунка 2, применение шарнирно-неподвижного закрепления опор нагруженного трубопровода дает минимальные прогибы (линия 1). При применении шар-

нирно-подвижного закрепления опор трубы одного диаметра величина прогиба незначительно снижается по мере увеличения угла ее наклона к горизонту.

Также интересно сравнить значения прогибов порожних и загруженных (без особых нагрузок и с особыми нагрузками) дегазационных трубопроводов, для чего в качестве примера представлены результаты расчета для длины пролета 6 м пятипролетной оболочки по расчетной схеме, показанной на рисунке 1б (схема 2). Результаты расчета – на рисунке 3.



1 – порожний; 2 – загруженный без особых нагрузок; 3 – загруженный с особыми нагрузками, при $\alpha = 18^\circ$; 4 – загруженный с особыми нагрузками, при $\alpha = 0^\circ$;

Рисунок 3 – Прогиб трубопровода, длина пролета 6 м.

В данном случае значение прогиба для порожнего трубопровода при $154 \text{ мм} \leq d_n \leq 495 \text{ мм}$ и $0^\circ \leq \alpha \leq 18^\circ$ (для порожних труб значение прогиба очень мало зависит от угла наклона, по этому линия 1 на рисунке 3 принята при $\alpha = 0^\circ$, при котором значение прогиба несколько больше) можно определить из выражения, мм

$$\delta(d_n) = 35448 d_n^{-1,92} \quad (3)$$

Для загруженного трубопровода без особых нагрузок (линия 2 рисунка 3) при тех же самых условиях, мм

$$\delta(d_n) = 160157 d_n^{-1,774} \quad (4)$$

Для загруженного трубопровода с особыми нагрузками (линии 3, 4 рисунка 3) прогиб есть функция от диаметра трубы и угла наклона трубы, мм

$$\delta(d_n, \alpha) = (7697,3 - 290,07 \alpha) d_n^{(0,0091\alpha - 1,031)} \quad (5)$$

В формулах (3)–(5): d_n – наружный диаметр трубы, мм; α – угол наклона трубопровода к горизонту, градусы.

Из рисунка 3 следует увеличение значения прогиба трубы одного диаметра при увеличении нагрузки, при этом в случае особых нагрузок прогиб имеет обратную зависимость от угла наклона трубы.

В программном комплексе Лира-САПР 2015 Academic Set смоделирована работа дегазационного трубопровода из стеклопластиковых труб при различных статических и динамических нагрузках, диаметрах трубы $154 \text{ мм} \leq d_n \leq 495 \text{ мм}$, разных длинах пролетов, углах наклона трубы $0^\circ \leq \alpha \leq 18^\circ$, с шарнирно-подвижным и шарнирно-

неподвижным закреплением опор. На рисунке 4 показана мозаика напряжений, действующих вдоль трубы $\varnothing 495 \times 6$ мм, для крайнего пролета пятипролетной оболочки с длиной пролета 6 м. и расчетной схеме, показанной на рисунке 1б, при значении равномерно-распределенной по горизонтальной проекции участка трубы длиной 0,5 м. приведенной статической нагрузки от падения груза 55,45 кН/м.

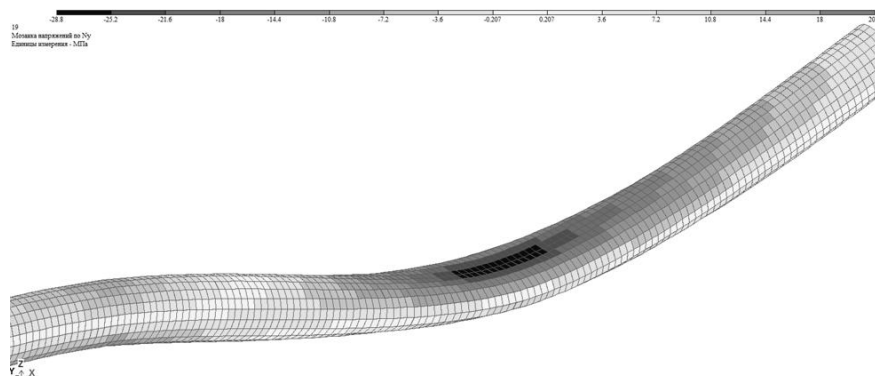


Рисунок 4 – Мозаика напряжений для крайнего пролета, $\varnothing 495 \times 6$ мм, длина пролета 6 м.

В ходе исследования получены расчетные зависимости для различных вариаций исходных данных, а также даны рекомендации по монтажу стеклопластиковых дегазационных трубопроводов, в частности – максимально-допустимые расстояния между опорами трубопроводов разных диаметров.

УДК 620.162.4:621.643.2-036.5

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН НАРУШЕНИЯ РАБОТЫ ПЛАСТИКОВЫХ ТРУБ СИСТЕМЫ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ БЫТОВЫХ ВОД УГОЛЬНОГО РАЗРЕЗА

Котлярова Т.В., Зайцева Л.Г.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
Новокузнецк, Россия, kotlyarova.tata@gmail.com*

Аннотация. В данной статье рассмотрены причины деформаций и нарушение работы пластиковых труб системы очистных сооружений после выполнения обратной засыпки.

Ключевые слова: нарушение работы пластиковых труб, системы очистных сооружений, обратная засыпка, деформация оболочки пластиковых труб.

Данное сооружение выполнялось на площадке разреза «Березовский». Был откопан котлован на глубину 5 м под монтаж конструкций из пластиковых ёмкостей. Подготовка котлована под монтаж оболочек начата в сентябре 2012 года. Выполнен ленточный фундамент, на который были смонтированы пластиковые трубы диаметром 2 метра и толщиной стенок 12 мм. Обратная засыпка котлована грунтом выполнялась с перерывом работ на зимнее время. Крайние ёмкости по осям были отсыпаны грунтом в ноябре 2012 года, остальные оставались открытыми до мая 2013 года (согласно акту приемки работ). Первые деформации в оболочках емкостей произошли после начала оттаивания грунта обратной засыпки сверху и сбоку. Постепенное увеличение нагрузки по мере оттаивания грунта сопровождалось ростом напряжений и деформаций оболочки, произошло выпучивание боковых стенок. Обратная засыпка ускорила процесс нарастания деформаций в оболочке. В проектной и рабочей документации отсутствуют решения по обратной засыпке ёмкостей очистных сооружений (толщины слоев отсыпки, способы уплотнения, условия монтажа стеклопластика при отрицательных температурах и др.)

Были взяты образцы грунта и проведены испытания в лаборатории «Механика грунтов» в СибГИУ. Компрессионные испытания грунта проведены в уплотнителях системы Гидропроекта на образцах естественной структуры и природной влажности без предварительного уплотнения по схеме консолидированного среза. Данные приведены в табл. 1, 2.

Таблица 1 – Физические характеристики грунта

№ испыт.	W, %	ρ , г/см ³	ρ_s , г/см ³	ρ_d , г/см ³	e	n
1	28,88	1,94	2,69	1,53	0,758	0,43
2	26,93	1,94	2,62	1,51	0,735	0,42
3	27,95	1,92	2,63	1,51	0,741	0,42
средн.	27,92	1,93	2,65	1,52	0,745	0,423

Коэффициент пористости:

$$e_0 = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_d} = 0,743,$$

степень влажности грунта

$$S_R = \frac{W \cdot \rho_s}{e \cdot \rho_w \cdot 100} = 0,9 - \text{грунт водонасыщенный.}$$

Число пластичности грунта $I_p = 6$, показатель текучести $I_L = 0,75$ - грунт текуче-пластичный, согласно СП 22.13330.2011 табл. Б.2 значение удельного сцепления $c = 11$ кПа и угла внутреннего трения $\varphi = 21^\circ$.

Таблица 2 – Деформативные характеристики грунта

Давление P_i , кгс/см ²	Деформация образца Δh_i , мм	Изменение пористости $\sum = \frac{\Delta h_i}{h}$	Коэффициент пористости e_i	Коэффициент сжимаемости m_o	Модуль деформации E	Коэффициент относительной сжимаемости m_v
0,5	0,73	0,0208	0,705	0,072	13,9	0,044
1,0	1,36	0,039	0,673	0,064	15,6	0,038
1,5	1,82	0,052	0,650	0,046	21,7	0,027

По проекту требуется вести отсыпку «мягким грунтом», по факту обратная засыпка выполнена крупнообломочным грунтом. В зонах растяжения в кольцевом направлении составило 50,8 мПа < [55,5 мПа], в меридиональном направлении оболочки в зоне растяжения 28,8 мПа > [10,04 мПа]. Для варианта фактической засыпки крупнообломочным грунтом в зоне растяжения максимальные напряжения в меридиональном направлении составили 29,8 мПа > [10,04 мПа].

В ходе проделанной работы сделаны следующие выводы: в кольцевом направлении оболочка работоспособна, в меридиональном направлении растягивающие напряжения выше предела прочности.

Библиографический список

1. Свод правил : Основания зданий и сооружений: : СП 22.13330.2011: СНиП 2.02.01-83*Актуализированная редакция: введ.20.05.2011 / Минрегион России. – Изд. офиц. – М. : Минрегион России, 2011. – 161 с.

СЕКЦИЯ 4. АРХИТЕКТУРНОЕ НАСЛЕДИЕ: ВЧЕРА, СЕГОДНЯ, ЗАВТРА

УДК 622.6

АРХИТЕКТУРНОЕ НАСЛЕДИЕ ГОРОДА ОРЕНБУРГА С СЕРЕДИНЫ XVIII ВЕКА

Климова Ю.В.

*ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет»,
г. Оренбург, Россия, yulia-mia@rambler.ru*

***Аннотация.** На сегодняшний день архитектура города Оренбурга по большому счету не изучена. Город основывался как один из последних городов-крепостей, направленный на защиту страны от набегов башкир. В последствии функция города сменилась с оборонительной на торговую и Оренбург стал мостиком между Азией и Европой, что не могло не сказаться на его архитектуре. Большая часть построек эпохи классицизма сохранилась в хорошем состоянии. Таким образом, город представляет собой большой интерес в архитектурном плане.*

***Ключевые слова:** архитектура, Оренбург, исторический обзор, этапы формирования архитектурного облика.*

Российские города отличаются друг от друга большим своеобразием архитектурных обликов. На развитие уникальных стилей городов оказывали влияния и природно-климатические условия, и их функциональная направленность, и национальный состав поселений. Каждый город страны по своему уникален и интересен с точки зрения истории архитектуры.

Город Оренбург образован в 1743 году по указу императрицы Елизаветы Петровны на месте слияния рек Яик (Урал) и Сакмары. За весь период существования в городе сформировался уникальный архитектурный облик, на который большое влияние оказал его многонациональный состав. Историческая часть города сохранилась в прекрасном виде, за исключением крепости, в пределах которой развивалось первоначальное поселение. Но исходная градостроительная ситуация и облик улиц XVIII-XIX веков отчетливо читаются в современной структуре города.

Задумывавшийся как торговый пункт на пути между Европой и Азией, архитектурный облик Оренбурга сочетает в себе черты обеих частей света, что придает ему своеобразие и неповторимость. Большое влияние на нее оказал многонациональный состав поселения и политика местных властей по примирению представителей разных конфессий средствами архитектуры. В реалиях современного мира такой опыт мог бы быть полезен в развитии архитектуры в целом.

Город Оренбург значим не только с точки зрения архитектуры, но и в историческом контексте. Действие знаменитого романа А.С. Пушкина «Капитанская дочка» непосредственно связаны с Оренбургом – последняя битва Пугачева проходила именно в стенах этой крепости. А.С. Пушкин лично приезжал в город для исследования, что увековечено в памятниках города. Так же в городе учился первый космонавт России – Ю.А. Гагарин и здание бывшего летного училища является одной из архитектурных достопримечательностей города. Таким образом, город обладает высокой историко-культурной значимостью и требует подробного изучения.

История возникновения города-крепости на реке Урал (историческое название реки - Яик) берет свое начало с образования в 1734 г. Оренбургской экспедиции по распоряжению обер-секретаря сената И.К. Кириллова. Целью ее создания было установление прочных торговых связей с Бухарой, Водокшаном, Балхом и Индией. Таким образом, обозначилась одна из главных исторических функций города – торговая. На появление второй исторической функции города – оборонительной – повлияли исторические собы-

тия тех лет. В 1730-х годах башкиры, находившиеся на юго-восточной границе Оренбургской губернии, подняли ряд восстаний и мятежей против российской власти. Поэтому одной из обязанностей Оренбургской комиссии стало подавление этих восстаний. И первым мероприятием для этого стало создание города-крепости (ныне город Орск) у слияния рек Ори и Яика в 1735 году. Данное место выбиралось не случайно. В 1731 году младший жуз казахов изъявил желание присоединиться к России и в качестве вознаграждения попросил построить город-крепость на выбранном им месте на что получил согласие императрицы Анны Иоанновны. Проект данной крепости имел радиально-кольцевую планировку, традиционную для городов России и очертания крепости были максимально приближены к правильной окружности (рисунок 1). На этом месте город просуществовал 6 лет.

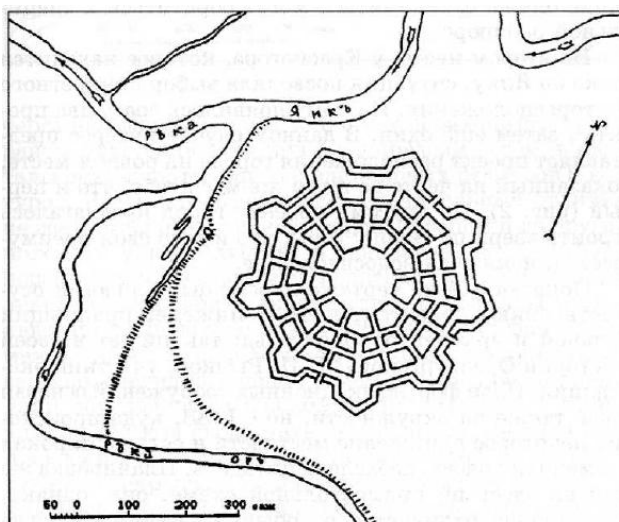


Рисунок 1 – Первая планировка города Оренбурга, ныне города Орска

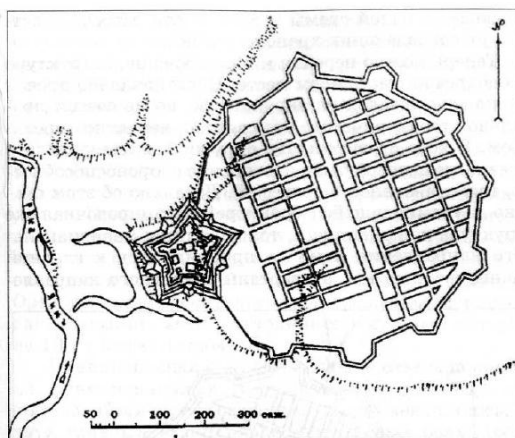


Рисунок 2 – Второй генеральный план города у села Красногор

Приказ о втором основании города отдал новый руководитель Оренбургской экспедиции В.Н. Татищев. Новое место располагалось ниже предыдущего по реке Яик. Авторам проекта был архитектор Карл Лейтгольд (рисунок 2) и особенностью планировочной структуры было расположение крепости на возвышении, что имело свои фортификационные преимущества. Недостатком было затруднительное устройство систем канализации и водоснабжения. Крепостные стены так же стремились по форме к правильной окружности, но внутренняя планировочная структура уже становится регулярной [1].

Анализируя данные планировочные структуры можно провести параллель с планировками идеальных городов, которые представлены на рисунке 3.

Сходство планировочных структур очевидно и можно сделать вывод о том, что проектирование первых крепостей города Оренбурга тесно связано с теоретическими поисками мастеров европейского возрождения.

Третьим руководителем Оренбургской экспедиции становится И.И.Неплюев (пленец гнезда петрова, моряк, дипломат, государственный деятель и тайный советник). С его именем связано появление третьего, окончательно планировочного решения города на новом месте слияния рек Яик и Сакмара. Планировочное решение было разработано лично будущим первым губернатором Оренбургского края и утверждено императрицей Елизаветой Петровной. В проектировании и строительстве крепостных укреплений принимали участие капитан артиллерии Лука Галофеев и инженер-прапорщик Василий Тельной [1].

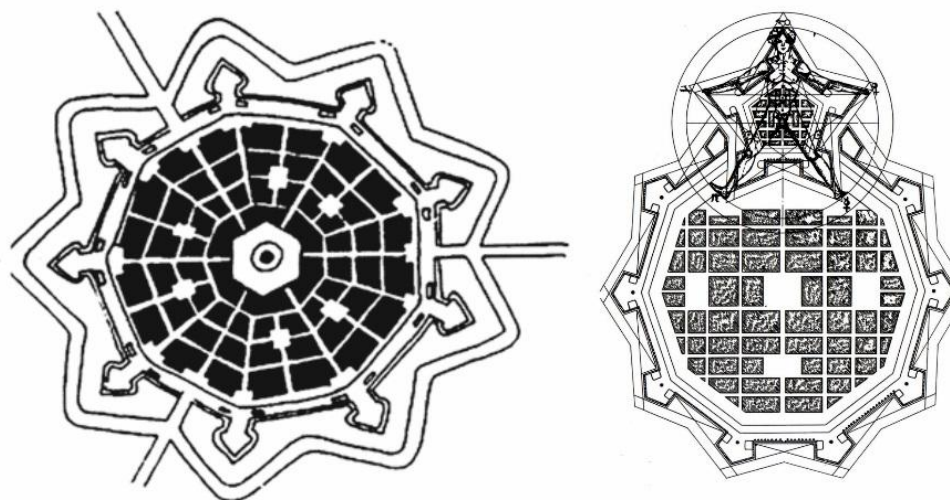


Рисунок 3 – Планировки идеальных городов В. Скамоцци и П. Катанео

Именем военного инженера Галофеева назван один из северо-восточных бастионов крепости. Ещё один бастион получил имя инженера-генерала фон Штокмана — строителя крепостных укреплений. Известно, что при губернаторе И.И. Неплюеве в исполнении проектов крепостей Оренбургской военной линии участвовал военный инженер Михаил Борисов.

Планировка и размеры (площадь примерно 280 га) города-крепости уникальны для русского градостроительства XVIII–XIX веков [2]. Таких больших крепостей не строили в России ни до, ни после Оренбурга. Единственный аналог в российском градостроительстве XVIII века — нереализованный генеральный план Санкт-Петербурга Жана-Батиста Леблона (1717 год). Планировка Оренбурга отражала новые тенденции русского градостроительства, появившиеся в XVIII веке, а именно:

- принцип регулярности планировки, основанный на геометрии прямого угла;
- симметричное расположение комплексов зданий;
- обязательная центральная площадь.

Разработанный план города затем «привязывался» к существующему рельефу. Особенности планировки Оренбурга, придавшими ему неповторимость, стали размещение губернаторского дома, губернского правления и губернской канцелярии не в геометрическом центре, а на живописном высоком берегу Урала. В Оренбурге не было кремля (как в древнерусских городах), следовательно, не было и сгруппированных в центре вертикалей церквей и храмов; высотные доминанты церквей располагались «ожерельем» по периметру крепости, ближе к крепостным валам; широкие площади, окружающие каждую из церквей, выделяли живописные церковные ансамбли среди малоэтажной за-

стройки; в отличие от древнерусских городов силуэт Оренбурга даже понижался от периферии к центру. Более того при планировке города учитывались оборонительные особенности. Дело в том, что в городе от въездных бастионов вела только одна полностью прямая улица, а остальные в некоторых местах прерывались сдвигками кварталов. Это обосновывалось тем, что атаки конной армии хороши только на прямых траекториях. Как только конница сталкивается с преградой и вынуждена поворачивать, ее боевой потенциал снижается. Именно из этого расчета и исходили создатели планировочной структуры города.

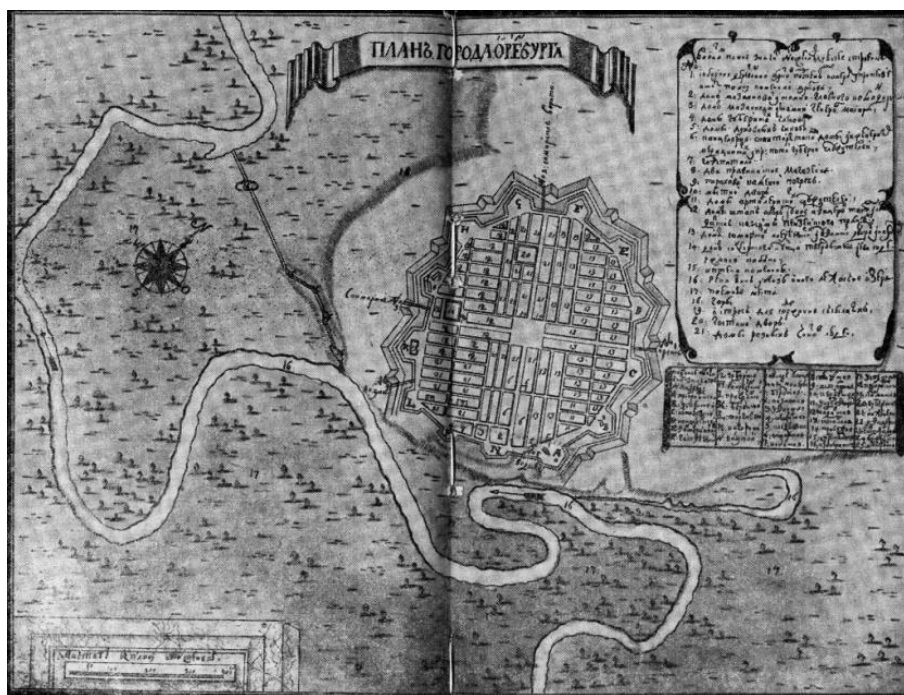


Рисунок 4 – Итоговая планировочная структура города Оренбурга конца XVIII века

Таким образом, крепость города Оренбурга является уникальным образцом планировочной структуры XVIII века.

В истории развития города Оренбурга можно выделить 5 периодов ее формирования с момента основания крепости (1743 год) до современного этапа:

1. 1733-1788 гг. Данный период берет свое начало с основания первого города крепости и завершается масштабным пожаром 1788 года. Архитектура этого периода практически не сохранилась. Об облике города можно судить только по архивным записям. В основном постройки были одно- и двухэтажные, деревянные. Это объясняет причину, по которой здания до нас не дошли. В основном город носил военный, аскетичный характер.

2. 1788-1880 гг. - Данный период начинается после пожара 1788 года, при котором было уничтожено большинство первоначальных построек города, и заканчивается в 1863 году, когда крепость была упразднена и крепостные стены разобраны. В этот период происходит становление архитектурного облика исторического центра города. Увеличивается этажность застройки, вдоль главной улицы фасады начинают принимать парадный вид. Этим ознаменован отход от военно-утилитарной направленности города. Подъем строительства во многом связан с именами генерал-губернатора В.А. Перовского (внебрачный сын графа А. Разумовского) и архитектора А.П. Брюллова (старшего брата художника К.П. Брюллова). Именно Перовским задано главное направление в архитектуре города на ближайшее время – соединение в себе черт восточной и западных культур. Генерал-губернатор как никто другой понимал необходимость примирения многонационального и многоконфессионального населения города. Способом решения этой пробле-

мы он выбирает архитектуру – соединение в облике здания черт восточной и западной архитектур (рисунки 5,6).

3. 1884 год – начало XX века - Появление нового исторического этапа развития архитектуры города Оренбурга связано с упразднением крепости. С отменой крепостного права надобность в оборонительном сооружении вокруг города отпала. Так как большому количеству освободившихся крепостных требовался строительный материал для нового жилого строительства, то крепость разобрали по кирпичам. С этого момента исторический центр города начинает застраиваться большим количеством жилых построек в так называемом кирпичном стиле. Так как внешний вид жилой застройки был неподконтролен местному управлению, то архитектура жилых особняков стала приобретать провинциальный характер – форма здания не отличалась от простого прямоугольного объема и выделялась за счет декоративной отделки фасада, красота которой определялась уровнем достатка владельца (рисунок 7 А). Кроме кирпичного стиля, в городе стала преобладать эклектика.

4. Начало XX века – 1917 г. - Во второй половине первого десятилетия XX века в архитектуре Оренбурга появился стиль модерн (рисунок 7 Б). Стиль этот наилучшее отражение получил в особняках. Этот стиль не скрывал материала своей постройки. Модерн скорее понимался под способом украшения здания, нежели полноценное использование этого стиля. В целом в декоре модерна – культ гибкой и текучей линии [4].

5 Советский период - Период установления новой власти сказывается застоем в архитектуре города. В период с 1917 по 1925 годы строительство занимается исключительно возведением жилья. Первое значимое сооружение появляется только в 1925 году и им становится водонапорная башня. По характеру этого сооружения можно сделать вывод о том, что за почти десятилетний период кардинально нового стиля архитектуры не сложилось. Эклектика, начинавшая свое развитие еще до революции, продолжила свое господство в архитектуре города.



Рисунок 5 – Караван Сарай, архитектор А.П. Брюллов

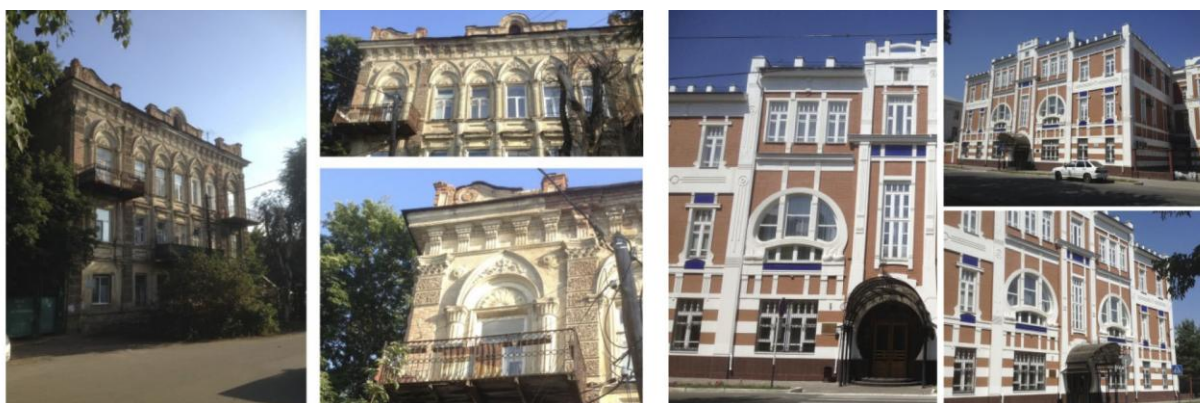
На сегодняшний день городские власти стремятся реконструировать или воссоздать утраченные исторически значимые архитектурные объекты. Так, был восстановлен главный кафедральный собор города, но уже на другом месте. На сегодняшний день собор украшает Степной район города, который из-за своей удаленности от центра лишен зрительных доминант. Новый собор во многом утратил свое изящество, но архитекторы постарались сохранить исходные пропорции и передать внешний облик здания. Перед собором предусмотрено место под парковое благоустройство. Большинство утраченных церквей находятся в процессе реконструкции.



А

Б

Рисунок 6 – Гауптвахта (А), Здание духовной семинарии (Б)



А

Б

Рисунок 7 – Здание посольства Бухары (А), здание банка (Б)

Библиографический список

1. Дорофеев В.В., Архитектура г. Оренбурга XVIII-XX веков/ Дорофеев В.В., ОАО «Издательско-полиграфический комплекс «Южный Урал», 2007. – 176 с.
2. Барановский Г.В., Архитектурная энциклопедия второй половины XIX в. В 7 т. Т. 2, ч. 2. Общественные здания/ Барановский Г.В. – Спб.: Изд. ред. журн. «Строитель», 1908. – 297 с.
3. Шумилкин С.М., Торговые центры европейской части России второй половины XIX - начала XX века. Типология, география, структур, монография / Шумилкин С.М., Нижегород. гос. архит.-строит. ун-т; - Н. Новгород: ННГАСУ, 2013. – 239 с.
4. Найданов Г.А., Савин В.В., Глошкина А.А., Модерн Оренбурга/ Найданов Г.А., Савин В.В., Глошкина А.А., ООО «Оренбургское книжное издательство», 2007. – 112 с.

НЕОБХОДИМОСТЬ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАСШИРЕНИЯ РЫНКА МЕЛКОШТУЧНЫХ СТЕНОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА СОВРЕМЕННОГО ЖИЛЬЯ

Шевченко В.В., Столбоушкин А.Ю., Семин А.П.

*ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»,
г. Новокузнецк, Россия, vikashev1993@mail.ru*

***Аннотация.** Рассмотрена проблема комплексной застройки жилого фонда промышленных городов России, и необходимость обеспечения граждан доступным и комфортным жильем и повышению качества жилищно-коммунальных услуг. В связи с этим предложено малоэтажное жилищное строительство с использованием мелкоштучных керамических материалов на основе техногенного сырья.*

***Ключевые слова:** тип жилья, малоэтажное жилищное строительство, промышленные отходы, керамические стеновые материалы*

Во втором десятилетии XXI века значительно изменился облик городов нашей страны по сравнению с архитектурой 80-90-х годов. Это обусловлено рядом причин, основными из которых являются изменение подходов при проектировании городских микрорайонов с созданием обособленных жилищных комплексов, что предполагает использование комплексной застройки и увеличение объемов строительства нетиповых объектов. В качестве других причин можно отметить и «активное» создание новых видов стеновых материалов, и значительное ужесточение требований к теплозащите объектов, и инновационные подходы при разработке конструктивных систем и оформлении фасадов зданий. В связи с этим наращивание производства мелкоштучных стеновых материалов для строительства современного жилья очень актуально и в ближайшей перспективе потребует решения комплекса проблем, включающего также улучшение качества изделий и расширение их ассортимента.

Указанные причины способствовали «появлению на свет» новых проектов и типов жилья [1]. В таблице 1 приведен сравнительный анализ потребительских качеств различных типов жилья. Большую часть жилого фонда российских городов составляет массовая типовая застройка многоквартирными крупнопанельными домами, имеющая гипертрофированный масштаб и скудный набор объемно-планировочных и конструктивных решений, что характерно как для панельных «пятиэтажек», так и для многоэтажных домов, построенных в более позднее время.

Еще одним тревожным фактором является техническое состояние панельных зданий. По данным фонда «Инициатива «Жилищное хозяйство Восточной Европы» (IWO) из 3 млрд. квадратных метров жилья в России в срочной реконструкции нуждаются более половины [2]. Эта проблема, с одной стороны, связана с тем, что панельное домостроение первоначально относилось к разновидности «быстро и дешево», причем недочеты и нарушения в процессе их строительства не только не устранялись, но и даже скрывались перед сдачей объекта в эксплуатацию. С другой стороны, «конструктивным недостатком» панельных домов, как показала эксплуатация, могут стать стальные связи между панелями из-за нарушения герметичности швов. Коррозия, ослабление связей вследствие вибрационных и различных других силовых и не силовых воздействий приводят к тому, что после 50 лет «жизни» домов их прочность и устойчивость не удовлетворяют требованиям эксплуатации [3].

Тема доступного и комфортного жилья стала одной из ключевых в предвыборной программе В. В. Путина, что послужило толчком к подписанию в мае 2012 г. Указа «О мерах по обеспечению граждан РФ доступным и комфортным жильем и повышению качества жилищно-коммунальных услуг», согласно которому, до 2020 г. необходимо пре-

доставить доступное и комфортное жилье 60 % российским семьям, желающим улучшить свои жилищные условия. Для достижения поставленной цели необходимо снизить стоимость 1 кв. м жилья на 20 % путём увеличения объёма ввода в эксплуатацию жилья экономического класса [4]. С этой целью Минстроем РФ с 2014 г. реализуется программа «Жильё для российской семьи», одним из целевых показателей которой является строительство не менее 25 млн. кв. м общей площади такого жилья к 2018 г.

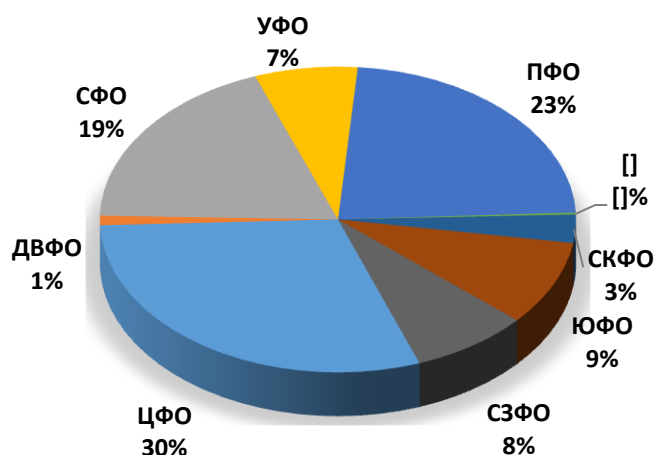
Таблица 1 – Сравнительный анализ потребительских качеств различных типов жилья

Критерии оценки	Тип жилья		
	Кирпичный	Монолитный	Панельный
Цена на первичном рынке	Высокая. Высокая себестоимость дома. Дефицит кирпичных домов на рынке. Массовое строительство невозможно, так что цена на такие дома будет расти и дальше.	Выше среднего. Вне зависимости от масштабов строительства будет стабильная относительно высокая себестоимость «коробки». Квартиры дороже из-за больших площадей квартир. Доплата за престижность. Затраты на отделку.	Средняя. Более низкая себестоимость «коробки» здания, дающая возможность ставить низкие цены при массовом производстве. Серьезная экономия на отделке. Можно найти небольшие площади квартир.
Уровень комфорта	Высокий. При надлежащем качестве строительства и современных планировках.	Высокий. При соблюдении технологии строительства и качества материалов.	Средний. В домах современных серий.
Архитектура	Как индивидуальная, так и типовая. Максимальная этажность 14 этажей.	Индивидуальная. Определяется запросами застройщика. Этажность любая.	Типовая. Последние серии отличает архитектурное разнообразие. Максимум 19 этажей.

Переход к малоэтажному жилищному строительству соответствует социальным процессам, протекающим в обществе. Распространение получает процесс «субурбанизации» ведущий к оттоку населения из городов в их развивающиеся пригородные зоны. Движущей силой процесса является переуплотненность территорий, предрасположенность к повышению уровня комфортности жилищных условий, высокие цены на аналогичную недвижимость в городской черте, ухудшающаяся экологическая обстановка, стремление к проживанию в социально однородной среде. Потребители в зависимости от уровня благосостояния предъявляют требования по качеству и комфортности к объектам недвижимости. Для удовлетворения жилищных потребностей человека ООН и ЮНЕСКО разработали международный стандарт качества жилья. Этим стандартом определяется, что на каждого жителя должно приходиться не менее 30 кв. м общей площади, в России этот показатель равен 18 кв. м, при количественном составе семьи в 3 человека. Международным стандартом предусматривается, что каждый член домохозяйства нуждается в одной индивидуальной комнате, и еще минимум две комнаты предназначаются для совместного пребывания. Соответствие рынка жилья России таким требованиям возможно только посредством малоэтажного жилищного строительства [5].

Проведенный развернутый анализ сложившейся ситуации на рынке жилья в современной России показывает необходимость расширения рынка мелкоштучных стеновых материалов. Традиционно лидирующие позиции в этом сегменте рынка занимают керамические изделия.

Размещение производственных мощностей по выпуску керамического кирпича по территории страны в процентном отношении, приведено на рисунке 1. Основными регионами размещения производственных мощностей являются Центральный, Приволжский и Сибирский федеральные округа, на долю которых суммарно приходится свыше 72 %.



Условные обозначения Федеральных округов России: ЦФО – Центральный; ДВФО – Дальневосточный; СФО – Сибирский; УФО – Уральский; ПФО – Приволжский; КФО – Крымский; СКФО – Северо-Кавказский; ЮФО – Южный; СЗФО – Северо-западный

Рисунок 1 – Региональная структура размещения производственных мощностей по выпуску керамического кирпича в 2015 г. (по данным Росстата, оценка «ГС-Эксперт»)

После существенного падения объемов производства керамических стеновых материалов в кризис 2009 г., начиная с 2010 г. выпуск продукции стал быстро восстанавливаться и уже в 2011 г. существенно превысил докризисный уровень [6]. Положительная динамика сохранялась вплоть до 2014 г., однако темпы роста производства в 2013-2014 гг. существенно снизились. По итогам 2015 г. в отрасли отмечено 10 % снижение объемов производства товарной продукции впервые с 2009 г., это 7609 млн. шт. усл. кирпича товарной продукции за год [6].

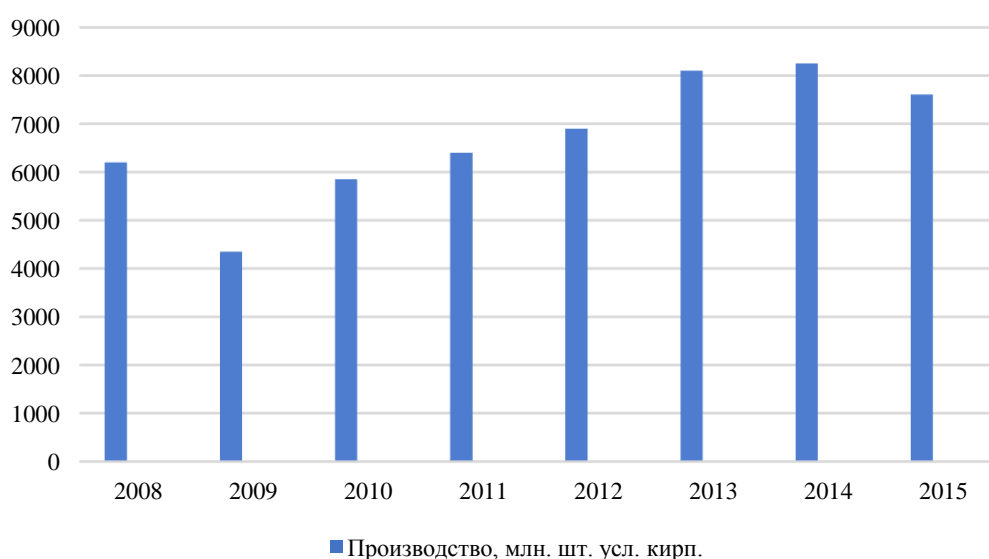


Рисунок 2 – Объемы производства керамических стеновых материалов в 2008-2015 гг. (по данным Росстата, оценка «ГС-Эксперт»)

Оценка региональной структуры потребления керамического кирпича и блоков в России проводилась на основе комплексного анализа с учетом данных об объемах производства анализируемой продукции и конкурирующих продуктов, объемах межрегиональных поставок, объемах внешнеторговых операций, объемах строительных работ, структуре строительства жилых домов по материалам стен и этажности. В 2015 г. в семи из девяти федеральных округов наблюдался дефицит керамических стеновых материалов, покрываемый преимущественно за счет поставок из других регионов России, а также за счет импорта. Наибольшие объемы потребления керамического кирпича и блоков характерны для Центрального, Приволжского и Сибирского федеральных округов, на долю которых суммарно приходится более половины от общероссийского потребления этой продукции (рисунок 3) [7].

Обозначенная необходимость наращивания производства стеновых керамических материалов в условиях выработки природных месторождений кондиционного глинистого сырья требует расширения сырьевой базы за счет поиска новых видов сырья, включая минеральные промышленные отходы.

Авторами в качестве объектов исследования были выбраны следующие виды техногенного и природного сырья: углеотходы Абашевской ЦОФ (Кемеровская обл.); отходы обогащения углистых аргиллитов Коркинского месторождения (Челябинская обл.); опока Шевченковского месторождения (Ростовская обл.); диатомит Инзенского месторождения (Ульяновская обл.); шлам отходов обогащения железных руд Абагурской обогатительно-агломерационной фабрики (АОАФ) г. Новокузнецк [8].

Для получения кирпича из отходов с заданными эксплуатационными свойствами необходимо использовать новые технологические подходы на различных этапах его производства. В результате многолетних исследований А.Ю. Столбоушкиным были разработаны научные основы производства стеновых керамических материалов с матричной структурой на основе техногенного сырья, которые позволили увеличить содержание промышленных отходов до 70-80 мас. % в составе шихты. Для этого сырьевые материалы подвергаются сушке и помолу до класса -0,315 мм с последующей грануляцией порошков на турболопастном смесителе-грануляторе ТЛ-020 К01 ООО «Дзержинсктехномаш» до получения гранул преимущественного размера 1-3 мм [9].

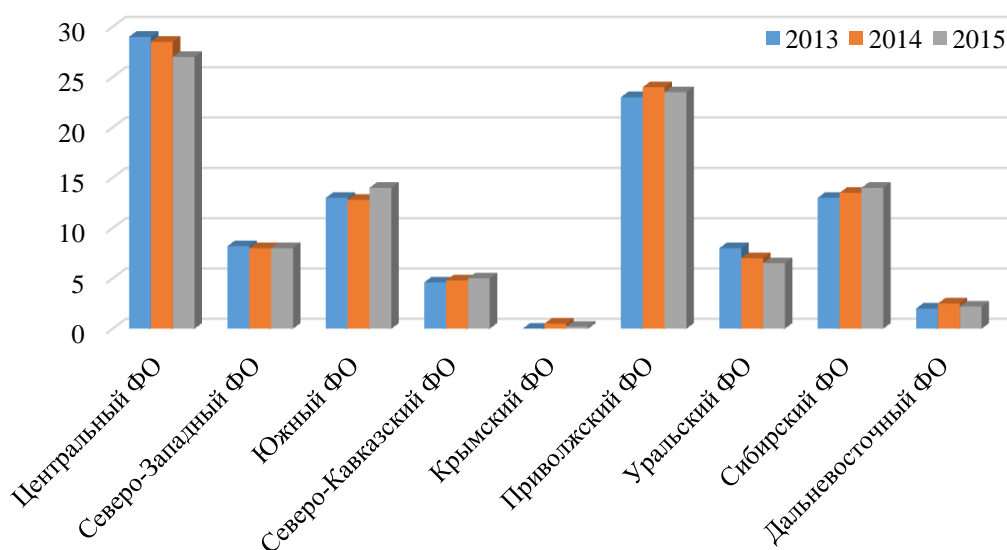


Рисунок 3 – Структура потребления керамических стеновых материалов в разрезе федеральных округов в 2013–2015 гг. (по данным Росстата, оценка «ГС–Эксперт»)

Результаты оптимизации параметров грануляции приведены на примере диатомита, выбранного в качестве эталона непластичного дисперсного материала. Регулирование фракционного состава материала производилось за счет изменения скорости вращения лопастей смесителя-гранулятора ($V_{тл}$) и количества воды (W). Параметры грануляции, результаты рассева и внешний вид полученного гранулята приведены в таблице 2 и на рисунке 4.

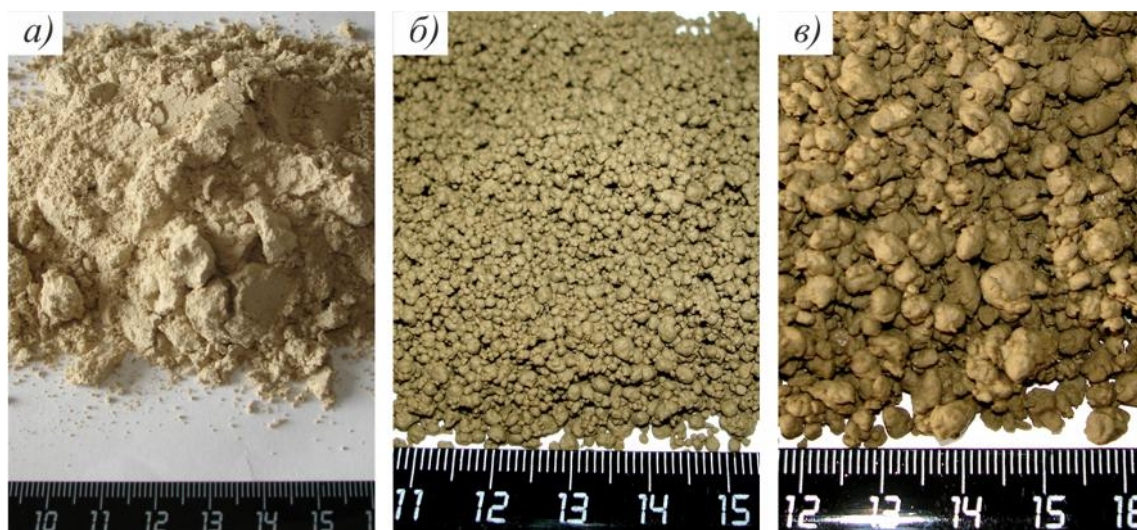


Рисунок 4 – Внешний вид исходного порошка диатомита (а) и гранулята на его основе при скорости вращения лопастей гранулятора 1800 об/мин и влажности 29 % (б) и 32 % (в)

Таблица 2 – Параметры грануляции и характеристики гранулята из тонкодисперсных порошков

№ пп	Состав шихты	W, %	V _{тл} , об/мин	Частные остатки в % на ситах, мм				
				10	5	2,5	1,2	дно
1	100% диатомит	29,0	1800	0	1,54	14,42	72,83	11,21
2		32,1	1800	0	14,49	58,61	25,30	1,60

Для получения матричной структуры керамики при приготовлении шихты на основе техногенного сырья использовалась запатентованная технология получения опудренных гранул [10].

Аналогичным способом осуществлялась массоподготовка и другого техногенного и природного сырья. Из полученных гранулированных пресс-порошков при оптимальных параметрах прессования [11] в лабораторных условиях были изготовлены керамические образцы, физико-механические свойства которых приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Физико-механические свойства керамических образцов

Вид основного сырья	Средняя плотность кг/м ³	Предел прочности при сжатии, МПа	ККК	Водопоглощение, %	Морозостойкость, циклы
Углеотходы Абашевской ЦОФ	1610	30,8	19,1	11,2	>50
Углистые аргиллиты Коркинского месторождения	1760	26,2	14,9	12,3	>50
Опока Шевченковского месторождения	2010	53,3	26,5	7,3	>50
Диатомит Инзенского	1240	11	8,9	17,5	35

месторождения					
Отходы обогащения железных руд АОАФ	1850	24,5	13,2	12,2	>50

Физико-механические испытания кирпича, проведенные в заводских лабораториях показали, что керамический кирпич соответствует требованиям ГОСТ 530-2012 «Кирпич и камень керамические. Общие технические условия» и может с успехом использоваться при возведении объектов различного назначения в условиях комплексной застройки городских территорий.

Вывод. Проведенные исследования показывают, что для строительства жилья, отвечающего современным вызовам, необходимо расширение рынка мелкоштучных строительных материалов и, прежде всего, качественного керамического кирпича. Успешная реализация этой задачи потребует комплексного подхода, включающего наряду с импортом и рациональной логистикой поставок готовой продукции, развития керамического производства на региональном уровне с учетом особенностей местной сырьевой базы и крупнотоннажных отходов промышленности.

Библиографический список

1. В каком доме лучше жить: кирпич, панель или монолит? [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <http://www.magistrat.ru/press/detail.php?ID=7110>. – Загл. с экрана.
2. Типовая застройка: проблемы реконструкции [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <http://townplanner.livejournal.com/4042.html>. – Загл. с экрана.
3. Бакай Ю.И. Анализ современных технологий устройства тепло- и гидроизоляции межпанельных стыков в крупнопанельном домостроении / И.Ю. Бакай, А.М. Гусаков // Молодежь, наука, технологии: новые идеи и перспективы (МНТ-2015): избранные доклады II международной научной конференции студентов и молодых ученых. – Томск: ТГАСУ, 2015. – С. 53–56.
4. Печенская М.А. Строительство жилья эконом-класса как приоритет государственного управления / М.А. Печенская // Экономические аспекты управления строительным комплексом в современных условиях. – Самара: СГАСУ, 2015. – С. 169–175.
5. Беляев М.К. Государственная корпорация «регионального развития» как решение жилищной проблемы / М.К. Беляев, А.В. Лысенко // Социально-экономические проблемы развития строительной отрасли: материалы XXIII внутривузовской научно-практической конференции. – Волгоград: ВолгГАСУ, 2011. – С. 89–95.
6. Семёнов А.А. Итоги развития строительного комплекса и промышленности строительных материалов в 2012 году, прогноз на 2013 год // Строительные материалы. – 2013. – № 2. – С. 62–65.
7. Семёнов А.А. О состоянии отечественного рынка керамических стеновых материалов / А.А. Семёнов // Строительные материалы. – 2016. – № 8. – С. 9–16.
8. Столбоушкин, А.Ю. Особенности грануляции техногенного и природного сырья для получения стеновой керамики / А.Ю. Столбоушкин, А.И. Иванов, А.И., В.Н. Зоря, Г.И. Стороженко, С.В. Дружинин // Строительные материалы. – 2012. – № 5. – С. 85–89.
9. ДЗЕРЖИНСКТЕХНОМАШ. Смесители – грануляторы периодического действия для гранулирования и смешивания сыпучих материалов. Особенности грануляции высокодисперсных порошков в керамике. [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <http://www.dtm.com.ru/articles/1?p=0>. – Загл. с экрана.
10. Столбоушкин, А.Ю. Комплексная застройка при проектировании и строительстве биосферносовместимых городов из керамических материалов на основе техногенного сырья / А.Ю. Столбоушкин, А.И. Иванов, К.В. Алюнина, В.А. Сыромясов // Биосферносовместимые города и поселения: материалы Международной научно-практической конференции. – Брянск: БГИТА, 2012. – С. 97–102.

11. Патент № 2487844 Российская Федерация, МПК С1 С 04 В 33/132. Сырьевая смесь для изготовления стеновых керамических изделий / А.Ю. Столбоушкин, Г.И. Стороженов, Г.И. Бердов и др.; опубл. 20.07.2013, Бюл. № 20.

УДК 519-7

К ВОПРОСУ СОЗДАНИЯ КОМФОРТНОЙ СВЕТОВОЙ СРЕДЫ ПОМЕЩЕНИЙ НА ОСНОВЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЗАТЕНЕНИЯ

Ершова Д.В.

*ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет»
г. Новокузнецк, Россия, test-deyadeya@mail.ru*

***Аннотация.** Пространственное геометрическое моделирование естественного освещения помещений и вопросы определения зон затенения мебелью и оборудованием рабочих поверхностей для объектов промышленной архитектуры. В основе геометрической модели – лучи диффузного света неба, представленные, как прямые. Контуры оконного проема, затеняющей и затеняемой поверхности - фокальные фигуры одной или нескольких конгруэнций разных порядков и классов, в зависимости от кривых и поверхностей, которые их образуют. Рассмотрены модели затенения при различных формах оконного проема и затеняющего объекта.*

***Ключевые слова:** архитектура, комфортная световая среда, геометрическое моделирование, естественное освещение помещений, диффузный свет неба, КЕО, затенение, пространственная геометрическая модель затенения, конгруэнция, фокальная фигура, светопроем.*

Проектирование комфортной жилой и производственной среды является основной задачей архитектуры. В ее реализации немалую роль играет правильно организованный режим освещения помещений. Однако, в объектах наследия промышленной и гражданской архитектуры далеко не всегда уделялось должное внимание освещенности. В современных же нормативных документах вопросам расчета и соблюдению требований естественного и искусственного освещения отводится значимое место.

Тем не менее, несмотря на стандартизированные расчеты и существующие цифровые методы визуального моделирования световой среды помещений пространственным моделям затенения пока не уделяется должного внимания. В расчетах естественного освещения промышленных, жилых и общественных помещений по общепринятой методике не учитывается затеняющее влияние мебели и производственного оборудования.

При прямом солнечном освещении затенение рабочих поверхностей такими объектами описывает известная теория построения собственных и падающих теней. Однако, при расчете коэффициента естественного освещения свет неба МКО принимается диффузным, поэтому для исследования затенения в таких условиях необходима соответствующая геометрическая модель.

Поэтому настоящей целью пространственного геометрического моделирования является определение таких зон на объекте затенения (рабочей поверхности), на освещенность которых оказывает влияние затеняющий объект (оборудование). Геометрическая модель затенения должна включать в себя два объекта: контур светопроема и затеняющий объект.

Диффузный свет неба можно рассматривать как множество всех лучей пространства ∞^4 , из которого контуры оконного проема выделяют один или несколько (в зависимости от формы светопроема) комплексов прямых. Если затеняющий объект также представить в виде комплекса (одного или нескольких) прямых, то вместе с затеняющим объектом они определяют конгруэнцию прямых, как результат пересечения пары (одной или нескольких) комплексов. Контур светопроема и затеняющий объект являются фокальными фигурами конгруэнции.

Контуры оконного проема любой формы, затеняющей и затеняемой поверхности можно представить фокальными фигурами одной или нескольких конгруэнций разных порядков и классов, в зависимости от порядка и класса кривых и поверхностей, которые их образуют. Количество конгруэнций зависит от количества линий (прямых и плоских кривых), образующих контур оконного проема, и от количества линий (прямых, пространственных и плоских кривых) и поверхностей, образующих затеняющие поверхности.

Для моделирования условий затенения объектов помещений необходимо определить набор разнообразных элементов, линий и поверхностей, сочетания которых определяют круг возможных вариантов, как конгруэнций, так и выделяемых из них погружаемыми объектами поверхностей. Эти поверхности условно можно назвать поверхностями затенения.

В качестве простейшего набора возможных элементов для образования фокальных фигур конгруэнций и объектов, погружаемых в них, можно определить следующие: точка, прямая, кривая 2-го порядка, поверхность 2-го порядка, многогранник. Ими можно ограничить набор кривых и поверхностей, поскольку они позволяют аппроксимировать любые другие сложные поверхности, плоские и пространственные кривые.

Очертания оконного проема (фокальная фигура f_1) чаще всего представляют плоский контур, поэтому он может быть создан только элементами (2) и (3), а затеняющую поверхность (фокальная фигура Φ_2) могут образовывать любые элементы (1)-(5) в различных комбинациях.

Как фокальные фигуры конгруэнций, так и погружаемые в них объекты представляют собой составные кривые и поверхности. В таких случаях имеет место пересечение нескольких конгруэнций, из которых выделяется составная поверхность затенения.

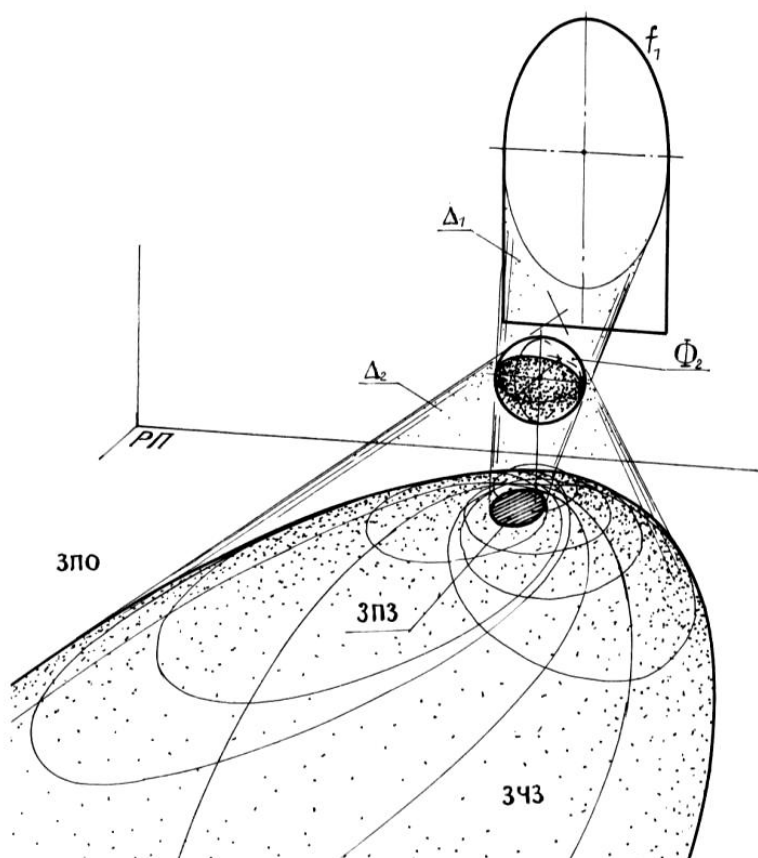


Рисунок 1 – светопроем в форме эллипса

На рисунке 1 показан светопроем f , условно имеющий форму эллипса, и сфера Φ , являющаяся затеняющим объектом. Кривая f и поверхность Φ являются фокальными фигурами соответствующих линейных комплексов, которые, пересекаясь, образуют дуальную конгруэнцию $K_4(4,4)$.

Множество лучей конгруэнции образуют поверхность затенения и разделяют пространство на 3 области, которые можно назвать: ОПО - область полной освещенности, в которой ГКЕО всех точек учитывает количество лучей n_1 , n_2 или n_3 , проходящих через всю площадь окна; ОЧЗ - область частичного затенения, в которой ГКЕО точек учитывает не всю площадь оконного проема, а только ее часть - в зависимости от расположения точки в пределах области; ОПЗ - область полного затенения, в которой отсутствует прямой свет неба, а на освещенность точек ей принадлежащих влияет только отраженный. ОПЗ может совпадать с карстовой областью конгруэнции лучей (рисунок 1). Границами областей являются полы Δ_1 и Δ_2 торса Δ , полученного обкаткой фокальных фигур общей касательной плоскостью. Пересекаясь с рабочей поверхностью полы торса Δ делят ее на три зоны: ЗПО - зону полного освещения, ЗЧЗ - зону частичного затенения и ЗПЗ - зону полного затенения, соответствующие областям пространства помещения, на которые его делит конгруэнция.

Для получения зон ЗПО, ЗЧЗ, ЗПЗ предлагается использовать методику построения, основанную на том, что через каждую точку контура оконного проема проходит связка лучей, при помощи которой можно построить тень от затеняющего объекта на рабочую поверхность. При "движении" этой точки по контуру оконного проема получится пучок таких теней, огибающая которого будет разделять рабочую поверхность на зоны полного и частичного освещения. Часть зоны затенения, которая в этом процессе не бывает освещенной, определит зону полного затенения, ЗПЗ является местом пересечения всех элементов пучка теней, а также может быть сечением карстовой области конгруэнции (рисунок 1).

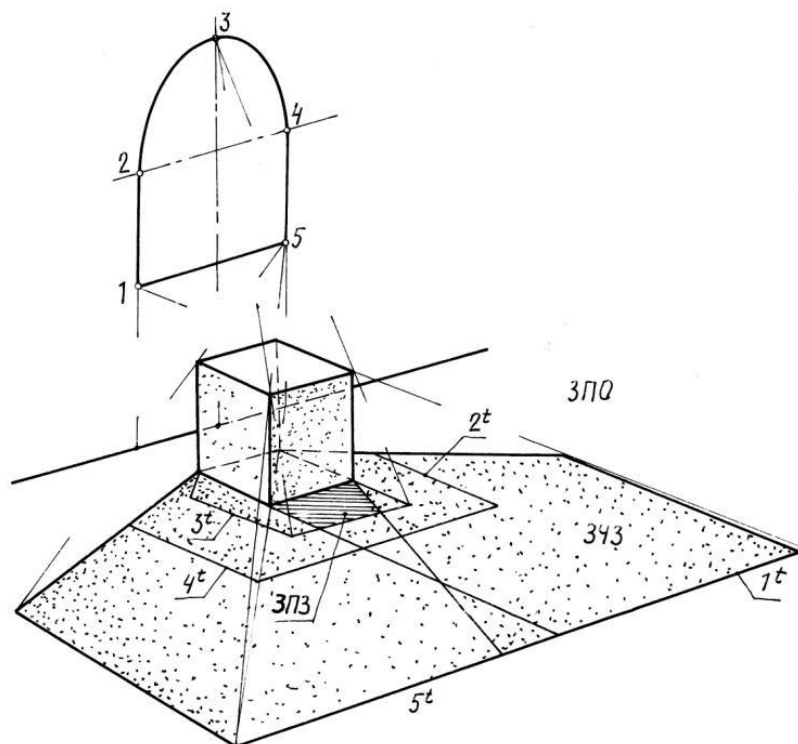


Рисунок 2 – Построения зоны затенения от гранной поверхности

Границами зон затенения на рабочих поверхностях в зависимости от типа поверхности затенения являются огибающие прямых, кривых, либо их сочетаний, что зависит от элементов, которые образуют фокальные фигуры.

На рисунках 2, 3 приведены примеры построения зон затенения от гранной поверхности, конуса и цилиндра. Границей зоны затенения от поверхностей параллелепипеда и конуса являются огибающие точек пересечения прямых, образующих контуры каждой тени пучка. Границей зоны затенения от цилиндра является огибающая пучка эллипсов.

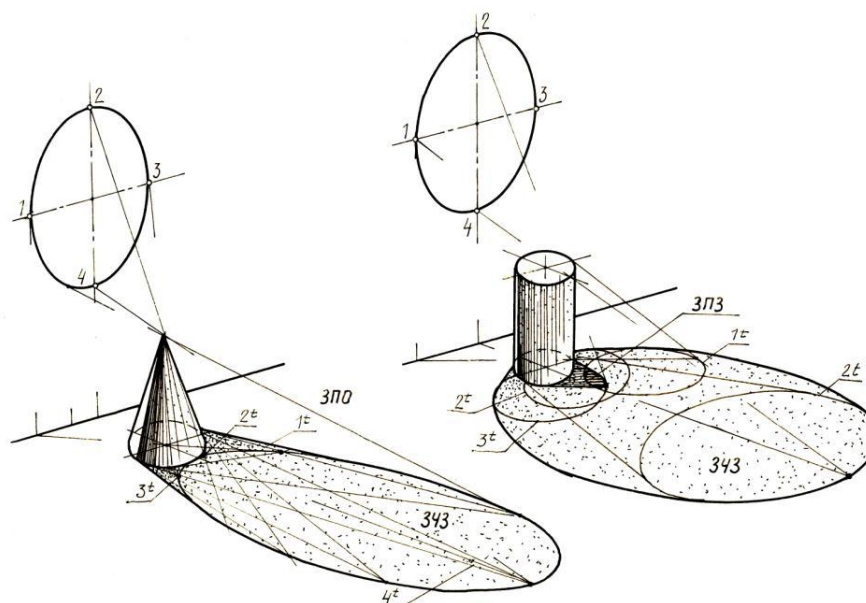


Рисунок 3 – Построения зон затенения от конуса и цилиндра

В случае, приведенном на рисунке 2 конгруэнция лучей, определяющая зоны затенения от поверхности параллелепипеда, является составной, ЗПЗ в данном случае не является карстовой областью, а представляет собой зону тени.

Для расчета ГКЕО произвольной точки, принадлежащей ЗЧЗ, необходимо определить, какой частью площади светопроема она освещена.

На рисунке 4,а построены зоны ЗПО, ЗЧЗ, ЗПЗ от затеняющего объекта на горизонтальную рабочую плоскость. В ЗЧЗ выбрана произвольная точка М. Путем проецирования объекта затенения из расчетной точки на плоскость светопроема (1234) найдена его часть ($S_{1234} - S_M^1$), определяющая освещенность точки М.

Таким образом, определение ГКЕО точек расположенных в ЗЧЗ рабочей плоскости можно представить как определение освещенности от светопроема переменной площади, т.к. положению каждой расчетной точки в этой зоне отвечает определенная часть площади светопроема.

С помощью предложенного метода можно построить кривые распределения ГКЕО в зоне частичного затенения путем последовательного определения переменной площади светопроема от каждой расчетной точки разреза помещения.

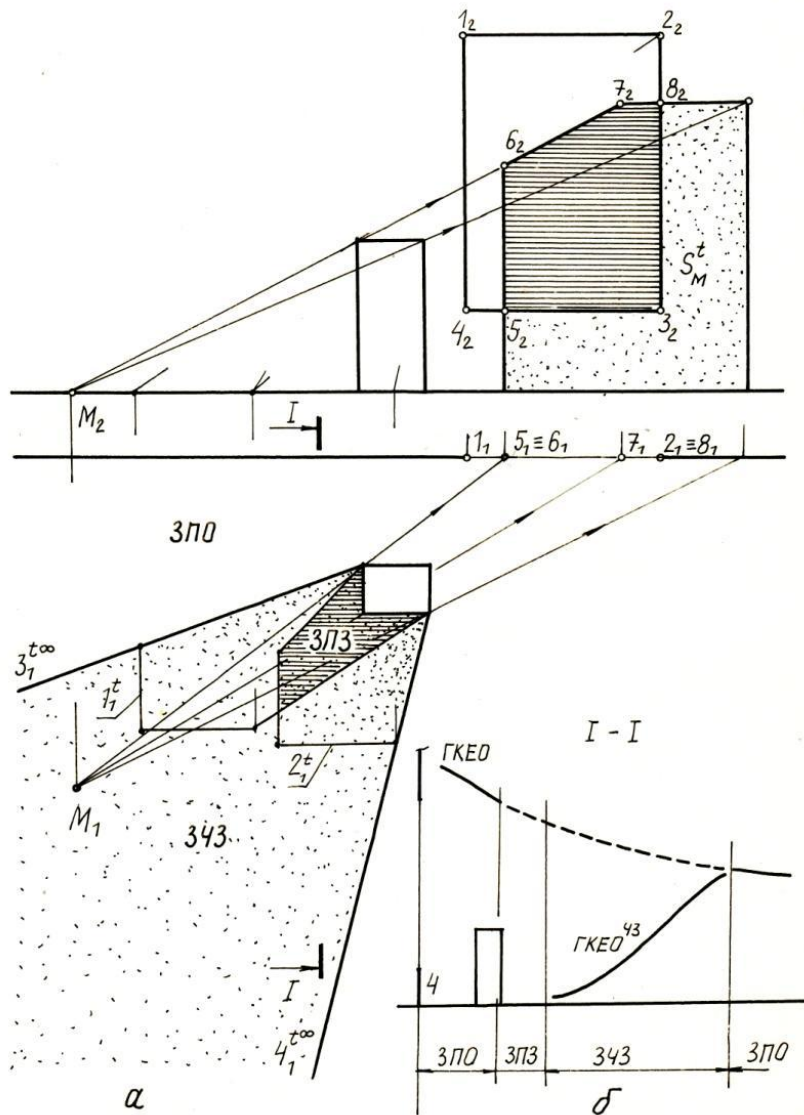


Рисунок 4 – Зоны от затеняющего объекта на горизонтальную рабочую плоскость

На рисунке 4,б показан разрез I-I (условно, для большей наглядности, плоскость разреза проведена и через светопроем). В верхней части изображена кривая распределения значений КЕО в плоскости разреза помещения от освещения полным прямым светом неба, поступающим через светопроем, показанная в ЗПЗ и ЗЧЗ разреза пунктиром. В зоне ПЗ значения ГКЕО равны нулю, а для остальной части разреза, соответствующей ЗЧЗ, построение кривая распределения ГКЕО^{43} может быть проведено по описанному выше алгоритму.

При "передвижении" плоскости разреза можно получить поверхности распределения ГКЕО рабочих плоскостей во всех трех зонах затенения рабочей плоскости.

УДК 711.4-168

РЕНОВАЦИЯ ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ

Дрожжин Р.А.

Сибирский государственный индустриальный университет (СибГИУ),
г. Новокузнецк, Россия, drozhzhinr@gmail.com

***Аннотация.** На примере городской среды индустриального города Новокузнецка рассмотрены возможные методы реабилитации и реновации ущербных или неиспользуемых территорий.*

***Ключевые слова:** реновация, городская застройка, промышленные зоны.*

В современном градостроительном использовании территорий индустриальных городов выявляется общая особенность (проблемная ситуация) – отсутствие направлений для развития городских пространств. Это проявляется, в том числе, в нехватке строительных участков под жилую и общественную застройку. Территории, предназначенные для промышленного производства или коммунально-складские зоны, окружают жилую зону. Дополнительно накладываются природные ограничения, такие как реки и рельеф.

Исходя из ограничений, новое строительство приходится планировать на новых неосвоенных территориях в границах городского округа. Такое строительство становится более дорогостоящим и трудоемким, так как помимо самих объектов требуется возведение дорог, прокладка сетей и коммуникаций. Так же в ново возведенных районах будет слабо развита социальная инфраструктура. Необходимость выдерживания санитарно-защитных разрывов и зон впоследствии приводит к рыхлой структуре города.

Выходом из сложившейся ситуации может стать реновация существующей застройки. Такую реновацию можно разделить на два вида:

- комплексная реновация застроенных территорий;
- реновация городских территорий, занятых коммунально-складскими и промышленными объектами.

За долгие годы эксплуатации и работы в сложных условиях промышленные здания изнашиваются, становятся ветхими, устаревают оборудование. Бывшие в промышленном использовании зоны по факту являются пустующими и стоят в руинах. Появляется возможность реновации территории: реконструировать или снести расположенные на них здания и сооружения, перераспределить земельные участки.

Пространства промышленных зон (промзоны) являются потенциалом для расширения общественных зон, улучшения качества городской среды и транспортного обслуживания. Этот потенциал можно реализовать посредством повторного использования (реабилитации и реновации) промышленных территорий. Такой путь сложен как в экономическом, так и в административном аспекте, но для получения положительного результата пройти его необходимо.

Примером такой «запертой» жилой застройки можно привести Центральный и часть Куйбышевского районов города Новокузнецка. Получившая развитие во время индустриализации СССР в 30-е годы данная часть города несет на себе характерные ошибки. Основная ошибка: это близкое размещение жилья к заводским территориям. Такое решение о расположении рабочих поселений вблизи от производства впоследствии оказало негативное воздействие на экологическую ситуацию в городе. Как видно на рисунке 1 Центральный район с северо-запада и запада окружен промышленными территориями, с запада и с юга и юга-востока проходит железная дорога. С севера-востока имеется естественное препятствие в виде реки Томь.

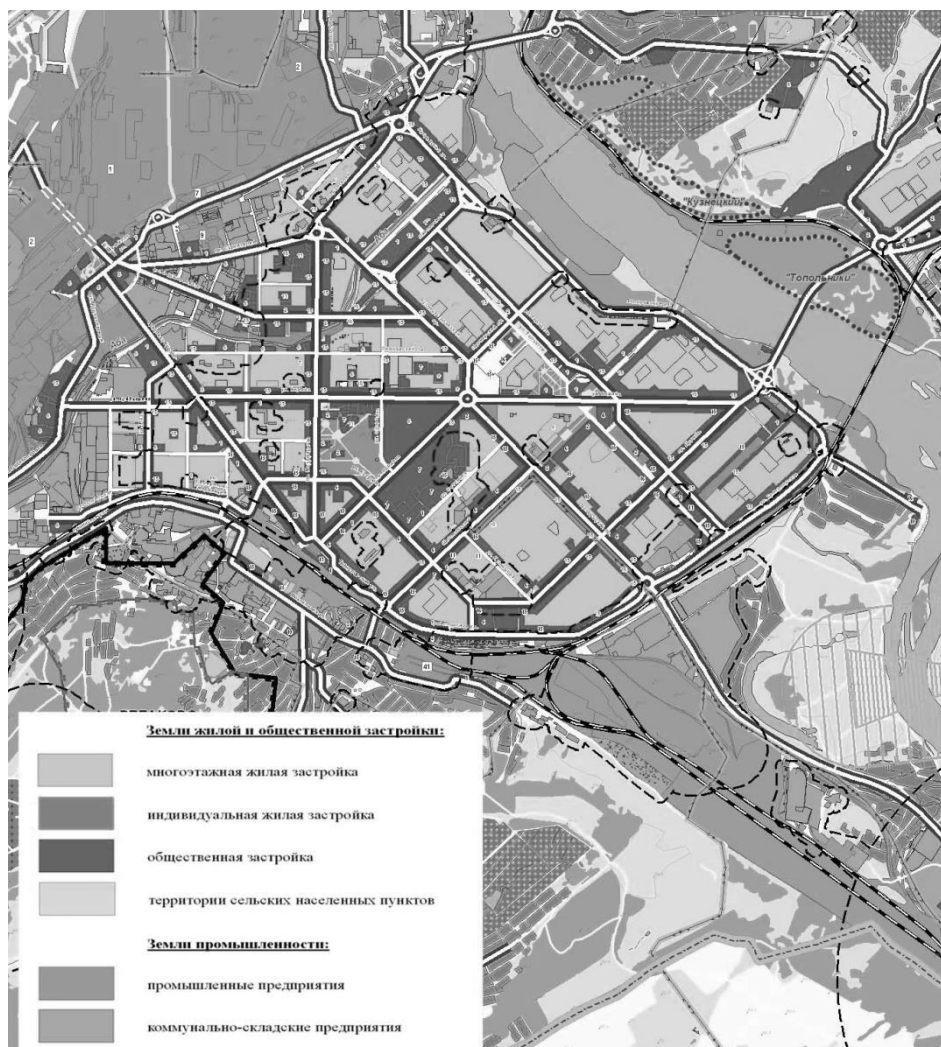


Рисунок 1 – Часть схемы современного использования территории города Новокузнецка, 2010 г.

В рамках данной статьи рассмотрены и изложены варианты преобразования бывших промышленных территорий, которые можно применить для достижения устойчивого развития города.

Способ, преобразование в общественно-деловую и торговую зону.

Смысл заключается в полной или частичной рефункционализации территории и находящихся на ней объектов. Бывшие производственные здания просто реконструируются под объекты торговли, а их административные блоки в офисные здания. Удобное расположение около магистралей общегородского значения, расположение вблизи остановок общественного транспорта, возможность привлечения большого количества людей, коммерциализация территорий, все это привлекает инвесторов и девелоперов.

Хорошим вариантом для повышения уровня культурной жизни города будет создание в здании бывшего цеха музея или концертного зала с благоустройством прилегающей территории и организации общественного пространства вокруг объекта. Здания цехов, построенные в начале XX века из кирпича, в основном имеют выразительные фасады, создавая своим внешним видом дополнительную эмоциональную атмосферу объекту культуры.

структуре города Новокузнецка такую схему действий применили к части территории бывшего Кузнецкого металлургического комбината (КМК), вдоль улицы Хлебозаводской, где располагались открытые склады. В настоящее время земельные участки проданы девелоперам, идет строительство «ритейл парка» (рисунок 2). Планируется строительство трех торговых центров.



Рисунок 2 – Проект «ритейл парка» на ул. Хлебозаводская

Способ, преобразование в жилую зону.

Промышленные предприятия разделяются на классы по степени вредности производства. Если производство было не вредным и относилось к низкой степени опасности, возможна реновация под жилье. Такая практика широко распространена в странах Европы с ранним индустриальным развитием (Англия, Нидерланды, Германия). Старые мануфактурные производства начала XX века были закрыты или перенесены, оставив после себя пустые цеха. Здания бывших производств были построенные из кирпича и бетона с довольно высокими потолками. Конструкции зданий бывших производств позволяли создавать просторные апартаменты - лофты и многоуровневые квартиры. Подобное жилье стало пользоваться популярностью у мелких, средних предпринимателей и людей, занимающихся творчеством, желающих совместить жилье и мастерскую.

Возможен вариант реновации территории с новым строительством без сохранения существующих объектов. Например, на месте бывших открытых складов, после расчистки земли на высвободившейся территории можно построить небольшой жилой комплекс или даже квартал.

Способ, преобразование в зону зеленых насаждений.

Реновация территория промышленных предприятий с высоким классом опасности – самый сложный тип по нескольким факторам. Надо провести экологическое обследование территории, по заключению которого сделать выводы, в каком направлении можно развивать проектирование. На территории бывшего металлургического комбината люди вряд ли стали бы покупать новое жилье, а вот вариант создания зеленой зоны на высвободившейся территории выглядит перспективной.

Площадки с зелеными насаждениями создадут буферные зоны между производством и жильем (рисунок 3). От вредных выбросов предприятий с высоким классом опасно-

сти такие меры не помогут. Подобные предприятия должны размещаться сразу с учетом санитарно-защитной зоны в соответствии с действующими нормативами и стандартами. Зеленые бульвары и скверы помогут, загородив собой промышленные пейзажи, улучшить восприятие человеком окружающей среды.

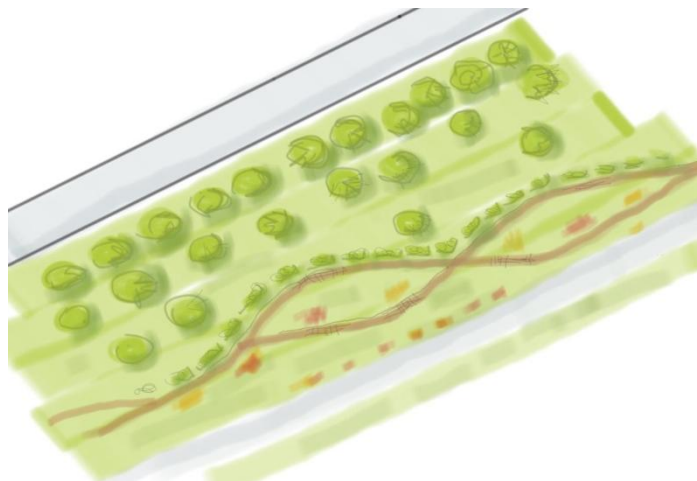


Рисунок 3 – Организация бульваров с зелеными насаждениями вдоль магистральных и объездных дорог

В заключении можно сделать вывод, что для принятия правильного градостроительного решения в отношении определенной городской территории следует провести комплексный анализ ее ситуации, при этом должны быть исследованы следующие параметры городской среды:

- транспортная схема территории;
- обследование конструкций и инженерных сетей;
- экономическое обоснование выбранного вида реновации;
- обоснование потребности в выбранном виде реновации.

УДК 72:378.147

РЕГИОНАЛЬНАЯ СПЕЦИФИКА В НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ ПО НАПРАВЛЕНИЮ ПОДГОТОВКИ АРХИТЕКТУРА В СИБГИУ

Благиных Е.А.

*Сибирский государственный индустриальный университет (СибГИУ),
г. Новокузнецк, Россия, elenablagnyh@mail.ru*

Аннотация. Изложены направления научных исследований архитектурно-градостроительной среды Новокузнецка, проводимые на кафедре архитектуры СибГИУ, в части выявления региональной специфики, сохранения объектов культурного наследия, необходимых для решения актуальных проблем современной архитектуры города.

Ключевые слова: научные исследования, городская среда, региональная специфика, сохранение архитектурного наследия.

Региональная проблематика в теории, образовании, развитии отечественного зодчества в последнее время занимает значительное место, но такие исследования пока не находят комплексного применения в практике. Поэтому на кафедре архитектуры научные исследования проводятся с выявлением региональной специфики, а также с решением творческих задач по формированию новых общественных пространств и реновации депрессивных городских территорий.

В рамках статьи представлена часть научно-исследовательских работ, наиболее актуальных в текущий период, по мнению автора [1]. Акцентированы следующие подходы к выявлению региональных аспектов в проводимых исследованиях: концептуальный, прикладной, историко-типологический.

В основу «концептуального исследования» положены такие принципы, как учет местных традиций и требований; сохранение существующих на территории города исторических объектов; применение «зеленых» технологий, использование возобновляемых ресурсов; внимание к человеческому масштабу и детализировке. Концепция ориентирована на бережное обращение к оставшимся фрагментам культурного наследия в Новокузнецке, сохранение значимых визуальных исторических, ландшафтных объектов, комплексное благоустройство территорий и создание рекреационных пространств. Примером могут служить исследования и архитектурно-градостроительные проекты территорий ландшафтных парков «Топольники», «Прикондомский», набережных реки Томи, земель охраняемого природного ландшафта памятника архитектуры федерального значения «Кузнецкая крепость» (рисунок 1) и др.



Рисунок 1 – Архитектурно - градостроительный проект на территории земель охраняемого ландшафта «Кузнецкая крепость»

«Прикладные исследования» представлены научными работами аспирантов и дипломников кафедры архитектуры по следующим темам: «Реновация постиндустриальной среды Кузнецкого металлургического комбината», «Проблемы реновации промышленных территорий, зданий, сооружений в городской среде конца XX – начала XXI вв.» и др. Эти работы ориентированы на поиск оптимальных решений по реновации (перепрофилированию, конверсии) производственных территорий и объектов промышленного наследия, расположенных в черте города Новокузнецка.

Конверсия промышленной территории подразумевает ее интеграцию в городскую среду при обязательном условии сохранения, реставрации и приспособления к новому использованию имеющихся на данной территории объектов промышленного наследия.

Проведенные исследования показали, что в Новокузнецке имеются промышленные сооружения и объекты, утратившие свое первоначальное значение, но достойные сохранения. Диапазон возможных стратегий их повторного использования широк: это мо-

жет быть и музеефикация, и приспособление к культурным, деловым, жилым функциям, а также формирование многофункциональных центров.

«Историко-типологические исследования» представлены научным направлением на кафедре «Исследование архитектурных объектов культурного наследия на территории Кемеровской области». Они ориентированы на пополнение банка историко-культурной информации об архитектуре Новокузнецка и Кузбасского региона, заставляют понять социальную и культурную значимость объектов архитектурного наследия, необходимость их сохранения и комплексной реконструкции. Например, темы: «Архитектурно-градостроительное наследие Кемеровской области (XVII – первая половина XX вв.)», «Генезис исторических поселений Кемеровской области в XX – начале XXI вв.» и другие.

Также в рамках Федеральной целевой программы 2012-2018гг. Министерства культуры Российской Федерации «Направление по сохранению культурного наследия» выполнен инвестиционный проект «Реконструкция здания Сибирского металлургического института по ул. Рудокопровая, 49» (рисунок 2). Цель проекта: сохранение и использование историко-культурного наследия, организация ремонтно-реставрационных работ здания эпохи конструктивизма.



Рисунок 2 – Проектное предложение реконструкции здания Сибирского металлургического института по ул. Рудокопровая, 49. Общий вид

Ориентация начинающих свой творческий путь архитекторов-исследователей на раскрытие различных аспектов регионального своеобразия и сохранения исторического наследия способствует формированию их национальной и региональной идентичности в современной отечественной архитектурной практике.

«Типологические работы», проводимые на кафедре со студентами исследуют проблемы жилища и жилой среды, моно- и многофункциональных общественных зданий и комплексов, транспортных сооружений и производственных объектов. Основная их цель – кардинальное качественное улучшение существующей пространственной среды города (например, проекты планировки и застройки новых и существующих микрорайонов в Новокузнецке: по ул. Челюскина в Куйбышевском районе, «Малоэтажка» в Кузнецком районе, «Прибрежный» в Орджоникидзевском районе и др.).

Архитектурный образ, облик города складывается не только из того, что строится в данный момент, но и из того, что уже существует. При разработке очередного объекта, архитекторам необходимо учитывать это и проводить глубокий анализ окружения, обращать внимание на такие, казалось бы, банальные, но важные вещи, какова численность населения города и данного конкретного места, сколько людей приходит на остановку общественного транспорта, как организована транспортная инфраструктура и другие. В связи с этим, на сегодняшний день актуализировались вопросы контекстуальности архитектурных проектов.

Теоретическая и практическая значимость результатов научных работ, проводимых на кафедре архитектуры СибГИУ, проявляется:

- в возможности использования полученных знаний в творческой и проектной деятельности;

- в выявлении нестандартных подходов проектирования зданий различных типов, в том числе ансамблевой застройки в городской среде;

- в систематизации наработок, полученных в результате изучения большого объема фактологического материала (в том числе, памятников архитектуры), опросов и наблюдений;

- в разработке комплекса рекомендаций по сохранению объектов культурного наследия, оптимизации архитектурного освоения пространств с различным природным, антропогенным, социальным, эмоциональным и другим содержанием.

Библиографический список

1. Благиных Е.А. Актуализация направлений научно-исследовательских работ по совершенствованию архитектурно-градостроительных процессов в Кемеровской области// Вестник Сибирского государственного университета/ Под общ. ред. Е.В. Протопопова; Сибирский госуд. индустриальный ун-т. – Новокузнецк, № 1(11), 2015, - С.59-62.

УДК 72.03(571.17)

СОХРАНЕНИЕ АРХИТЕКТУРНО-ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОГО НАСЛЕДИЯ В КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Чердниченко Ж.М., Благиных Е.А.

*Сибирский государственный индустриальный университет (СибГИУ),
г. Новокузнецк, Россия, janna.blaginyh@yandex.ru*

***Аннотация.** Изложены основные направления историко-культурных исследований архитектурного наследия городов и поселений Кемеровской области, выполненных в рамках диссертационной работы на кафедре архитектуры СибГИУ.*

***Ключевые слова:** архитектурно-градостроительное наследие, историко-культурные исследования, региональные особенности, объект культурного наследия.*

Исследования особенностей архитектурно-градостроительного формирования городов Кемеровской области, имеющих исторически сложившуюся специфику, проводятся на кафедре архитектуры Архитектурно-строительного института СибГИУ с учетом их современного состояния и на основе научной методологии.

Сохранение архитектурно-градостроительного наследия Кемеровской области, как и всей Сибири, является серьезной и актуальной задачей. Сохранившиеся здания и сооружения конца XVIII – XIX – первой половины XX вв. в Кемеровской области имеют особое значение для истории архитектуры Кузбасса – одного из наиболее урбанизированных регионов России.

Все крупные и средние города Кузнецкого бассейна: Кемерово, Новокузнецк, Ленинск-Кузнецкий, Анжеро-Судженск, Прокопьевск – относятся к «молодым» городам, которые начали расти в связи с развитием горнодобывающей промышленности и индустриализацией первых пятилеток [1]. Их облик сформирован в основном застройкой послевоенного периода, для которого характерны большие объемы типового строительства. Особое значение для этих городов приобретает выявление и охрана ценного историко-архитектурного, а также градостроительного наследия, которое играет главную роль в сохранении исторической памяти и создании индивидуального облика города.

Несмотря на молодость, два крупных города Кузбасса – Кемерово и Новокузнецк – в соответствии с Федеральной целевой программой «Сохранение и развитие архитектуры исторических городов (2002 – 2010гг.)» включены в список исторических городов России [2]. Таким образом, на федеральном уровне признано наличие в этих городах ценного историко-архитектурного и градостроительного наследия.

Архитектура – это искусство моделирования среды обитания человека путем создания функционального пространства и художественной формы. Важно с уважением относиться к памятникам архитектуры, которые созданы выдающимися мастерами. Это наша история, памятники архитектуры олицетворяет ту эпоху, в которую были возведены, необходимо кропотливо и последовательно выполнять научно-исследовательские работы по их изучению, сохранению, воссозданию.

Историко-культурные исследования по выявлению, описанию, сбору и анализу материалов существующих памятников архитектуры и градостроительства, как на территории города Новокузнецка, так и в других исторических городах Кемеровской области проведены в соответствии с действующим законодательством в области охраны культурного наследия и градостроительства [3]. При работе с фактологическим материалом были учтены нормативно-правовые, инструктивные, научные и методические документы по проблемам охраны памятников истории и культуры, разработанные с учетом отечественного и зарубежного опыта.

Цель исследования: выявление планировочных, конструктивных, художественных принципов генезиса и развития исторической архитектурно-пространственной среды городов, поселений Кемеровской области.

В задачи исследования входит:

1. Всестороннее изучение пространственной среды городов, выявление ее художественного своеобразия, а также обследование всех компонентов ее составляющих.
2. Системный типологический анализ природного окружения и ландшафта по композиционным и визуальным признакам.
3. Систематизация исходных данных, их аналитическая обработка, выявление принципов и закономерностей формирования исторической и современной среды городов, учет традиций места, архитектурных и градостроительных особенностей.
4. Создание структурной модели архитектурно-пространственной организации среды города в новых социально-экономических условиях.

Актуальность:

- заключается в исследовании региональных особенностей архитектурно-градостроительного наследия городов Кемеровской области;
- в создании комплексной методики анализа исторической среды, объектов культурного наследия с учетом современных условий;
- в возможности применения исследования в реконструктивных процессах на основе традиций и преемственности;
- в дальнейшем совершенствовании функционального наполнения объектов, удовлетворяющих современным потребностям населения городов области;
- в разработке методических рекомендаций по регулированию застройки отдельных территорий с учетом архитектурно - пространственных закономерностей.

Сохранение архитектурного и градостроительного наследия Кемеровской области является серьезной и актуальной задачей, так как многие памятники церковной архитектуры, жилых и общественных зданий, фортификационных и первых промышленных сооружений XVIII – XIX вв. безвозвратно утрачены.

Необходимо отметить начавшийся в последние годы процесс восстановления уникальных памятников зодчества (как деревянных, так и каменных) в исторических городах области. Характерным примером могут служить: реконструкция Спасо-Преображенского собора и Кузнецкой крепости (памятника республиканского значения) в Новокузнецке,

жилые и общественные здания в районе Красная горка в Кемерово, коммерческие и жилые дома в Мариинске, церковь Андрея Критского в г. Тайге и др.

Архитектурная стилистика зданий и сооружений связана как с историческими периодами развития архитектуры в европейской части России, так и с особенностями местных художественно-архитектурных школ, созданием специфического декора деревянных зданий (резьба пропильная, накладная и пр.) с мотивами стилей: «сибирского барокко», «кирпичного», а также функционализма и конструктивизма в начале XX века.

Архитектурное наследие (1917г. – первой половины XX в.), историческая среда «молодых» городов Кемеровской области этого периода также нуждаются в дальнейшей планомерной работе по выявлению и постановке на учет, охране и реконструкции.

Итогом проведенного исследования являются выводы, сформулированные в виде следующих основных положений:

1. Особенности заселения Кузнецкого края в XVII – первой половине XX веков в значительной степени сказались на формировании поселений, на формах расселения, на планировочных структурах городских и сельских населенных мест. Немаловажную роль в этом сыграли значительная удаленность от обжитых районов страны, экономическая и политическая зависимость Сибири от центральной власти, этнические особенности населения и суровые природно-климатические условия. Богатая лесами Кузнецкая земля в основе своей имела деревянное зодчество, ярким примером служат города Кузнецк, Мариинск и Тайга, дальнейшая застройка которых осуществлялась на основе преемственности.

2. Сложение архитектурно-градостроительной культуры Кемеровской области (XVII – первая половина XX вв.) происходило на протяжении пяти исторических периодов. Они связаны с развитием городской среды, инфраструктуры, социальными, экономическими, политическими изменениями, отразившимися в архитектурно-планировочной структуре поселений, типах застройки, архитектурно-художественных приемах, стилистических особенностях. В итоге создалось уникальное архитектурно-градостроительное наследие Кемеровской области.

3. На всех исторических этапах развития (XVII – первая половина XX вв.) эстетико-художественное решение городов было довольно высоким.

Функционально-планировочное зонирование определило пространственное своеобразие каждой зоны, подчеркнутое архитектурно-композиционным решением. Исторические города Кемеровской области образуют разнообразие силуэтных типов, в которых большую роль играют вертикальные доминанты – сакральные сооружения, особая область в градостроительной культуре, так как они формировали вертикальную композицию, были доминантами в городской среде. В крае сложилась определенная типология сакральных сооружений, отражающая локально-функциональные, стилистические и градостроительные особенности.

4. Кемеровская область расположена почти в центре страны (до Москвы 3482км, до восточных границ России – 4500км) и поэтому ее огромные индустриальные ресурсы равномерно обслуживали и продолжают обслуживать все промышленные регионы России. Проблема наследия первой половины XX в. остро стоит во всем мире, переход сравнительно «молодых» зданий на режим охраны начался не столь давно, но все же в Сибири, как и во всей России ситуация особая, потому что архитектура русского авангарда входит во все мировые антологии как золотой фонд Современного движения. На территории Кемеровской области число официально находящихся под охраной государства памятников этого периода очень мало[4], а главное – даже статус памятника реально не защищает здание от искажений и даже от гибели в результате небрежения.

Научное значение исследования заключается в том, что:

– систематизированы сведения по эволюции городов и поселений на территории Кемеровской области, выявлены закономерности их развития, формирования, особенности пространственных композиций;

– реализован принцип системного подхода к исследованию исторического города, выявлено влияние социально-экономических инфраструктур поселений на развитие региона начиная с XVII в.;

– определены архитектурно-планировочные особенности городских и сельских поселений, типов застройки, архитектурно-художественных приемов, стилевых направлений;

– выявлены памятники истории, культуры, архитектуры, композиции уникальных природных и культурных ландшафтов, связанных и их местоположением и наследием.

Методологические наработки исследования апробируются при выполнении хозяйственных, опытно-конструкторских и научно-исследовательских работ. В статье приведены отдельные примеры обследования зданий-памятников для подготовки охранных обязательств, регистрации их в Росреестре, выполненные по заданию Департамента культуры и национальной политики Кемеровской области.

Так, в ходе исследования был выявлен предмет охраны объекта культурного наследия «*Церковь каменная 1905 года, в неорусском стиле*» - Церковь Андрея Критского (рисунок 1), расположенного в г. Тайга Кемеровской области.



Рисунок 1 – Церковь Андрея Критского в г. Тайге, 1905г.

Кирпичная церковь в псевдорусском стиле, построенная в 1897-1898 гг. по проекту известного томского архитектора Константина Константиновича Лыгина, в объемной композиции представляет собой четверик, завершенный пятиглавием на горке кокошников, с алтарем, притвором и звонницей.

Здание из красного кирпича поражает богатством конструктивных и декоративных деталей, соотношения которых гармоничны и безупречны по своим пропорциям. Церковь является носителем культурных и исторических традиций региона, обладает архитектурной и градостроительной ценностью.

Предмет охраны объекта культурного наследия, подлежащий обязательному сохранению, включает следующие описания:

- Местоположение и градостроительные характеристики объекта.
 - Планировочная композиция здания в пределах капитальных стен.
- представляет собой четверик, завершенный пятиглавием на горке кокошников, с алтарем, притвором и звонницей;
- главный «барабан» с главкой освещает внутренний крестовый свод и зал церкви, четыре второстепенных главки – глухие кирпичные;

- по бокам от основной алтарной части пристроены два придела;
- главный вход, совмещенный с западным притвором, увенчан звонницей с главкой. Высота церкви внутри свода – 9,3м, ширина – 10,8м, длина – 17,3м.

• Материал наружной отделки и архитектурно-декоративные элементы фасадов:

- материал наружных стен (красный кирпич);
- материал наружной отделки декоративных элементов (штукатурка);
- лопатки и углы здания украшены полукруглыми колонками; окна арочного и лучкового завершения оформлены сандриками; окна храмовой части фланкированы фигурными колонками; высокие шейки барабанов декорированы арочками;
- плоскость стены завершает многоступенчатый карниз из нескольких рядов кирпичного орнамента и два ряда перспективных кокошников;
- решетки художественного литья на окнах.

• Габариты, конфигурация оконных и дверных проемов.

• Историческое функциональное использование памятника.

Историческое здание церкви Андрея Критского на момент проведения обследования отреставрировано, используется по своему первоначальному назначению.

В с. Ишим, Яйского района Кемеровской области обследован сильно разрушенный памятник архитектуры «Пятиглавая каменная церковь начала XVIII века» (рисунок 2). Выявлен предмет охраны этого объекта культурного наследия, определены градостроительные характеристики здания в застройке, его объемно-пространственная композиция, которая решена в традиционных приемах русского зодчества, характерных для XVIII – начала XIX вв.



Рисунок 2 – Каменная церковь начала XVIII века в с. Ишим, Яйский район

Кирпичная пятиглавая церковь построена в стиле позднего сибирского барокко, с элементами классицизма в объемной композиции и декоре. Определены размеры здания в плане 28х22м, высота до креста – 30м. Церковь в своей храмовой части имела три придела. Пространственная композиция трехъярусной колокольни решена как шестерик (верхний ярус) на четверике (два нижних яруса). Церковь с декоративно-пластическими приемами «сибирского барокко». Фасады храма и колокольни имели членения по высоте профилированными карнизами, декорированными карнизными сухариками. Почти все элементы декора, части несущих стен, купола, исторические интерьеры – утрачены. Объект культурного наследия «Пятиглавая каменная церковь начала XVIII века» нуждается в срочной консервации сохранившихся фрагментов, реставрации и восстановлении.

В ходе исследования проведено обследование объекта культурного наследия «Гостиница Верхней колонии» - памятника градостроительства и архитектуры, расположенного в городе Новокузнецке Кемеровской области, на территории коммунально-складской зоны НКМК (Кузнецкого металлургического комбината), выполнена фотофиксация объекта и составлен акт его технического состояния.

Объект представляет историческую и архитектурно-художественную ценность, как первая городская гостиница, пример неоклассической реконструкции конструктивистского здания, построенного во второй половине 1930-х гг.

Автором реконструкции фасадов в духе неоклассики, начавшейся уже в процессе строительства второй очереди гостиницы, был архитектор А. Д. Крячков. После сноса жилья на Верхней колонии бывшая гостиница, оказавшаяся в промышленной зоне, использовалась как заводское административное здание, с конца 1990-х гг. часть помещений арендуется разными организациями.

Выявлены особенности объекта культурного наследия, подлежащие обязательному сохранению (предмет охраны):

- Планировочная композиция здания в пределах капитальных стен.
- Габариты и объем здания.
- Материал наружной отделки и архитектурно-декоративные элементы фаса-

дов:

- материал наружных стен (кирпич);
- материал наружной отделки стен (штукатурка, руст);
- горизонтальные тяги, объединяющие широкие окна;
- ризалиты лестничных клеток;
- высокий аттик центральной части;
- ленточные и угловые балконы;
- штукатурные наличники окон;
- мемориальная доска с текстом: В этом здании с 1941 по 1944гг. размещался эвакогоспиталь».

- Оформление интерьера:

- материал и конструкция лестницы;
- материал и конструктивные элементы надподвальных, межэтажных, чердачных перекрытий (по деревянным балкам и бетонные);
- планировка здания по коридорному принципу

- Габариты, конфигурация оконных и дверных проемов.

На момент проведения обследования общее состояние объекта было оценено как частично работоспособное: удовлетворительное в левом крыле здания и в центральной его части и неудовлетворительное в правом крыле здания (со второго по четвертый этажи). По результатам обследования в целях сохранения памятника и создания нормальных условий для его использования составлены рекомендации по проведению реставрационных и строительных работ.



Рисунок 3 – Гостиница на Верхней колонии в Новокузнецке, 1933-36гг.,
арх. А.Д. Крячков

Проведенные исследования объектов культурного наследия помогли в решении следующих задач: выработке рекомендаций по их сохранению, разработке планировочных решений территорий, выявлении предмета охраны, установлении границ зон охраны памятников истории и культуры, разработке градостроительных регламентов и рекомендаций по использованию земельных участков.

Вывод: Научные исследования в области сохранения объектов культурного наследия направлены на решение главной архитектурно-градостроительной задачи – создание здоровой и полноценной жизненной среды. А также на дальнейшее пополнение базы данных об уникальных исторических объектах архитектурного и культурного наследия, расположенных на территории Кемеровской области, их государственной охраны и популяризации.

Предложенная научная методика включает теоретические, историко-архивные и натурные исследования, часть из которых будет предложена на рассмотрение в Градостроительных Советах городов области и, возможно, положена в основу историко-архитектурных опорных планов городов, а также проектов реконструкции, реновации и охраняемых зон.

Библиографический список

1. Благиных Е.А. Архитектурно-пространственная структура поселений Кемеровской области (XVII – первая пол. XX вв.)/ Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. –2007. № 2, –С. 127-131.
2. Постановление Правительства Российской Федерации № 815 от 26.11.01.
3. Федеральный закон от 25 июня 2002г. № 73-ФЗ «Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации».
4. Захарова И.В. Архитектурное наследие Кузбасса 1910-1930-х гг. Материалы к своду памятников архитектуры Кемеровской области. – Кемерово: АРФ, 2005. –с.104.

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 1. ИННОВАЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ	3
Химико-технологические особенности золы уноса 9-го блока филиала ПАО ОГК-2 Новочеркасская ГРЭС и перспективные направления их использования в строительстве	
Козлов А.В., Захаров Д.А., Животков О.И., Борисенко Ю.В.	3
Низкотемпературные дилатометрические исследования керамического черепка из кушевского сырья.....	
Наумов А.А.	7
Новые технологические решения в производстве керамических стеновых материалов компрессионного формования	
Ашмарин А.Г., Илюхина Л.Г., Илюхин В.В., Курносков В.В., Синянский В.И.	10
Использование отходов ОАО «РУСАЛ» для производства керамических материалов	
Бурученко А.Е., Мушарапова С.И., Шелковников Р.А., Белов Ю.В., Сергеев А.А. ..	12
Инновационные добавки при производстве стеновой керамики	
Явруян Х. С., Гайшун Е.С., Мирина В. А.	16
Технология и свойства эффективной стеновой керамики на основе пористого заполнителя получаемого из кремнистых пород	
Козлов Г.А., Рубахин И.И., Проценко О.В.	19
Образование черной сердцевины в керамическом кирпиче на основе бурового шлама	
Гурьева В.А.¹, Дубинецкий В.В.², Вдовин К.М.¹	23
Перспективное направление в технологии подготовки шихты при получении керамики.....	
Женжурист И. А.	26
Ускоренная оценка минеральных техногенных отходов как сырья для производства строительных материалов	
Панов С.А., Панова В.Ф., Камбалина И.В.	32
Влияние апатитового концентрата на спекаемость аргиллитоподобных глин и аргиллитов	
Котляр А.В.	38
Влияние влажности пресс-порошка и давления прессования на прочность отформованных изделий на основе опоковидных пород	
Котляр В.Д., Лапунова К.А., Лазарева Я.В., Козлов Г.А.	44
Анализ изменения колориметрических характеристик эпоксидных композитов различных цветов в процессе натурального экспонирования	
Низина Т.А., Чернов А.Н., Низин Д.Р., Попова А.И.	49
Влияние добавок различной природы на реологические свойства суглинистых шихт.....	
Шахов С.А., Николаев Н.Ю.	54
Новый шлаковый цветной цемент.....	
Панов С.А., Панова В.Ф., Карпачева А.А.	58

Проблемы обеспечения качества в строительном материаловедении.....	
Пичугин А.П., Чернышов Е.М.	64
Структурные превращения в модифицированных полиэтиленовых композициях для защиты частей и конструкций зданий и сооружений.....	
Пичугин А.П., Банул В.В., Никитенко К.А., Алешкевич М.Г.	68
Физико-химическая оценка модифицированной полимерными композициями древесины для полов производственных сельскохозяйственных зданий	
Пичугин А.П., Батин М.О., Митина Л.А., Никитенко К.А.	72
Технология производства эффективных легкобетонных стеновых изделий с повышенной звукопоглощающей способностью.....	
Пичугин А.П., Денисов А.С., Хританков В.Ф., Пименов Е.Г., Лазарев Е.Г.	76
Сухие строительные смеси с повышенной трещиностойкостью и регулируемыми показателями температурного линейного расширения для монтажных и кладочных работ.....	
Денисов А.С., Хританков В.Ф., Белан И.В., Пичугин М.А.	80
Защитные композиции с комплексными добавками для повышения долговечности бетонных и каменных сооружений	
Пичугин А.П., Шаталов А.А., Балаш В.В., Белан И.В.	84
Характеристика осадка водоотведения как сырьевого ресурса для получения строительных материалов	
Рогова Е.В., Дидоренко А.А.	90
Полифункциональная добавка для регулирования технологических свойств керамических масс на основе грубодисперсных глинистых пород.....	
Кара-сал Б. К., Сат Д. Х., Серен Ш. В.	95
Формирование кристаллизационной структуры при обжиге керамических изделий из отходов угледобычи.....	
Станевич В.Т., Кудрышова Б.Ч., Данилов В.И.	99
Повышение эффективности работы сталефибробетона применительно к строительству в арктических зонах	
Трофимов В. И., Крючков А.Ю., Фоменко С.А.	103
Перспективы развития технологии керамических стеновых материалов в промышленных регионах Сибири	
Столбоушкин А.Ю.	107
Повышение качества керамических строительных материалов на основе отходов обогащения медно-никелевых руд	
Суворова О.В.¹, Кумарова В.А.¹, Некипелов Д.А.², Макаров Д.В.², Маслобоев В.А.²	113
Исследование коррозионной стойкости бетона с поверхностной модификацией пропиточными составами.....	
Фомина Н.Н., Полянский М.М.	118

Исследование влияния отходов обогащения марганцевых руд на объемное окрашивание керамических изделий	
Акст Д.В., Дружинин М.С., Столбоушкин А.Ю.	124
Формирование ячеистой структуры керамики с упорядоченным каркасом из макропор, имеющих стеклокристаллическую оболочку	
Иванов А.И., Столбоушкин А.Ю., Злобин В.И.	129
Исследование золошлаковых отходов с целью установления возможности получения микросфер плазменным методом	
Шеховцов В.В., Волокитин Г.Г., Скрипникова Н.К., Волокитин О.Г., Гафаров Р.Е.	134
Строительные материалы из местного сырья и отходов промышленных производств Кыргызстана	
Касымова М.Т.	138
Выбор исходного сырья на нануровне и механизм отвердевания смеси	
Кучеренко А.А.	144
Фазовый состав минеральных новообразований на границе ядра и матрицы в керамическом материале матричной структуры	
Столбоушкин А.Ю., Верещагин В.И., Иванов А.И., Фомина О.А., Сыромясов В.А.	150
Исследование перегоревших отходов углеобогащения и направления их применения	
Панов С.А., Панова В.Ф., Горячев И.Е.	156
Исследование вещественного состава техногенного и природного глинистого сырья для разработки технологии керамического кирпича	
Фомина О.А., Щербинина Е.О., Столбоушкин А.Ю.	161
Влияние влажности и давления прессования на осадку пресс-масс и свойства стеновой керамики из пылеватых суглинков	
Щербинина Е.О., Фомина О.А., Столбоушкин А.Ю.	167
СЕКЦИЯ 2. ТЕПЛОГАЗОВОДОСНАБЖЕНИЕ, ВОДООТВЕДЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ	173
Исследование переменных режимов работы тепловых сетей при низкотемпературном теплоснабжении	
Рафальская Т.А.	173
Децентрализованные приточно-вытяжные системы	
Мансуров А.Р., Мансуров Р.Ш.	178
Анализ переходных процессов в системах обеспечения микроклимата	
Мансуров Р.Ш.	184
Теплоэффективность остовой и мелкочаистой структуры теплоизоляции трубопроводов	
Чапаев Д.Б., Зоря И.В., Ивакина А.А.	189
Определение тепловых потерь теплосетей от ЦТП-1 г. Осинники на основании данных о замерах температур теплоносителя	
Чапаев Д.Б., Зоря И.В., Логунова О.Я.	193

К вопросу об оценке срока службы теплопроводов с учетом внутреннего коррозионного износа	
Чапаев Д.Б., Оленников А.А., Баклушина И.В.	196
Оценка влияния ветра и солнечной радиации на теплопотребление жилых зданий г. Новокузнецка	
Чапаев Д.Б., Оленников А.А., Смирнова Е.В.	201
Сравнительный анализ пропускной способности металлических и стеклопластиковых труб при строительстве дегазационных газопроводов	
Башкова М.Н., Зоря И.В.	205
Программный пакет для конструирования схем утилизации вторичной энергии от отходящих газов металлургических агрегатов.....	
Оленников А.А.	210
Виртуальная лабораторная работа для моделирования процесса сушки в аппаратах кипящего слоя.....	
Оленников А.А., Чапаев Д.Б.	215
Моделирование температурных полей участка системы гарнисажного охлаждения агрегата сэр при помощи программного комплекса Ansys	
Оленников А.А., Цымбал В.П.	220
Обследование системы отопления многоквартирного жилого дома.....	
Баклушина И. В.	225
Проблемы внутридомовых систем водоснабжения на примере многоквартирного жилого дома	
Баклушина И. В.	227
Преимущества и особенности проектирования систем отопления с поквартирной разводкой	
Казадаев И.А., Баклушина И.В.	230
Надежность систем теплоснабжения: а есть ли кризис?	
Ивакина А.А.	232
Интенсификация работы водопроводных очистных сооружений	
Ланге Л.Р., Ворон Л.В.	235
Повторное использование промывной воды на водопродных очистных сооружениях	
Ланге Л.Р., Ворон Л.В.	240
СЕКЦИЯ 3. СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ	244
Обследование и оценка технического состояния строительных конструкций спортивного зала главного корпуса СибГИУ в условиях действия фактических нагрузок	
Алешин Н.Н., Алешин Д.Н., Колесников А.В., Мальцев В.В.	244
Ресурсосбережение при устройстве стен в индивидуальных домах.....	
Погодин Д.А., Механиков В.М., Бурнякова Е.А	246

Конструктивные особенности фундаментов в энергоэффективных индивидуальных зданиях	
Погодин Д.А., Механиков В.М., Рябцев С.С.	248
Основные проблемы, возникающие при строительстве или реконструкции жилых зданий в условии плотной городской застройки	
Погодин Д.А., Ермолаев А.И.	251
Обеспечение надежности и долговечности строительных конструкций при эксплуатации промышленных сооружений на примере обогатительных фабрик в г.Новокузнецке	
Алешин Д.Н., Алешина Е.А.	253
Процессы теплопереноса через стены с защитно-декоративным слоем из тонкослойной штукатурки	
Власенко М. И., Тихомиров С.А.	257
Составляющие успешной защиты выпускной квалификационной работы	
Матвеев А.А.	263
Вопросы усиления строительных конструкций	
Матвеев А.А.	267
Основы безопасной эксплуатации подкрановых конструкций	
Матвеев А.А.	270
Реконструкция деревянных зданий и сооружений	
Музыченко Л.Н., Буцук И.Н.	273
Усиление металлических конструкций при реконструкции промышленных зданий	
Музыченко Л.Н., Дудин А.А.	280
Пути совершенствования балочных конструкций	
Музыченко Л.Н., Саломатин Н.М., Буцук И.Н.	282
Влияние электрического воздействия различной природы на упрочнение металлических строительных конструкций	
Котова Н.В., Алешина Е.А., Захарова Н.В.	291
Программа расчета и оптимизации ядер жесткости связевых железобетонных каркасов высотных зданий	
Чапаева С.Г.	293
К вопросу о механическом расчете дегазационных трубопроводов из стеклопластиковых труб ЗАО НПП «АЛТИК»	
Чапаева С.Г., Чапаев Д.Б.	297
Исследование причин нарушения работы пластиковых труб системы очистных сооружений бытовых вод угольного разреза	
Котлярова Т.В., Зайцева Л.Г.	301
СЕКЦИЯ 4. АРХИТЕКТУРНОЕ НАСЛЕДИЕ: ВЧЕРА, СЕГОДНЯ, ЗАВТРА	303
Архитектурное наследие города оренбурга с середины XVIII века	
Климова Ю.В.	303

Необходимость и перспективы расширения рынка мелкоштучных стеновых материалов для строительства современного жилья.....	
Шевченко В.В., Столбоушкин А.Ю., Семин А.П.....	309
К вопросу создания комфортной световой среды помещений на основе геометрической модели затенения	
Ершова Д.В.	315
Реновация городских территорий.....	
Дрожжин Р.А.	319
Региональная специфика в научных исследованиях по направлению подготовки архитектура в СибГИУ	
Благиных Е.А.....	323
Сохранение архитектурно-градостроительного наследия в кемеровской области.....	
Чередниченко Ж.М., Благиных Е.А.	326

Научное издание

**АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ
СОВРЕМЕННОГО СТРОИТЕЛЬСТВА
ПРОМЫШЛЕННЫХ РЕГИОНОВ РОССИИ**

*Труды Всероссийской научно-практической конференции
с международным участием*

18–20 октября 2016 г.

Выпуск 1

Под общей редакцией

к.т.н., доц. И.В. Зоря,
д.т.н., доц. А.Ю. Столбоушкина,
к.т.н., доц. А.А. Оленникова

Техническое редактирование и компьютерная верстка

А.А. Оленников

Напечатано в полном соответствии с авторским оригиналом

Подписано в печать 12.10.2016 г.

Формат бумаги 60×84 1/16. Бумага писчая. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 19.89. Уч.-изд. л. 21.20. Тираж 300 экз. Заказ 584.

Сибирский государственный индустриальный университет
654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42.

Издательский центр СибГИУ