

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Российская академия наук
Российская академия архитектуры и строительных наук
Администрация Белгородской области
ФГБОУ ВО Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова
Международное общественное движение инноваторов
«Технопарк БГТУ им. В.Г. Шухова»
Всероссийский фестиваль науки
Областной фестиваль науки



Сборник докладов

Часть 4

**Проблемы строительного материаловедения.
Нanomатериалы и нанотехнологии**

Белгород

23-24 октября 2023 г.

УДК 005.745

ББК 72.5

М 43

М 43 **XV Международный молодежный форум**
«Образование. Наука. Производство»
[Электронный ресурс]: Белгород:
БГТУ им. В.Г. Шухова, 2023. – Ч. 4. – 65 с.

ISBN 978-5-361-01214-5

В сборнике опубликованы доклады студентов, аспирантов и молодых ученых, представленные по результатам проведения XV Международного молодежного форума «Образование. Наука. Производство»

Материалы статей могут быть использованы студентами, магистрантами, аспирантами и молодыми учеными, занимающимися вопросами энергоснабжения и управления в производстве строительных материалов, архитектурных конструкций, электротехники, экономики и менеджмента, гуманитарных и социальных исследований, а также в учебном процессе университета.

УДК 005.745

ББК 72.5

ISBN 978-5-361-01214-5

©Белгородский государственный
технологический университет
(БГТУ) им. В.Г. Шухова, 2023

Оглавление

Вициенко М.И., Рязанова А.Ю., Муравьев С.А. ОСОБЕННОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ САМОВОСТАНАВЛИВАЮЩЕГОСЯ БЕТОНА.....	5
Воробьев Е.Л., Ильин Р.О. К ВОПРОСУ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КОМПЛЕКСНЫХ ХИМИЧЕСКИХ ДОБАВОК ДЛЯ ЗИМНЕГО БЕТОНИРОВАНИЯ .	9
Данилов Д.Ю., Тольпин Д.А. ВОДОРЕДУЦИРУЮЩЕЕ ДЕЙСТВИЕ СУПЕРПЛАСТИФИКАТОРОВ В БЕТОННЫХ СМЕСЯХ С МИНЕРАЛЬНЫМИ ДОБАВКАМИ.....	13
Долгова А.В. INFLUENCE OF DIOPSIDE-CONTAINING FILLERS ON PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES	17
Жанатулы Айдынжан НАНОТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ: ПЕРСПЕКТИВЫ И ПРИМЕНЕНИЕ	19
Жилин Д.А., Черских Д.Ю., Чуйко К.К. ОБЩИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О КОРРОЗИИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И МЕТОДАХ ИХ ЗАЩИТЫ	23
Катасонова А. А., Коломиец М. Р. РАЗРАБОТКА СОСТАВА НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНОЙ МАТРИЦЫ ДЛЯ СКЛЕИВАНИЯ ДЕРЕВЯННОГО БРУСА.....	27
Лисняк В.В., Воловичева Н.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЫСОКОГЛИНОЗЕМИСТЫХ МАТРИЧНЫХ (ВЯЖУЩИХ) СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ВЫСОКОДИСПЕРСНОГО А-AL ₂ O ₃	31
Маркова И.Ю., Рулев Д.А. Степаненко М.А. ТЕХНОЛОГИИ РЕГЕНЕРАЦИИ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ	34
Моторыкин Д.А., Воробьев Е.Л., Ильин Р.О. ВЛИЯНИЕ СУПЕРПЛАСТИФИКАТОРА MELFLUX 1641F НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННОГО ГИПСОВОГО ВЯЖУЩЕГО	38
Романюк Д.С., Домарев С.Н., Ручий А.Ю., Форова Е.В.	

ХИМИЧЕСКОЕ ОСАЖДЕНИЕ ПОКРЫТИЙ ИЗ SiO ₂ НА ПОЛИИМИДНОЙ ПЛЕНКЕ	42
Сытов Г.А., Рыжих В.Д., Лопухов Н.Р. ОСОБЕННОСТИ СОЗДАНИЯ ЗАКЛАДОЧНЫХ РАСТВОРОВ ДЛЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК	47
Титенков В.В ТИПЫ КОРРОЗИИ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ	52
Токарев В.А, Курлыкина А.В. РЕМОНТ ДОРОЖНЫХ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ В ЗИМНЕЕ ВРЕМЯ	56
Украинцева Н. В. СОВРЕМЕННЫЕ ВИДЫ И ТЕХНОЛОГИИ АРХИТЕКТУРНОГО ОСТЕКЛЕНИЯ ФАСАДОВ ЗДАНИЙ. ПРОБЛЕМЫ КРУПНОФОРМАТНОГО ОСТЕКЛЕНИЯ. СМАРТ-СТЕКЛО	60
Чашин Д.Ю., Толыпин Д.А. ПРОЦЕССЫ СТАРЕНИЯ И РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИИ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ.....	62

*Вициенко М.И., Рязанова А.Ю., Муравьев С.А.
Научный руководитель: Огурцова Ю.Н., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ОСОБЕННОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ САМОВОССТАНАВЛИВАЮЩЕГОСЯ БЕТОНА

Бетон является одним из наиболее распространенных строительных материалов в мире, благодаря своей прочности и экономичности. Ежегодно его производят в объеме более десяти миллиардов тонн готовой бетонной смеси [1–3]. На сегодняшний день самой распространенной проблемой использования бетона является нарушение его структуры в процессе различного рода взаимодействия (агрессивной среды, механические воздействия, вибрации) [4]. Разработанный голландскими учеными бетон, способный самовосстанавливаться является инновационным решением вопроса «залечивания» трещин.

Самовосстанавливающийся бетон – это революционный строительный материал, срок эксплуатации которого дольше за счет способности восстанавливать себя, возвращаясь в исходное состояние

Осенью 2021 года научной группой Дальневосточного федерального университета в содружестве с исследователями из других российских институтов России, а также Индии и Саудовской Аравии, изобрели бетонную смесь с самовосстанавливающим эффектом.

По сравнению с обычным бетоном инновационная разработка отличается улучшенными характеристиками, несмотря на то что всё еще находится в процессе разработки.

Новые свойства материалу придают добавленные в состав грибки и споры бактерий, которые способны выжить в щелочных условиях, превращая обычный бетон в самовосстанавливающийся. Восстановление материала происходит за счет жизнедеятельности бактерий, в процессе которой они вырабатывают вещества.

Существует 4 разновидности самовосстановления бетона:

1. С полыми волокнами;
2. Микрокапсулирование;
3. Расширяющие добавки;
4. Бактерии.

Следует выделить один более действенный способ создания инновационного бетона – это ввод микробактерий в состав бетонной смеси.

Активно используют бактерии-реставраторы. Принцип работы изображен на рис. 2 и заключается в следующем: когда образуются трещины и в них попадает влага, то начинается процесс активации бактерий, «залечивающих» бетон. В настоящее время данная технология может полноценно раскрыть свой потенциал в условиях достаточной влажности, так как именно взаимодействие активно используемых бактерий с влагой приводит к самозалечиванию бетона.



Рис.2 Принцип «залечивания» бетона бактериями-реставраторами

Многих исследователей также интересует то, что механические свойства самовосстанавливающегося бетона (в первую очередь статические) могут быть улучшены или восстановлены после заживления трещин (Табл. 1) [5].

Таблица 1 – Сравнение характеристик обычного и самовосстанавливающегося бетона

Характеристики	Обычный бетон	Самовосстанавливающийся бетон
Образование трещин	+	Временно
Прочность при сжатии	B15	B25
Плотность бетона, кг/м ³	≥2500	≥1800
Прочность при изгибе	B _{тб} 6.8	B _{тб} 8
Срок службы, лет	≥100	≥200
Стоимость, руб.	3,325	6,350

Анализируя показатели самовосстанавливающегося и обычного бетона, можно сделать вывод, что разработка имеет перспективу внедрения и более эффективна в эксплуатации. Острая необходимость применения данной технологии наблюдается в местах, где затрудненным является проведение ремонтных работ и регулярный

осмотр сооружений [6]. Сравнивая самовосстанавливающийся и обычный бетон стоит отметить, что инновационный материал делает из экологически вредного бетона экологически чистый. Также материал имеет преимущество с точки зрения экономики. Сокращение ежегодных трат на мелкий ремонт позволит выделить больше средств на строительство новых объектов [7–9].

Современный технологический процесс получения самовосстанавливающегося бетона может выступать недостатком, а именно, получаемый материал, эффективен только на этапе возникновения в конструкции микротрещины (максимальная ширина 150 мкм). Стоимость биобетона в значительной степени выше стоимости обычного бетона, что уменьшает возможность массового использования при строительстве [6]. На данный момент всё ещё продолжают исследования, которые направлены на снижение затрат и поиск более дешевого материала.

Самовосстанавливающийся бетон на данный момент находится на экспериментальном уровне. Материал безусловно является перспективным, так как его применение позволит увеличить срок эксплуатации зданий и сократит затраты на их обслуживание и ремонт. Самовосстанавливающийся бетон не только намного эффективнее, чем обычный бетон, он также позволяет превратить бетон из экологически вредного в экологически чистый материал. У него есть главный недостаток в настоящее время – высокая стоимость. Самовосстанавливающийся бетон в ближайшем будущем будет активно применяться, а его использование будет изучаться в новых сферах.

Грант № Пф-1/23 в рамках реализации федеральной программы поддержки университетов «Приоритет 2030» на базе БГТУ им. В.Г. Шухова.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Строкова, В.В. Полиморфизм и морфология карбонатов кальция в технологиях строительных материалов, использующих бактериальную биоминерализацию (обзор) / В.В. Строкова, У.Н. Духанина, Д.А. Балицкий [и др.] // Строительные материалы. – 2022. – № 1-2. – С. 82-122.
2. Ильина, Л.В. Самовосстанавливающийся бетон – инновационный строительный материал / Л.В. Ильина, Л.Н. Тацки, Н.А. Макарова, К.С. Дьякова // Труды Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета (Сибстрин). – 2022. – Т. 25,

№ 1/2(83/84). – С. 60-68.

3. Духанина, У.Н. Влияние микробной карбонатной минерализации на гидрофобность поверхности цементного камня / У.Н. Духанина, В.В. Строкова, Д.А. Балицкий // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2020. – № 7. – С. 19-25.

4. Кузнецова, Е.В. Применение самовосстанавливающегося бетона / Е.В. Кузнецова, Э.А. Аубакирова, Е.И. Грушина // Аллея науки. – 2021. – Т. 1, № 4(55). – С. 228-232.

5. Бабаян, А.Д. Самовосстанавливающийся бетон: свойства и технология работы / А.Д. Бабаян, С.М. Аксенова // Техника и технологии строительства. – 2019. – № 2(18). – С. 28-34.

6. Жукова, Г.Г. Исследование применения самовосстанавливающегося бетона / Г.Г. Жукова, А.И. Сайфулина // Construction and Geotechnics. – 2020. – Т. 11, № 4. – С. 58-68.

7. Кодзоев, М.Б.Х. Самовосстанавливающийся бетон / М.Б.Х. Кодзоев, С.Л. Исаченко // Бюллетень науки и практики. – 2018. – Т. 4, № 4. – С. 287-290.

8. Енютина, М.К. Анализ и перспективы использования самовосстанавливающегося бетона / М.К. Енютина // Устойчивое развитие науки и образования. – 2019. – № 8. – С. 93-99.

9. Обозная, Д.Р. Характеристики бетона, состав, преимущества и недостатки. Самовосстанавливающийся бетон / Д.Р. Обозная, Е.Л. Ларских // МОЛОДЫЕ ИССЛЕДОВАТЕЛИ в ОТВЕТ на СОВРЕМЕННЫЕ ВЫЗОВЫ: сборник статей II Международного научно-исследовательского конкурса, Петрозаводск, 09 ноября 2022 года. – Петрозаводск: Международный центр научного партнерства «Новая Наука» (ИП Ивановская И.И.), 2022. – С. 98-101.

Воробьев Е.Л., Ильин Р.О.

*Научный руководитель: Чернышева Н. В. д-р техн. наук, проф.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

К ВОПРОСУ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КОМПЛЕКСНЫХ ХИМИЧЕСКИХ ДОБАВОК ДЛЯ ЗИМНЕГО БЕТОНИРОВАНИЯ

С расширением масштабов жилищного строительства все более актуальным становится решение ряда задач, связанных с зимним бетонированием. Изучению теоретических и практических вопросов, связанных с твердением бетона при отрицательных температурах, а также с процессами его структурообразования [1-4], посвящены работы многих исследователей. Однако остаются дискуссионными вопросы, связанные с механизмом действия низких температур на свойства бетона с использованием противоморозных добавок.

В осенне-зимний период используют специальные технологические приемы, которые позволяют проводить работы с бетоном заданных свойств и обеспечивают благоприятные процессы твердения, устраняя влияния воздействия температур:

-прогрев материала смеси бетона

-изоляция покрытия

-химические добавки, которые понижают температуру замерзания жидкой фазы, ускоряют гидратацию цемента.

-прогрев бетона.

На практике используют одновременно комбинирование нескольких методов [5].

В настоящее время в технологии бетона произошло повышение эффективности добавок различной природы. Регулируется состав, структура, свойства бетонной смеси и бетона в зависимости от климатических условий, технологии и эксплуатации.

Применение химических добавок решают различные технологические проблемы.

С применением добавок производства в зимний период в бетонных работах предпринимались раньше. Добавление различные соли при исследовании твердения бетона на морозе (метод холодного бетонирования). Был применен при строительстве Волго-Донского судоходного канала [6].

Процессы твердения цементного камня в бетонных с добавлением хлористых солей при низких температурах изучались различными учеными.

Затем началось исследование и опытное применение строительных растворов с добавками поташа.

Позднее исследуют применение нитрита натрия к бетону и строительным растворам как противоморозную добавку.

Далее было исследовано и предложено ряд противоморозных добавок с применением нитрита кальция (ННК), нитрит-нитрита хлорида кальция (ННХК), ННХК в сочетании с мочевиной (ННХКМ), нитрат кальция с мочевиной (НКМ), содопоташная смесь, аммиачная вода. Одни успешно стали применяться в строительстве. Но разрешение получили для использования четыре соли: нитрит натрия, хлористый натрий, поташ и хлористый кальций. Эти добавки и рекомендуют сейчас.

Преимуществом беспрогревного метода зимнего бетонирования: простота производства работ, которые чуть отличают их от летних условий, применение неподогретых заполнителей при приготовлении бетонной смеси на стройплощадках, бетонирование при ограниченной энерговооруженности объекта.

Но есть и ряд недостатков в беспрогревном методе: замедленный темп твердения, большой расход добавок и их дефицитность, отрицательное влияние некоторых добавок на долговечность бетона.

Происходит изменения структуры и свойств воды затворения в бетонах с противоморозными добавками изменение объема системы и отдельных и отдельных ее фаз в зависимости от температуры.

Противоморозные добавки можно разделить на три группы [7].

К первой группе относят добавки, понижающие температуру замерзания жидкой фазы бетона - это слабые ускорители или замедлители схватывания и твердения цемента (нитрат натрия и хлорид натрия); слабые электролиты (водные растворы аммиака); неэлектролиты (многоатомные спирты и карабамид)

Ко второй группе относятся добавки, совмещающие сильное ускорение процессов схватывания и твердения цемента с антифризными свойствами (поташ, добавки на основе хлорида кальция с хлоридом натрия, нитрат нитратом кальция, мочевиной и т.д.)

При бетонировании зимой применяются вещества со слабыми антифризными свойствами, сильные ускорители схватывания и твердения бетонной смеси и бетона. Быстро образуют плотную микрокапиллярную структуру цементного камня.

Противоморозные добавки меняют фазовый состав продуктов гидратации цементного камня в бетоне, влияют на водоотделение, удобоукладываемость. Положительно влияют на микроструктуру цементного камня, на поровую структуру и зону контакта с заполнителем. Это улучшает физико-механические показатели бетона: прочности при сжатии, модуля упругости, сцепление с арматурой. Противоморозные добавки выбирают в зависимости от возводимых конструкций и условий эксплуатации.

В настоящее время широко применяют нитрит натрия, поташ, формиат натрия [8].

Количество добавок колеблется от 3 до 18% в зависимости от расчетной температуры твердения бетона. Большие дозировки добавок растворимых солей повышают себестоимость бетона, а также замедляют рост, прочность и появление высолов на поверхности. Хлористые соли более 2% вызывают коррозию арматуры в железобетоне а поташ разрушающе действует на бетон при наличии реакционного заполнителя. Не более 15% поташа не разрушают гидросиликаты и гидроалюминаты кальция цементного камня [9-10].

Отдельное использование противоморозных добавок не обеспечивают нужный противоморозный эффект, потому что в составе бетона большое количество воды. Избыток воды создает на поверхности заполнителей толстые водные пленки, они замерзают первыми и препятствуют нормальной гидратации [11].

Признаны ускоряющего и антимерозного действия добавки с эффективными роданидов, тиосульфатов щелочных и щелочно-земельных металлов.

При помощи химических добавок можно снизить водосодержание бетонной смеси. Однако их эффективность может замедлять процессы схватывания и твердения. Использование комплексных добавок, сочетающие в себе пластификатор и ускоритель приводит к затвердеванию бетона с хорошими свойствами при эксплуатации [12].

Но не все добавки можно совмещать, т.к. это может привести к коагуляции и полной нейтрализации ускоряющего пластифицирующего действия [13-14].

Совместимость обеспечивать и поддерживать технологические эффекты требует время с учетом факторов на стадиях приготовления.

Не выработаны общие подходы к оценке совместимости состава, добавок и цемента.

Актуальной проблемой остается создание комплексных добавок.

Под комплексными добавками понимают рационально обоснованные комбинации собственно химических, а также

химических и минеральных добавок. Нужно учитывать возможность проявления эффектов [15].

В настоящее время разработаны комплексные модификаторы для работы в зимних условиях. Этому способствовало развитие физической, коллоидной химии и др. фундаментальных наук разработаны новые комплексные модификаторы бетона.

Из теоретического анализа литературы следует что значимость добавок-регулятора скорости твердения цементов в зимнее время не снижается. Использование комплексных противоморозных добавок при зимнем бетонировании эффективно. Поэтому необходимо исследований по разработке комплексных противоморозных добавок с заменяя дорогостоящие компоненты на дешевые, позволяющие значительно улучшить качество бетона.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лесовик, В. С. Модифицированный безгипсовый портландцемент для монолитного строительства : монография / В. С. Лесовик, Д. В. Савин, Н. М. Тольпина ; Федеральное агентство по образованию, Белгородский гос. технологический ун-т им. В. Г. Шухова. – Белгород : Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2009. – 80 с.
2. Миронов С.А., Лагойда А.В. Бетоны, твердеющие на морозе.- М.:Стройиздат, 1975.-264 с.
3. Кузьмин Е.Д. Бетоны с противоморозными добавками.-Киев: Будівельник, 1976.-108 с.
4. Мчедлов-Петросян О.П., Чернявский В.Л. Структурообразование и твердение цементных паст и бетонов при пониженных температурах.-Киев: Будівельник, 1974.-118 с.
5. Шейкин А.Е., Добшиц Л.М. Цементные бетоны высокой морозостойкости.-Л.:Стройиздат, 1989.-128 с.
6. Крылов Б.А., Лагойда А.В., Апостолова Г.П. Критическая прочность бетонов с противоморозными добавками//Бетон и железобетон, 1979.-№12,-С.27-28.
7. Brameshuber W. Selbst-verdichtender Beton//Verlag Bau+Tchnik, 2004/-67 s.
8. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика. 2-е изд. М.:Стройиздат, 1998.-768 с.
9. Миронов С.А. Зимнее бетонирование и тепловая обработка бетона.-М.:Стройиздат, 1975.-264с.

10. Шпынова Л.Г. и др. Особенности гидратации портландцемента при отрицательных температурах//Докл. АН СССР, 1979.-т.245.-№4.-С.982-985.

11. Каталог химических добавок для бетонов и растворов. -М.: МАДИ/ГТУ, 2002.-10 с.

12. Ушеров-Маршак А.В. Добавки в бетон: прогресс и проблемы//Строительные материалы, 2006.-№10.-С.8-12.

13. Ушеров-Маршак А.В. Кинетическая селективность действия добавок на процессы твердения цемента//Неорганические материалы, 1999.-т.35.-№12,-С.1531-1534.

14. Ушеров-Маршак А.В. Оценка эффективности влияния химических и минеральных добавок на ранние стадии гидратации цемента//Неорганические материалы, 2004.-т.40.-№8.-С. 1014-1019.

15. Шитиков Е.С. и др. Особенности применения комплексов химических добавок для производства бетонных смесей и бетонов различного назначения//Строительные материалы, 2005.-№6.-С.38-40.

УДК 691.3

Данилов Д.Ю., Тольпин Д.А.

Научный руководитель: Тольпина Н.М., канд .техн, наук, проф.

Белгородский государственный технологический университет

им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ВОДОРЕДУЦИРУЮЩЕЕ ДЕЙСТВИЕ СУПЕРПЛАСТИФИКАТОРОВ В БЕТОННЫХ СМЕСЯХ С МИНЕРАЛЬНЫМИ ДОБАВКАМИ

Химические добавки – одно из наиболее эффективных средств для улучшения или изменения технологических параметров бетонной смеси, экономии ее компонентов и ряда других свойств. Широко применяются суперпластификаторы, увеличивающие сохраняемость подвижности смеси, на основе пластифицирующего и замедляющего эффектов. Они позволяют снизить водоцементное отношение смеси, увеличить ее подвижность, улучшить характеристики бетонного изделия [1, 2]. Неоднократно подтверждался тот факт, что суперпластификаторы почти не эффективны в смесях с низким содержанием цемента, однако этот эффект частично или полностью нивелируется путем включения в состав смеси мелкодисперсных минеральных порошков [1, 2].

В последние годы использование химических добавок приобрело широкомасштабный характер. В настоящее время имеются сотни

разновидностей химических добавок от десятков разных производителей, потому выбор эффективной добавки должен основываться не только на заданных характеристиках, но и на экспериментальных данных, полученных на конкретных сырьевых материалах. Исследования, выполненные на кафедре СМиК БГТУ им. Шухова показывают, что важное значение для эффективной работы суперпластификаторов имеют электроповерхностные заряды заполнителей и наполнителей, и что для наибольшей эффективности работы суперпластификатор с заполнителем и наполнителем должны быть противоположны по знаку [2, 3, 4].

Для исследований были выбраны три суперпластификатора: Реопласт ПКЭ 3392 (ТУ 5745-002-25842763-2014), Полипласт ПК тип R (EN 934-2, ГОСТ 24211, ТУ 20.59.59-098-58042865-2022), Полипласт Линамикс СП-180. Использовали следующие дозировки: Реопласт - 0,67%, Полипласт - 0,6%, Линамикс - 0,7%. Использовали состав бетона с соотношением цемент:заполнитель=1:8, соответствующий бетону класса В15 с низким содержанием цемента. Вяжущее - портландцемент ЦЕМ I 42,5 Н ЗАО «Осколцемент» (т н.схв=230 мин; НГ=26 %; С3S=61,59%, С2S=14,2 %; С3А=6,83 %, С4АF=3,73 %). В качестве крупного заполнителя использовали гранитный щебень крупностью 3-8 мм. Мелкий заполнитель - кварцевый песок с модулем крупности $M_{кр}=2,15$. Использовали 4 различные конфигурации для установления влияния суперпластификатора на смесь: составы с добавлением известняка ($S_{уд}=3797 \text{ см}^2/\text{г}$) содержанием 40% и 70% от массы вяжущего и добавлением кварца ($S_{уд}=3866 \text{ см}^2/\text{г}$) с тем же содержанием. Исследования проводили на встряхивающем столике (ГОСТ 310.4-81). Составы представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Состав смесей

Состав	Цемент, г	Микро-заполнитель	Щебень, г	Песок, г
Кварц (40%)	90	36	337	337
Известняк (40%)	90	36	337	337
Кварц (70%)	90	63	323	323
Известняк (70%)	90	63	323	323

Водоредуцирующее действие СП подбиралось методом проб, пока расплыв конуса (РК) Абрамса не достигал нормативных значений (106-115 мм). Значения В/Ц и РК представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты исследования

Наполнитель	Реопласт ПКЭ 3392		Полипласт ПК типа R		Полипласт Линамикс 180	
	В/Ц	РК, мм	В/Ц	РК, мм	В/Ц	РК, мм
Кварц (40%)	0,64	112	0,56	110	0,59	112
Известняк (40%)	0,61	111	0,56	113	0,56	112
Кварц (70%)	0,50	113	0,52	109	0,50	108
Известняк (70%)	0,50	110	0,51	109	0,52	107

В результате исследований были выявлены следующие закономерности. Реопласт хуже всего работает в составах с пониженным уровнем микронаполнителя. Там, где содержание микронаполнителя больше (составы с 70%-ным содержанием кварца и известняка), Реопласт работает лучше остальных химических добавок (значения РК выше при равных значениях В/Ц – 111,5 мм против 109 и 107,5 мм).

Полипласт ПК типа R, в отличие от Реопласта ПКЭ 3392, эффективен в составах с меньшим содержанием микрозаполнителей (В/Ц=0,56 против, в среднем, 0,625 и 0,575). В составах же с 70%-ным содержанием он ведет себя несколько хуже – смесь получается жестче, чем у смеси с добавлением Реопласта.

Самые неоднозначные результаты получились у Линамикс: он эффективен в меньшей степени, чем остальные добавки, в составах с повышенным содержанием микрозаполнителей, и в то же время показал

средние результаты в составах с 40%-ным содержанием. Однако у данного СП есть преимущество перед остальными добавками, заключающееся в совместимости со всеми типами портландцемента [5]. Возможно, при увеличении дозировки до более оптимального значения 0,75%, полученной в исследовании [6], Линамикс показал бы лучшие результаты.

Таким образом, при разных конфигурациях смеси в зависимости от вида наполнителя и его дозировки, суперпластификаторы могут вести себя по-разному, поэтому нужно подбирать химическую добавку путем экспериментальной проверки ее эффективности на реальных составах. С ростом дозировки наполнителя с 40 до 70 % эффективность действия СП возрастала на 22-28 %, некоторые суперпластификаторы проявляют чувствительность к виду наполнителя.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тольпина, Н.М. Влияние микронаполнителей на эффективность суперпластификаторов и прочность бетонов с низким содержанием цемента / Н. М. Тольпина, Е. Н. Хахалева, Д. Ю. Данилов, Д. Ю. Чашин // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2023. – № 8. – С. 8-15.

2. Рахимбаев, Ш.М. Об эффективности действия суперпластификаторов в мелкозернистых бетонах в зависимости от вида мелкого заполнителя / Ш.М. Рахимбаев, Н.М. Тольпина, Е.Н. Хахалева // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. - 2010. - № 3. - С.60–63.

3. Жигалов, М. Ю. Повышение эффективности разжижения бикомпонентных минеральных суспензий суперпластифицирующей добавкой / М. Ю. Жигалов, Н. Р. Варнавский // Образование. Наука. Производство : Сборник докладов XIV Международного молодежного форума, Белгород, 13–14 октября 2022 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. - 2022. – С. 30-35.

4. Рахимбаев, Ш. М. Влияние электроповерхностных свойств заполнителей и их пористости на разжижающую способность добавок пластифицирующего действия / Ш. М. Рахимбаев, Н. М. Тольпина, Е. Н. Хахалева // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2017. – № 12. – С. 27-31.

5. Вовк, А. И. Добавки на основе отечественных поликарбосилатов / А. И. Вовк // Технологии бетонов. – 2013. – №

4(81). – С. 13-15.

6. Белькова, Н. А. Исследование влияния вида цемента на эффективность действия добавок-пластификаторов / Н. А. Белькова, А. С. Литвинова, Г. Г. Супрунчик // Химия, физика и механика материалов. – 2019. – № 4(23). – С. 33-45.

УДК 691.678.686

Долгова А.В.

Научный руководитель: Афонина Е.В., доц.

*Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань, Россия*

INFLUENCE OF DIOPSIDE-CONTAINING FILLERS ON PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES

In modern construction, along with natural stone, concrete, wood, ceramics, metals, various polymer materials are widely used. Since the 70 of the last century, the volume of production of plastics, synthetic resins and elastomers and their use in construction has been steadily increasing. The growth rates of polymer production outstrip, for example, the growth rates of metal production by 25-30% [1].

The use of natural calcium-magnesium silicates, for example, diopside, wollastonite, tremolite, etc. is of interest for the production of refractory bricks, ceramic materials, polymer coatings, rubber compounds and other materials [2].

Diopside – has high strength characteristics and hardness. It is also characterized by high thermal conductivity, which makes it a promising filler for construction.

Diopside-containing natural fillers in our country are obtained from diopside polymineral rocks of the Slyudyansk deposit (Irkutsk region). However, the development of this deposit is limited, due to the high cost of production. In addition, large labor costs are required for grinding solid rock, which causes the practical absence of a dispersed diopside-containing filler on the domestic market, despite its demand by industry [3]. This makes the synthesis of diopside-containing fillers based on affordable, inexpensive domestic raw materials relevant. Metallurgical slags, which include acidic silicon dioxide and basic oxides of calcium, magnesium and iron, are calcium magnesium silicates and can be considered as diopside-containing fillers [4].

Of particular interest, from an economic and environmental point of view, is the use of rice husk ash for the production of diopside-containing

fillers, which has been successfully used as a source of amorphous silicon dioxide for synthesis, wollastonite [5].

The purpose of the work is to determine the effect of the modifying action of diopside-containing fillers based on man-made and vegetable raw materials in epoxy compositions on the complex of operational indicators.

The objectives of the study are: analysis of the physical and mechanical characteristics of epoxy compositions filled with these fillers.

The work used epoxy resin diene ED-20 (GOST 10587-84), hardener aminoalkylphenol (AF-2) (TU 2494-052-00205423-2004) at room temperature for 7 days.

Diopside-containing fillers were obtained on the basis of metallurgical slag (DS₁) and rice husk ash (DS₂).

To assess the wear resistance, epoxy coatings were applied to an aluminum sheet with a thickness of 1 mm and then ground to Ra = 1,00-1,20 microns.

The wear resistance of filled epoxy materials was determined on a vertical optimizer IZV-1 in the following mode: the specific pressure of the counterbody on the test surface of the sample P = 1 MPa, the sliding speed V = 1 m / sec, without lubrication.

Hardness was determined by the Shore method GOST 24621-91.

Analysis of the influence of the studied diopside-containing fillers (DS₁ – filler based on metallurgical slag, DS₂ – filler based on rice husk ash) on the physical and mechanical characteristics of epoxy polymers showed (table 1) that there is a natural increase in wear resistance (up to 33-47%). At the same time, the hardness of the filled compositions increases (up to 35 %).

At the same time, despite the higher content of diopside in the filler obtained on the basis of rice husk ash, DS₁ provides the best physical and mechanical characteristics of epoxy compositions (Table 1).

Table 1 – Operational properties of epoxy materials with diopside-containing fillers

Type of filler	Hardness, HSD	Wear $\times 10^{-6}$, m
Basic composition	37,2	17,7
DS ₁	50,2	9,7
DS ₂	39,4	10,8

Note: the filler content is 20 wt. h. per 100 wt. h. ED-20.

Thus, epoxy materials with diopside-containing fillers have higher hardness and wear resistance. At the same time, the filler based on metallurgical slag significantly increases the hardness of materials. Therefore, the use of diopside-containing fillers is effective for the modification of epoxy polymers [6].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ахметзянов, Р. Р. Разработка составов и технологии изготовления дисперсно наполненных композиционных материалов для узлов трения / Р. Р. Ахметзянов, Т. Н. Вагизов, Э. Р. Галимов // Вестник казанского государственного технического университета им. А. Н. Туполева. – 2019. – Т. 75, № 2. – С. 61–65.
2. Valeeva, A. R. Anti-friction epoxy coatings modified with rice husk / A. R. Valeeva, A. R. Gimranova, E. M. Gotlib, E. R. Galimov // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – № 3. – P. 1-8.
3. Земнухова, Л. А. Изучение сорбционных свойств шелухи риса и гречихи по отношению к нефтепродуктам / Л. А. Земнухова, Е. Д. Шкорина, И. А. Филиппова // Химия растительного сырья. – 2005. – № 2. – С. 51–54.
4. Готлиб, Е. М. Зола рисовой шелухи как наполнитель эпоксидных материалов / Е. М. Готлиб, Е. С. Ямалеева, И. М. Твердов // Актуальные проблемы науки о полимерах : сборник трудов Всероссийской научной конференции (с международным участием) преподавателей и студентов вузов / Казанский национальный исследовательский технологический. – Казань, 2020. – С. 7.
5. Земнухова, Л. А. Исследование состава липидов в отходах производства риса и гречихи / Л. А. Земнухова, С. В. Исай, Е. Д. Шкорина // Журнал прикладной химии. – 2006. – Т. 79, № 9. – С. 1554–1557.
6. Комаров, В. И. Проблема использования вторичных ресурсов отраслей пищевой и перерабатывающей промышленности и их влияние на окружающую среду / В. И. Комаров, Е. И. Лебедев, Т. А. Мануйлова // Пищевая промышленность. – 1998. – № 2. – С. 6–10.

УДК 627

Жанатулы Айдынжан

Научный руководитель: Кузнецова К.А., ст. преп.

*Томский государственный архитектурно-строительный университет
г. Томск, Россия*

НАНОТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ: ПЕРСПЕКТИВЫ И ПРИМЕНЕНИЕ

Нанотехнологии в строительстве представляют собой использование материалов и устройств, созданных на молекулярном

уровне. Это новое направление, которое обладает огромным потенциалом для улучшения процессов строительства и создания более эффективных и инновационных зданий. Одной из основных перспектив нанотехнологий в строительстве является их способность усовершенствовать традиционные строительные материалы, делая их более прочными, легкими, устойчивыми к воздействию внешних факторов, таких как влага или огонь, а также улучшающими их теплоизоляционные и звукоизоляционные свойства.

Нанотехнологии – это область науки и техники, изучающая и манипулирующая материалами и устройствами на нанометровом уровне (1 нанометр равен одной миллиардной части метра). В последние десятилетия нанотехнологии стали широко применяться в различных отраслях, включая медицину, электронику и энергетику. Одним из основных направлений их применения стало строительство.

В строительстве нанотехнологии существенно влияют на улучшение свойств материалов, конструкций и процессов строительства. Они позволяют создавать более прочные, долговечные и экологически безопасные материалы, а также улучшать энергоэффективность зданий. Вот несколько примеров применения нанотехнологий в строительстве.

Наномодифицированные материалы

Наночастицы добавляются в строительные материалы, такие как бетон или керамика, чтобы улучшить их физические и химические свойства. Например, добавление наночастиц к бетону делает его более прочным и устойчивым к разрушениям. Наночастицы также могут придавать материалам особые свойства, например, устойчивость к загрязнениям или водоотталкивающие свойства.

Нанощубы и покрытия

Нанотехнологии используются для создания специальных покрытий и шуб для защиты строительных материалов от различных внешних воздействий, таких как коррозия, износ или загрязнение. Нанощубы создают защитный барьер, который продлевает срок службы материала и улучшает его эстетические качества.

Нанороботы и сенсоры

Нанотехнологии позволяют создавать миниатюрные роботы и сенсоры, которые могут применяться в строительных процессах. Эти роботы могут выполнять задачи, недоступные для обычных машин или рабочих. Например, они могут мониторить состояние зданий, обнаруживать дефекты или автоматически выполнять ремонтные работы.

Улучшение энергоэффективности

Нанотехнологии могут использоваться для создания энергоэффективных материалов и систем. Наночастицы могут быть использованы в солнечных панелях для увеличения их эффективности и снижения затрат на производство. Также, нанотехнологии позволяют создавать материалы с повышенной теплоизоляцией, что способствует снижению энергопотребления в зданиях.

Наноструктурированные материалы

Нанотехнологии позволяют создавать материалы с уникальными механическими свойствами. Например, нанотрубки и нановолокна могут быть использованы для создания легких и прочных материалов, таких как композитные материалы или стекловолокно, которые находят широкое применение в строительстве.

Самоочищающиеся поверхности

Нанотехнологии применяются для создания поверхностей, которые способны самостоятельно очищаться от загрязнений. Например, наночастицы могут использоваться для создания самоочищающихся оконных стекол или фасадов зданий. Это позволяет сократить затраты на их обслуживание и сохранить эстетический вид здания на долгие годы.

Улучшение звукоизоляции

Нанотехнологии могут быть применены для создания материалов с высокой звукоизоляцией. Наноструктурированные материалы, такие как нанопористые панели или аэрогели, позволяют снизить проникновение звуковой волны и улучшить комфорт внутри помещений.

Наносистемы безопасности

Нанотехнологии могут использоваться для создания систем безопасности в зданиях. Например, наночастицы могут быть встроены в датчики для обнаружения утечек газа или пожаров. Это повышает безопасность и позволяет оперативно реагировать на чрезвычайные ситуации.

Наноэлектроника и умный дом

Нанотехнологии позволяют создавать электронные компоненты и устройства малых размеров и высокой производительности. Это открывает возможности для создания умных домов и зданий, где различные системы управления и связи интегрируются для обеспечения комфорта, безопасности и энергоэффективности.

3D-печать и наноструктурирование

Сочетание нанотехнологий с 3D-печатью позволяет создавать сложные формы и структуры с высокой точностью. Это особенно

полезно при строительстве прототипов или создании индивидуальных элементов архитектуры.

Применение нанотехнологий в строительстве имеет огромный потенциал для улучшения качества и эффективности строительных проектов. Однако, важно учитывать потенциальные риски и негативные последствия, такие как вопросы безопасности и окружающей среды. Поэтому необходимо проводить дальнейшие исследования и разработки для оптимизации и применения нанотехнологий в строительстве.

Использование нанотехнологий в строительстве открывает новые горизонты и возможности для создания более инновационных, устойчивых и удобных зданий. Это позволяет снизить вредное воздействие на окружающую среду, улучшить качество жизни людей и сделать строительство более эффективным и экономичным.

Нанотехнологии в строительстве представляют собой увлекательное и перспективное направление, которое применяется для создания инновационных решений и улучшения процессов строительства. Их применение позволяет значительно усовершенствовать традиционные строительные материалы, делая их прочнее, устойчивее и более эффективными. Нанотехнологии также открывают возможности для разработки интеллектуальных и автономных систем, которые обеспечивают управление и контроль строительными процессами. Такие системы повышают безопасность зданий и снижают затраты на их эксплуатацию.

Кроме того, применение нанотехнологий в строительстве дает возможность разработки энергоэффективных решений и улучшения экологической устойчивости зданий. Наноматериалы и наносистемы позволяют сократить потребление энергии и ресурсов, а также снизить воздействие строительной отрасли на окружающую среду.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Нанотехнологии <https://www.nanobuild.ru/>
2. Технологии в строительстве https://dzen.ru/a/Xc_77B3f7SNEvoMn?utm_referer=yandex.ru
3. Нанотехнологии <https://scienceforum.ru/2022/article/2018032067>

УДК 691

*Жилин Д.А., Черских Д.Ю., Чуйко К.К.
Научный руководитель: Амелин П.А., асс.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ОБЩИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О КОРРОЗИИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И МЕТОДАХ ИХ ЗАЩИТЫ

Бетонный камень имеет высокую прочность, однако уязвим перед вредными окружающими факторами, такими как перепады температуры, воздействию влаги и циклам замораживания-оттаивания [1].

Агрессивное воздействие на конструкции из бетона принято подразделять на виды [2]:

- коррозия 1 вида. Данный тип характеризуется коррозией бетона под действием воды. Последствием воздействия данного фактора является выщелачивание извести.

- коррозия 2 вида. Происходит вследствие обменных реакций веществ, содержащихся в окружающей среде, а именно солей и кислот.

- коррозия 3 вида. В ходе данной коррозии в порах бетона накапливаются вещества с последующей их кристаллизацией. Из-за возникновения значительных внутренних напряжений происходит разрушение бетона. Также на бетон негативное воздействие оказывают биологические факторы, например грибки, лишайники и различные растения, которые могут прорости в трещинах или расслоениях бетонных конструкций и привести к их ослаблению.

С развитием науки о корродировании бетона развиваются и методы защиты бетонных и железобетонных конструкций. Благодаря чему появляется возможность эксплуатации таких конструкций в различных неблагоприятных условиях.

Для защиты бетона от негативного влияния окружающей среды применяется комплекс мероприятий для предотвращения коррозии. Это регламентируется требованиями нормативного документа ГОСТ 31384-2017. Защитить бетонные конструкции возможно с помощью нанесения влагоизоляционных средств, что представлено на рисунке 1.



Рис. 1 Процесс нанесения защиты влагоизоляционных средств

На практике возможно использование первичной защиты бетона, а именно уплотнение бетона вибрированием несколькими способами и добавлением специальных добавок. Данные мероприятия уменьшают пористость конструкции, следовательно понижается и водопроницаемость.

Срок службы конструкции также может снизить коррозия арматуры. Элементы, содержащиеся в воздухе и влаге, которые могут проникнуть через бетон до арматурных стержней, являются инициаторами коррозии. Следствием данного процесса является потеря сцепления между арматурными стержнями и бетоном. Определение срока службы металлического элемента, подвергшегося коррозии в составе железобетонной конструкции, теоретически невозможно [3].

Широко распространен и часто применяется фибробетон, где в качестве арматуры используется не стержни, множество стальных проволочек. В отличие от обычного бетона, фибробетон имеет большую прочность и большую устойчивость к коррозии [4].

Для предотвращения процесса коррозии на стадии создания единой конструкции на арматурные стержни наносятся водоотталкивающие смазки и защитные покрытия для арматуры.

Инновационным решением является добавление в состав бетона полимерных смесей, которые способствуют дополнительной защите арматуры. В отдельных случаях возможна полная замена цемента на полимеры, получая в итоге полимербетон.

Для диагностирования состояния арматуры используется прибор, измеряющий потенциал стальной арматуры и потенциала электрода сравнения, который размещается на бетонной поверхности.

Комплект оборудования для диагностики представлен на рисунке 2 состоит из портативного компьютера, генератора частот и двух электродов.



Рис. 2 Диагностическое оборудование

Для подключения оборудования допускается бурение бетона, так как один из двух электродов должен иметь прямое соединение с арматурой. Суть работы прибора заключается в том, что через арматуру индуцируются короткие импульсы анодного тока, протекающего между электродами в течении 10 секунд. Чтобы улучшить контакт электрода с пористым бетоном применяют губку, смоченную токопроводящим раствором. Получив показания с прибора, а также, зная диаметр и длину арматуры, можно определить скорость коррозии V_k при помощи следующего уравнения [5]:

$$V_k = \frac{10I}{A} \quad (1)$$

где I – ток коррозии, мкА;

A – измеряемая площадь, см².

Недостатком данного метода является небольшая площадь участка диагностики и затрудненность оценки в труднодоступных местах.

Возможность последующей эксплуатации или восстановления бетонных и железобетонных конструкций, которые имеют повреждения, определяют на основе результатов инженерно-технического обследования. В ходе обследования определяется глубина и степень поражения бетона, прочность, проводится оценка состояния арматуры. Итогом проведения обследования являются разработанные рекомендации по методам и средствам восстановления или усиления конструкций для дальнейшей безопасной эксплуатации.

В настоящее время активно ведутся работы в области температуростойких бетонов, разрабатываются методы по повышению сопротивляемости бетонов воздействиям как низких, так и высоких температур. Помимо разработок по повышению прочности бетонных и железобетонных конструкций, совершенствуются методы расчета конструкций.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абдыкалыков А.А. Сырьевые ресурсы и перспективы развития основных строительных материалов в Кыргызской Республике [А.А. Абдыкалыков, Б.Т. Ассакунова, Б.Т. Абдылдаев и др.] – Бишкек, 1996. – 48 с.
2. Москвин В.М. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты / В.М.Москвин [и др.] ; под общ. ред. В. М.Москвина. – М.: Стройиздат, 1980. – 536 с., ил.
3. Адамчик К.А. Коррозийная морозостойкость бетона. Защита строительных конструкций от коррозии. Труды НИИЖБ, вып. 22, Гостройиздать, 1990.
4. Матыева А.К., Таалайбеков А., Апысов К, Таалайбеков С. Инновация в сейсмостойком строительстве // Научный информационный журнал «Наука и инновационные технологии», №1/2021, Бишкек, 2021(18). – С.515-161.
5. Смоляго Г. А. Анализ коррозионных повреждений эксплуатируемых изгибаемых железобетонных конструкций зданий и сооружений / Г. А. Смоляго, Н. В. Фролов, А. В. Дронов // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. - 2019. - № 1. - С. 52-57.

Катасонова А. А., Коломиец М. Р.

*Научный руководитель: Наумова Л. Н., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

РАЗРАБОТКА СОСТАВА НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНОЙ МАТРИЦЫ ДЛЯ СКЛЕИВАНИЯ ДЕРЕВЯННОГО БРУСА

В настоящее время для склеивания деревянного бруса и других деревянных конструкций используют формальдегидные смолы, которые очень вредны. Поэтому данная работа является разработкой состава клеевой композиции с экологическими свойствами (1,2).

Полимерные композиционные материалы – это материалы, в которых матрицей является полимер, созданный на основе какого-либо связующего вещества (смолы и т.п.). Механические, физические и химические свойства полимеров зависят от их внутренней структуры и физического состояния (3-5).

При формировании полимерных композиционных материалов исходные полимерные материалы могут использоваться в чистом виде или в качестве связующих для армированных композиционных материалов. Полимерное связующее представляет собой двух- или многокомпонентную систему, состоящую из синтетической смолы и отвердителей или инициаторов, катализаторов, ускорителей отверждения. Производство композитов позволяет значительно расширить ассортимент полимерных материалов и разнообразие их свойств уже на основе полимеров, создаваемых и выпускаемых промышленностью. Физико-химическая модификация существующих полимеров, их сочетание с веществами различной природы, разного строения – один из перспективных путей создания материалов с новым требуемым набором свойств (6, 7).

Рассмотрим свойства термореактивных и термопластичных полимеров для того, чтобы убедиться в правильности выбора эпоксидной смолы в качестве клея (8).

Термореактивные представляют собой низковязкие жидкости, которые после пропитки армирующего материала в результате химических реакций превращаются в неплавкую полимерную матрицу. Термореактивные полимеры, в том числе эпоксидные смолы, обладают рядом важных свойств и демонстрируют высокую прочность. Вот некоторые ключевые свойства и характеристики термореактивных полимеров:

Сшивание: термореактивные полимеры в процессе отверждения подвергаются реакции сшивания, которая включает образование прочных химических связей между полимерными цепями. Это сшивание приводит к трехмерной сетчатой структуре, которая придает полимеру превосходную размерную стабильность, жесткость и прочность.

Стойкость к высоким температурам: термореактивные полимеры обладают высокой термостойкостью и могут выдерживать повышенные температуры без размягчения или плавления.

Химическая стойкость: термореактивные полимеры известны своей превосходной химической стойкостью. После отверждения они обладают высокой устойчивостью к широкому спектру химических веществ, включая кислоты, щелочи, растворители и масла. Это свойство делает их подходящими для применений, где ожидается воздействие коррозионных или агрессивных веществ.

Механическая прочность: Термореактивные полимеры обладают исключительной механической прочностью и жесткостью. Сшитая структура обеспечивает жесткость и стабильность размеров, позволяя этим полимерам выдерживать высокие нагрузки и деформации без значительной потери прочности. Они часто используются в строительных конструкциях, где важны прочность и долговечность.

Долговечность: термореактивные полимеры являются очень прочными материалами. Они устойчивы к износу, истиранию, ударам и деформации, что делает их пригодными для применения в сложных условиях. Кроме того, их устойчивость к химическому разложению и факторам окружающей среды способствует их долговечности и надежности.

Недостатки термореактивных связующих: хрупкость, низкие вязкость разрушения и ударная прочность, невозможность вторичной обработки, длительное время отверждения, ограниченный срок службы, значительная химическая усадка.

Термопластичные представляют собой линейные полимеры, способные многократно переходить в жидкое расплавленное состояние при повышении температуры (9).

Для получения клеевых композиций можно использовать различные связующие вещества в зависимости от типа клея, который необходимо создать.

Эпоксидная смола представляет собой универсальное связующее, используемое в различных областях, включая промышленные и строительные клеи. Он состоит из двух компонентов: смолы и

отвердителя, которые необходимо смешать перед нанесением. Эпоксидные клеи отличаются высокой прочностью и долговечностью.

Отвердители используются для инициирования реакции сшивания и превращения эпоксидного мономера в твердую смолу. В качестве отвердителей для эпоксидной смолы предпочтительнее выбирать отвердители холодного отверждения, т.к. при использовании отвердителей горячего отверждения необходимо поддерживать температуру 100-200 °С в процессе нанесения, что не всегда удобно. Гексаметилендиамин ранее широко использовался в лакокрасочной промышленности. В настоящее время этот отвердитель больше не используется на практике. Этилендиамин проще в работе, застывает без повышенной температуры, что несомненно является его плюсом. Но при этом он, как и гексаметилендиамин, является токсичным, что нужно учитывать при работе с ним. Но, тем не менее, по сравнению с последним, менее опасен, поэтому его использование предпочтительнее (10).

Пластификаторы обычно используются в рецептурах эпоксидных смол для улучшения гибкости, прочности и обрабатываемости отвержденной смолы. Они помогают уменьшить жесткость и хрупкость эпоксидной смолы и улучшить ее общие характеристики в определенных областях применения. Полиэтилсилоксан – отличный пластификатор. Он нетоксичен, мало горюч и взрывобезопасен. Не растворяется в воде или низших спиртах, практически не меняет вязкость с изменением температуры. Полиэтилсилоксановые жидкости безопасны для здоровья человека, не вредят природе. Полиэтилсилоксан используется в качестве рабочих жидкостей в низкотемпературной, агрессивной, склонной к выпадению осадка среде. Эти свойства объясняют его применение в эпоксидной композиции.

В качестве наполнителя рассмотрим хризотилевое волокно. Отличительными особенностями хризотилового волокна являются прочность, эластичность, исключительно высокая химическая и огнестойкость, отличные тепло- и звукоизоляционные свойства. Волокно может расщепляться на волокна толщиной менее 0,5 микрометра, которые представляют собой кристаллы трубчатой или рулонной структуры. Другого материала с похожими свойствами в природе не существует. Попытки найти искусственный заменитель на сегодняшний день не увенчались успехом. Искусственные материалы имеют худшие физико-механические свойства и высокую себестоимость. Хризотилевое волокно во многих отраслях промышленности по-прежнему остается вне конкуренции. В ходе

изучения различных наполнителей, было принято решение использовать хризотилевое волокно.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Петрова А.П., Малышева Г.В. Клеи, клеевые связующие и клеевые препреги: учебное пособие. // Под ред. Е.Н. Каблова. – С. 472
2. Патент РФ № 2730319, МПК C09J 163/02, заявл. 26.08.2019, опубл. 21.08.2020, «Клеевая композиция на основе эпоксидной смолы»
3. Лапицкий В.А. Эпоксидные материалы / В.А. Лапицкий, Т.В. Лапицкая // Композитный мир. – 2006. – №4. – С.16-17.
4. Наумова Л. Н. Композиционный материал на основе бутадиен-нитрильного каучука и древесных волокон / Л. Н. Наумова, С. Ю. Валяев // Вестник Сыктывкарского университета. Серия 2: Биология. Геология. Химия. Экология. 2021 №4(20) С.35-53
5. Батаев, А. А. Композиционные материалы: строение, получение, применение: учебное пособие / А. А. Батаев, В. А. Батаев. — Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. —384 с.
6. Патент РФ №357209, МПК C08L 63/02, заявл.25.05.1970, опубл. 31.10.1972, «Композиция на основе эпоксидной диановой смолы»
7. Наумова Л. Н. Разработка компонентного состава порошковой краски с антистатическими свойствами на основе полиэфирной смолы / Л. Н. Наумова, В. Ю. Ватаман, Н.А. Сущенко, С. Н. Гетманов // Вестник Сыктывкарского университета. Серия 2: Биология. Геология. Химия. Экология. 2023 №2(26) С. 54-70
8. Патент РФ № 2491301, МПК C08F 251/00, заявл. 18.12.2008, опубл. 27.08.2013, «Термореактивные полимеры»
9. Ткачук А. И., Гребенева Т. А., Чурсова Л. В., Панина Н. Н. Термопластичные связующие. Настоящее и будущее//Труды ВИАМ. - 2013. - № 11. Ст. 07.
10. ГОСТ Р 50096 – 2015. Пластмассы. Отвердители и ускорители отверждения эпоксидных смол.

Лисняк В.В., Воловичева Н.А.

*Научный руководитель: Трубицын М.А., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный национальный исследовательский
университет, г. Белгород, Россия*

ИССЛЕДОВАНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЫСОКОГЛИНОЗЕМИСТЫХ МАТРИЧНЫХ (ВЯЖУЩИХ) СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ВЫСОКОДИСПЕРСНОГО α - Al_2O_3

К настоящему времени, как в России, так и за рубежом активно развивается практическое использование огнеупорных литевых масс (бетонов) нового поколения. Указанные огнеупорные материалы представляют собой гетерогенные системы, основными компонентами которых являются огнеупорный наполнитель и вяжущая система (матрица).

Одним из типов огнеупорных бетонов нового поколения являются низкоцементные литевые массы, которые включают наряду с полифракционным огнеупорным наполнителем композиционную минеральную матрицу на основе высокоглиноземистого цемента и тонкодисперсных порошков. В последние десятилетия максимальную эффективность демонстрируют низкоцементные огнеупорные массы с включением в состав матричных систем тонкодисперсного активированного оксида алюминия. Сырьем для производства таких высокоглиноземистых порошков служит кальцинированный Al_2O_3 , традиционно получаемый обжигом байеровского гидроксида алюминия при температуре выше $1200\text{ }^\circ\text{C}$. В результате кальцинации образуются первичные кристаллы α - Al_2O_3 , размер которых зависит от термической истории и может находиться в диапазоне от 0,5 до 5 мкм [1, 2].

В готовых порошковых продуктах альфа-глинозем, как правило, измельчен до размера первичных кристаллов (менее 3 мкм), а значительная доля частиц являются субмикронными – размер менее 1 мкм. Такие высокодисперсные порошки в англоязычной терминологии получили название reactive alumina (реактивный глинозем). Они обеспечивают формирование плотной керамической матрицы при температурах спекания на $100 - 200\text{ }^\circ\text{C}$ ниже, чем грубодисперсные порошки, наряду с отсутствием легкоплавких эвтектик. Также технологическими преимуществами матричных систем на основе реактивного α - Al_2O_3 являются улучшение реотехнологических свойств огнеупорных литевых масс и, соответственно, их

удобоукладываемость. Таким образом получают теплотехнические композиционные материалы с высокими эксплуатационными характеристиками [2, 3].

Одним из основополагающих факторов, оказывающих решающее влияние, как на реологическое поведение литевых масс, так и на механическую прочность готовых футеровок, является вещественный и гранулометрический составы матричных компонентов [4 – 6]. Известно, что высокая массовая доля вяжущего компонента (цемента) ухудшает качество огнеупорных бетонов. Введение высокодисперсного активированного альфа-глинозема с оптимальным зерновым распределением позволяет снизить содержание высокоглиноземистого цемента и существенно улучшить термомеханические характеристики материалов.

Целью настоящей работы являлся сопоставительный анализ различных типов гранулометрического состава матричных систем на основе высокодисперсного $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$.

Объектами экспериментальных исследований являлись образцы матричных систем на основе активированного альфа-оксида алюминия различной дисперсности (РГ-1, РГ-2 и РГ-3).

Гранулометрический состав экспериментальных образцов определяли методом лазерной дифракции с помощью анализатора «Microtrac S3500» (США). Удельную поверхность порошков, составляющих твердую фазу ВМС, устанавливали с помощью прибора ПСХ-К (Россия).

Минеральный компонент матричных систем (альфа-глинозем) представляет собой белый порошок. Содержание фазы $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ (корунда) составляет более 99 %. Результаты определения гранулометрического состава для всех исследованных образцов представлены на рисунке и в таблице.

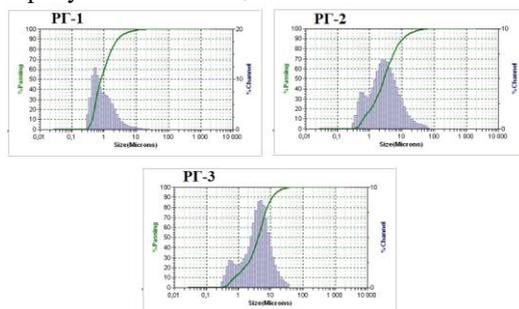


Рис. 1 Интегральные кривые и гистограммы распределения частиц в исследованных материалах

Образец РГ-1 представляет собой материал с мономодальным зерновым распределением. Максимум единственной моды располагается в области 0,5–0,6 мкм. В то же время образцы РГ-1 и РГ-3 являются бимодальными, однако характер расположения максимумов различен. Так, для матричной системы РГ-2 оба максимума смещены в более высокодисперсную область: 0,4 – 0,5 и 2,0 – 3,0 мкм соответственно. В тоже время максимумы мод образца РГ-3 расположены в областях 0,5 – 0,6 и 4,0 – 5,0 мкм.

Таблица 1– Гранулометрический состав твердой фазы экспериментальных ВМС

Образец	D ₂₀	D ₅₀	D ₉₀	Содержание субмикронной фракции (≤ 1 мкм), %	S _{уд} , см ² /г (метод ПСХ)
РГ-1	0,49	0,80	2,60	62,0	19785
РГ-2	0,94	2,45	8,74	23,0	6871
РГ-3	1,50	4,04	10,90	15,0	6374

При анализе таблицы установлено, что образец РГ-1 является ультрадисперсным. Медианный размер частиц в нем достигает не более 0,8 мкм, а содержание субмикронной фракции частиц в 3 – 4 раза выше по сравнению с другими исследованными ВМС – более 60%. Это, в свою очередь, определяет развитую удельную поверхность твердой фазы материала, которая находится в прямой зависимости от размера первичных кристаллитов.

Матричные системы РГ-2 и РГ-3 имеют дисперсность одного порядка. При этом наибольшую величину медианного размера частиц и сравнительно невысокое содержание субмикронной фракции (всего 15 %) характерно для образца РГ-3. Твердая фаза указанного материала имеет наименьшую величину удельной поверхности из всех исследованных порошков реактивного глинозема.

Полученные экспериментальные результаты будут использованы нами в дальнейших исследованиях, направленных на оптимизацию зернового состава огнеупорных литевых масс нового поколения на основе изученных матричных систем.

Работа выполняется в рамках внутривузовского конкурса грантов НИУ «БелГУ» «Молодые лидеры в науке».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Trubitsyn M.A., Volovicheva N.A., Furda L.B., Kuzin V. I., Zubashchenko R. V. Research in the area of preparing activated alumina. Part

1. Methods for preparing reactive alumina / M.A Trubitsyn., N.A. Volovicheva, L.V .Furda, V.I. Kuzin, R.V. Zubashchenko // Refractories and Industrial Ceramics. – 2022. – Vol. 63. – Pp. 130–136.

2. Gürelib S.B., Altunib A. Reactive alumina production for the refractory industry / S.B. Gürelib, A. Altunib // Powder Technology. – 2009. – Vol.196. – P. 115–121.

3. Trubitsyn M.A., Volovicheva N.A., Furda L.V., Kuzin V.I., Zubashchenko R.V. Research in the area of preparing activated alumina. Part 2. Efficiency of preparing finely dispersed aluminium oxide powder using a ball mill / M.A Trubitsyn., N.A. Volovicheva, L.V .Furda, V.I. Kuzin, R.V. Zubashchenko // Refractories and Industrial Ceramics. – 2022. – Vol. 63. – № 2. – Pp. 137–142.

4. Пивинский, Ю.Е. Неформованные огнеупоры. Т. 1 / Ю.Е. Пивинский. – М.: Теплоэнергетик, 2003. – 448 с.

5. Sarkar R. Particle Size Distribution for Refractory Castables: A Review/ R. Sarkar // Intercceram - International Ceramic Review. – 2016. – Vol. 65. – Pp. 82–86.

6. Kiennemann J., Chabas E., Ulrich C., Dumont D. The role of granulometry and additives in optimising the alumina matrix in low cement castables / J. Kiennemann, E. Chabas, C. Ulrich, D. Dumont // Refractories WORLDFORUM 9. – 2017. –Pp.77–82.

УДК 691.168

Маркова И.Ю., Рулев Д.А. Степаненко М.А.
Научный руководитель: Бондаренко Д.О., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ТЕХНОЛОГИИ РЕГЕНЕРАЦИИ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ

Одной из стратегических инициатив Российской Федерации является «Экономика замкнутого цикла», основанная на цикличном обращении с природными ресурсами и возвращении их в оборот [1]. Концепция данного проекта рассматривает возможность применения вторичного сырья в различных отраслях промышленности, что позволит снизить темпы роста объема производственных отходов и сохранить не возобновляемые природные ресурсы, поэтому на сегодняшний день актуальным вопросом в дорожном строительстве является повторное использование асфальтобетона.

В дорожном строительстве наиболее эффективным способом повторного использования асфальтобетона является его регенерация [2]. Регенерация асфальтобетонных покрытий – процесс по восстановлению, улучшению, укреплению уже поврежденных участков дорожного покрытия без полной замены асфальтобетона, чтобы продлить срок службы и улучшить их качество [3]. Получаемый асфальтогранулят, за счёт содержащихся в нём минеральных компонентов, сохранивших на своей поверхности плёнку органического вяжущего, обладает свойствами характерными для активных материалов [4], что позволяет его применять вместе с минеральными и органическими вяжущими для устройства слоёв оснований дорожных одежд. Следует отметить, что асфальтобетон можно регенерировать холодным или горячим методом [5–8].

Методы холодной регенерации асфальтобетона. Холодная регенерация представляет собой технологию восстановления и повторного использования старого асфальтобетона без необходимости нагревания его до высокой температуры, как это делается в традиционном горячем процессе [3]. Она включает в себя три основных метода: холодную переработку на месте, холодную централизованную переработку на заводе и рекультивацию на полную глубину.

Регенерация методом холодной переработки на месте (метод CIR), как правило, начинается и заканчивается на месте поврежденного участка. Первым делом производится исследование дефектного участка асфальтобетона с целью получения информации о состоянии покрытия. Извлекается проба покрытия, над которой проводятся механические лабораторные исследования. Следующий этап – фрезерование верхнего слоя с использованием специальной дорожно-строительной техники. Старый асфальт фрезеруется на необходимую глубину с целью создания ровной поверхности, что позволяет её подготовить для последующей обработки. Затем на поверхность измельченного слоя асфальта наносится специальная смесь из вяжущих материалов и добавок, которые используют для улучшения характеристик нового слоя. Измельченный асфальт с вяжущими и добавками тщательно перемешивается и укладывается при помощи специальной техники. В некоторых вариантах метода CIR после укладки создается новое асфальтобетонное покрытие, а старый материал служит в основном как заполнитель, поддерживающий новую конструкцию.

Холодная централизованная переработка на заводе подразумевает снятие старого асфальтового покрытия и его доставку на специальный завод для дальнейшей переработки с использованием холодных технологий. Этот метод широко применяется для регенерации больших

объемов асфальтобетона, снятого при реконструкции или ремонте дорог. Данный процесс включает следующие этапы: существующий асфальтобетон снимается с дороги с помощью специализированной техники, такой как фрезерные машины; снятый материал транспортируется на специализированный завод для дальнейшей обработки; на заводе старый асфальтобетон проходит процесс холодной переработки, материал размельчается, производится сортировка, очистка от загрязнений и смешивание с добавками и вяжущими материалами; транспортировка с завода на место укладки; укладка асфальтобетонного материала в дорожное покрытие с использованием традиционных методов укладки.

Рекультивация асфальтобетона на полную глубину – метод регенерации дорожных покрытий, который включает в себя полное измельчение и смешивания цементных связующих веществ и других добавок. Процесс начинается с фрезерования верхнего слоя асфальта, после чего происходит добавление порошкообразного или жидкого связующего соединения и других добавок в подготовленное основание. Затем материал тщательно смешивается и укладывается, чтобы создать новый и укрепленный слой асфальтобетона. После смешивания и компактации может потребоваться дополнительная обработка, такая как наложение дополнительного слоя асфальтобетона на поверхность или финишная обработка для улучшения финального качества дорожного покрытия (рис. 1).



Рис. 1 Виды холодной регенерации

Методы горячей регенерации асфальтобетона. Горячая регенерация заключается в восстановлении и улучшении старого асфальтобетонного покрытия путем горячей обработки и переработки материала. Существующие методы горячей регенерации асфальтобетона, которые широко применяются в дорожном строительстве, можно разделить на горячую переработку на месте и горячую централизованную переработку на заводе.

Обработку на месте можно выполнить несколькими способами. Суть первого способа горячей переработки на месте включает в себя нагрев асфальтного слоя при помощи специализированного оборудования до температуры 150–180 °С на глубину 3–5 см. В результате регенерируемый слой омоноличивается [9]. Второй способ заключается в покрытии поверхности дороги горячим слоем асфальтобетона/битума, который затем уплотняется и смешивается с существующим слоем асфальтобетона.

В методе горячей централизованной переработки на заводе старый асфальтобетонный материал снимается с дороги и подвергается нагреву до высокой температуры на специализированном заводе и смешивается с новым асфальтобетонным связующим и добавками. Полученная смесь нагревается до высокой температуры и затем наносится на дорогу для создания нового покрытия.

Разнообразие существующих способов регенерации дорожных покрытий из асфальтобетона позволяет сделать вывод о перспективности технологий замкнутого цикла в дорожном строительстве. При наличии соответствующего оборудования и соблюдении рецептурно-технологических особенностей появляется возможность создания дорожно-строительных композитов с заданными параметрами с целью увеличения жизненного цикла конструкций автомобильных дорог.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-19-00796, <https://rscf.ru/project/23-19-00796/>.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Экономика замкнутого цикла. – Режим доступа: <https://reo.ru/ezc?ysclid=lnwywb492n670677412>.
2. Кобцев, Д.В. Асфальтогранулят – перспективный материал в дорожном строительстве / Д.В. Кобцев, Е.А. Кобушко // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, 01–20 мая 2017 года. – Белгород:

БГТУ, 2017. – С. 2125–2131.

3. Боцман, Л.Н., Анализ эффективности внедрения технологии холодного ресайклинга с применением модификатора «ДорЦем ДС–1» / Л.Н. Боцман, К.Г. Соболев, Р.О. Полякова, А.Ю. Марков // Вестник БГТУ имени В. Г. Шухова. – 2019. – № 1. – С. 39–44.

4. Бахрах, Г.С. Регенерация асфальтобетонных слоев дорожных одежд / Г.С. Бахрах, Г.С. Горлина, А.Я. Эрастов // М.: ЦБНТИ Минавтодора РСФСР, 1981. – 66 с.

5. Дормидонтова, Т.В. Преимущества применения технологии холодной регенерации при ремонте автомобильных дорог / Т.В. Дормидонтова, П.В. Старостин, И.В. Анцифоров // Тенденции развития науки и образования. – 2021. – № 74–3. – С. 44–47.

6. Жуланов, А.А. Применение технологии холодной регенерации «ресайклинг» с добавлением комплексного вяжущего материала с помощью установки WM 1000 / А.А. Жуланов, А.М. Бургунутдинов // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. – 2020. – Т. 1. – С. 289–292.

7. Жданов, К.А. Повторное использование асфальтобетона методом горячей регенерации / К.А. Жданов, А.А. Никифоров, А.Е. Симчук // Дороги и мосты. – 2022. – № 1(47). – С. 343–368.

8. Ярмолинский, В.А. Технология горячей регенерации асфальтобетонных покрытий / В.А. Ярмолинский, Е.И. Сергиенко // Дальний Восток. Автомобильные дороги и безопасность движения: международный сборник научных трудов. – Хабаровск: Тихоокеанский государственный университет, 2016. – Т. 16. – С. 25–28.

9. Квитко, А.В. К вопросу применения горячей регенерации при ремонте асфальтобетонных покрытий / А.В. Квитко, Е.Е. Медрес, Б.Н. Карпов // Научный журнал. – 2017. – № 5(18). – С. 15–19.

УДК 666.914

*Моторыкин Д.А., Воробьев Е.Л., Ильин Р.О.
Научный руководитель: Чернышева Н.В., д-р техн. наук, проф.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ВЛИЯНИЕ СУПЕРПЛАСТИФИКАТОРА MELFLUX 1641F НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННОГО ГИПСОВОГО ВЯЖУЩЕГО

На сегодняшний день наблюдается тенденция замены традиционных материалов и изделий на основе цемента гипсовыми

аналогами. Использование гипсового сырья обеспечивает высокие показатели экологичности при меньших затратах энергоресурса, так как при производстве портландцемента температура при обжиге достигает 1450°C, а для гипсового вяжущего – 160 °С. Так же гипсовые материалы обладают высокими теплоизоляционными свойствами, скоростью набора прочности, простотой применения и доступностью. Но, даже обладая достаточно большим перечнем положительных свойств, гипсовым материалам присущи недостатки – низкая прочность и водостойкость, что не позволяет использовать изделия на их основе в условиях, где влажность более 15% [1-3].

Снижение прочности гипсового камня и изделий на его основе под воздействием влаги, низкая водостойкость обусловлены его природой и высокой растворимостью: 2,04 г/л CaSO₄ при 20°C. Поэтому проводятся активные исследования, направленные на улучшение характеристик гипсовых вяжущих и композитов на их основе [4].

В результате проведенного анализа литературных источников было установлено, что наиболее распространенным способом улучшения свойств гипсового вяжущего является добавление в его состав портландцемента и кремнеземистой добавки, получив композиционное гипсовое вяжущее (КГВ)[1-4].

В данной работе рассматривается вопрос получения композиционного гипсового вяжущего для отделочной плитки с помощью добавления портландцемента и кремнеземистой добавки.

На начальном этапе получения КГВ необходимо соблюдать следующие условия:

1) обеспечить необходимое количество портландцемента для повышения физико-механических характеристик КГВ камня и водостойкости;

2) определить оптимальное количество кремнеземистой добавки, способной обеспечить низкий уровень концентрации гидроксида кальция на начальном этапе структурообразования и дальнейшем твердении.

В исследовании для получения КГВ были использованы следующие компоненты: гипсовое вяжущее марки ГВВС-16 (производитель Samaragips, Россия); без добавочный портландцемент Цем I 42,5 (производитель Евроцемент, Россия); высокоактивный метакраолин ВМК – 45 (производитель ООО «Синерго», Россия), а также суперпластификатор MELFLUX 1641F (производитель BASF Constraction Polymers Trostberg, Германия).

Высокоактивный метакраолин – это искусственно изготовленная пуццолановая добавка, обладающая высокой удельной поверхностью,

достигающей 30000 м²/кг и обладающая высокой активностью [5]. При твердении КГВ кремнеземистая добавка обеспечивает образование низкоосновного гидросульфатоалюмината кальция вместо этtringита, что способствует твердению смеси без нарушения структуры и прочности.

Определение физико-механических характеристик КГВ проводили согласно ГОСТ 23789-2018.

Для оценки влияния компонентов КГВ на прочность были заформованы образцы-кубы размером 30х30х30 мм. Испытания проводилась через 2 часа после контакта вяжущего с водой, а также и в возрасте 7 и 28 суток.

Первоначально, согласно ТУ 21-31-62-89, был рассчитан состав КГВ. (масс.%): гипсовое вяжущее – 70 %, портландцемент – 25% и ВМК- 5% *от массы цемента).

Показатель нормальной густоты (НГ) КГВ составляет 0,43. Для снижения данного показателя был применен суперпластификатор (СП) Melflux 1641F. Результаты исследования влияния СП на сроки схватывания композиционного гипсового вяжущего в таблице 1.

Таблица 1.- Сроки схватывания смеси

№	Содержание СП Melflux1641F, масс%	В/В	Сроки схватывания мин. с.	
			начало	конец
1	0	0,43	5.35	6.45
2	0,1	0,26	5.15	5.45
3	0,3	0,21	5	6
5	0,5	0,2	5.45	15
6	1	0,2	6	22

Показатель НГ для приведенных КГВ, соответствует водовяжущему отношению, при котором обеспечивается расплыв, равный 180 ± 5 мм по ГОСТ 23789 – 2018.

Согласно полученным результатам, СП Melflux 1641F оказывает высокий водоредуцирующий эффект для исследуемого КГВ, что позволяет в 2 раза снизить количество воды, необходимой для достижения НГ. Существенного влияния на начало схватывания не наблюдается, но при дозировке 0,5% конец схватывания увеличивается до 15 минут (в 2,3 раза), а при дозировке 1% – до 22 минут (в 3,4 раза).

Влияние СП Melflux 1641F на прочностные характеристики КГВ отображены в таблице 2.

Таблица 2.- Физико-механические показатели образцов КГВ

№	Предел прочности при сжатии, МПа			Кр	W, %
	2 ч.	7 сут.	28 сут.		
1	8,6	12,8	14,9	0,75	8,9
2	13,7	36,5	48,2	0,85	6,2
3	18,3	49	53,5	0,85	3,7
4	27,5	50	54	0,87	2,6
5	26,1	51,8	53,7	0,89	2,3

Из полученных результатов следует, что снижение В/Вяз отношения в композите положительно сказывается на показателях прочности во все исследуемые сроки твердения. В среднем прочность образцов с добавлением СП Melflux 1641F выросла в 2,5 раза.

Так же наблюдается увеличение значений показателя водостойкости затвердевших образцов КГВ с добавлением СП. Коэффициент размягчения (Кр) для всех составов с добавлением СП больше 0,8 (0,85...0,89).

Водопоглощение затвердевших образцов КГВ при добавлении СП Melflux 1641F в его состав снизилось в 3,9 раза (с 8,9% до 2,3%).

Таким образом было установлено, что при добавлении СП Melflux 1641F происходит повышение прочностных характеристик и водостойкости затвердевшего КГВ.

Происходит это за счет образования более плотной структуры камня при пониженном водосодержании смеси, что подтверждается уменьшением показателя водопоглощения образцов.

На основании анализа полученных результатов, было принято решение использовать в дальнейших исследованиях СП Melflux в количестве 0,5 % от массы вяжущего.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Потапова Е.Н., Исаева И.В. Повышение водостойкости гипсового вяжущего // Construction materials. 2012. №7– С. 20–22.
2. Халиуллин М.И., Рахимов Р.З., Гайфуллин А.Р. Влияние добавки извести на физико-механические свойства композиционных гипсоизвестковопуццолановых вяжущих // Известия КазГАСУ. 2015. №4 (34). С. 304–311.
3. Урбанов Андрей Витальевич, Манушина Анна Сергеевна, Потапова Екатерина Николаевна Влияние модифицирующих добавок на свойства композиционного гипсового вяжущего // Успехи в химии и химической технологии. 2017. №3 (184).– С. 111–113.

4. Федотова Наталья Дмитриевна, Панюшкина Татьяна Алексеевна Влияние функциональных добавок на свойства композиционных гипсовых вяжущих // Успехи в химии и химической технологии. 2018. №2 (198) С. 170–172.

5. Влияние высокоактивного метакаолина на технические свойства композитного гипсового вяжущего / Н. В. Чернышева, Д. А. Моторыкин, А. С. А. Отман [и др.] // Наука и инновации в строительстве : Сборник докладов VII Международной научно-практической конференции, посвященной 170-летию В.Г. Шухова, Белгород, 12 апреля 2023 года. Том 2. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2023. – С. 250-253.

6. ГОСТ 23789-2018. Вяжущие гипсовые. Технические условия. Введ. 2019-05-01. – М.: Стандартиформ, 2018

УДК 621.793.16

*Романюк Д.С., Домарев С.Н., Ручий А.Ю., Форова Е.В.
Научный руководитель: Черкашина Н.И. д-р. техн. наук.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ХИМИЧЕСКОЕ ОСАЖДЕНИЕ ПОКРЫТИЙ ИЗ SiO₂ НА ПОЛИИМИДНОЙ ПЛЕНКЕ

Диоксид кремния (SiO₂), и покрытия на его основе такие как ультратонкие оксидные пленки широко описаны как хорошие компоненты для современных нанотехнологий, таких как диэлектрические материалы в кремниевых микроэлектронных устройствах, антикоррозионные пленки или неисчерпывающие применения наноразмерных пленок в катализе. [1-2]

Экологически чистый характер SiO₂ позволяет широко использовать его в защитных слоях для предотвращения прилипания, запотевания, самоочистения или водоотталкивания [3-4]. Были исследованы различные методы, такие как химическое осаждение из паровой фазы [5], литографическое нанесение рисунка, электрохимическое осаждение [6], или золь–гель, для получения супергидрофобного SiO₂ путем изменения шероховатости поверхности или энергии. SiO₂ неизменно известен своим применением в защитных покрытиях или изоляторах, затворах, для сопряжения с материалами с высоким k [7-8], или пассивирующими поверхность материалами [9-10]. Повышенный спрос на прозрачные активные материалы на наноровне оправдывает необходимость в технологии осаждения,

совместимой с чувствительными предварительно нанесенными нижележащими слоями, гибкими пластиковыми устройствами или подложками с высоким соотношением сторон. Таким образом, атомно-слоистое осаждение (ALD) считается одним из наиболее подходящих методов с точки зрения контроля субнанометровой толщины и проникновения покрытия в глубокие борозды или мезопористые структуры.

Было предпринято много усилий с точки зрения параметров и выбора реагентов для оптимизации процесса ALD для выращивания покрытий SiO₂ при высоких температурах. Тем не менее, общепризнано, что существует большой интерес к разработке процесса при комнатной температуре. Следовательно, разработка способа нанесения покрытий SiO₂ является актуальной по сей день [11].

В Данной работе описан метод, а также результат закрепления SiO₂ на поверхности полиимидной пленки.

Для закрепления SiO₂ на поверхности полиимидной пленки использовали состав на основе Тетраэтоксисилана (C₂H₅O)₄Si и раствора с щелочным катализатором. Для приготовления состав с щелочным катализатором использовались следующие соотношения, состав рассчитан на объём стакана в 200 мл. (табл. 1).

Таблица 1. Состав раствора

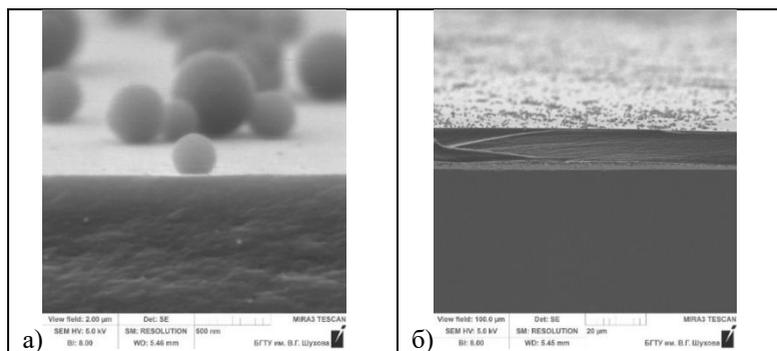
Состав раствора	(C ₂ H ₅ O) ₄ Si	C ₂ H ₆ O	NH ₃	H ₂ O
Молярные соотношения	0,25	8	0,5	2,2
Молярные массы	208,33	46,07	17,031	18,015
Требуемые массы компонентов, г	52,0825	368,56	8,5155	39,633
Концентрации компонентов в источнике	99,9%	96%	25%	100%
Требуемая масса реактива, г	52,13	383,92	34,06	39,63
Плотность реактива, г/мл	0,94	0,789	0,907	0,997
Объём реактива, мл	55,46	486,59	37,55	39,75
Объём реактива, мл	18,49	162,20	12,52	13,25

Синтез проводили в стеклянных стаканах с крышкой при общем объёме реакционной смеси 200 мл. для каждой единицы посуды. Полиимидные пленки выдерживались в растворе 15 мин. После чего пленки извлекались и выкладывались на подложку для дальнейшей термообработки в печи. Начальная температура 60 с выдержкой в 90 мин. Далее температуру постепенно поднимали (табл. 2). Это связано с тем, что с увеличением температуры количество образующихся частиц увеличивается, а реакция протекает быстрее, поэтому с помощью постепенного увеличения температуры контролируется ход реакции.

Таблица 2. Температурный режим

t\min.	T, °C
90	60
30	100
30	150
30	200
30	250
30	300

Для исследования морфологии поверхности пленок использовали сканирующий электронный микроскоп MIRA3 TESCAN (Tescan, Чехия).



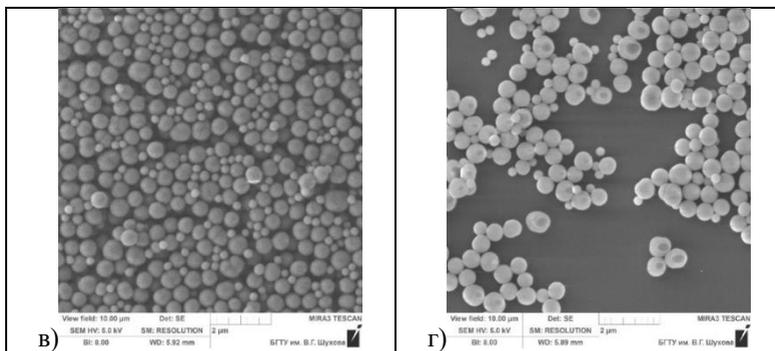


Рис. 1. Микроскопия поверхности полиимидной пленки после закрепления на ней SiO_2 при различном увеличении

Анализ полученных микрофотографий показал, что закрепление диоксида кремния на поверхности полиимидной пленки произошло достаточно равномерно, наличие SiO_2 представлены в виде шарообразных структурах размером от 100 нм до 1 мкм. Состоящих из углерода, кислорода и кремния, распределенных по всей поверхности пленки. Исследование толщины полученного слоя представлено на рис. 2.

Данные по спектроскопии показали наличие Si, что свидетельствует о закреплении частиц на поверхности пленки

Таблица 3. Элементный состав исследуемых образцов.

Название спектра, вес. %	C	N	O	Na	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Fe
ЩС-ПИ. 1	66.53	0.98	31.91				18.59				
ЩС-ПИ. 2	48.01		32.75				19.24				
ЩС-ПИ. 3	40.79	1.21	45.55				12.45				
ЩС-ПИ. 4	40.73	0.93	45.56				12.77				
ЩС-ПИ. 5	69.37	1.22	25.30				15.11				
ЩС-ПИ. 6	26.24		53.40				20.36				
ЩС-ПИ. 7	24.02		55.06				20.91				

В результате проведенного эксперимента было установлено, что наибольшее влияние на процесс оседания кремнеземистого наполнителя на поверхности полиимидной пленки оказывает катализатор реакции гидролиза ТЭОС. Наиболее важным из установленных в результате эксперимента фактов является то, что при применении щелочного катализатора происходит формирование шарообразных структур оксида кремния с размерностью от 100 нм до 1 мкм. Для удаления непрореагировавших реактивов с поверхности полиимидной пленки достаточно просушить ее при комнатной температуре, для полного удаления после гидролиза с щелочным катализатором необходимо термостатирование в печи в течение нескольких часов при высоких температурах. Благодаря несложной масштабируемости и простоте реализации представленные в рамках статьи методики получения кремнеземистого покрытия на поверхности полиимидной пленки могут быть положены в основу промышленной технологии создания покрытий SiO_2 на поверхностях полиимидных композитов.

Исследование выполнено в рамках государственного задания Минобрнауки России № FZWN-2023-0004 с использованием оборудования на базе Центра высоких технологий БГТУ им. В. Г. Шухова.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Frosch C.J., Derick L. Surface Protection and Selective Masking during Diffusion in Silicon // *Electrochem.* 1957. Vol.104 Pp. 547.
2. Olsson O.A., Landolt D., Passive films on stainless steels—chemistry, structure and growth // *Electrochimica Acta.* 2003. Vol. 48. (9). Pp. 1093-1104.
3. Claes G. Granqvist, Transparent conductors as solar energy materials: A panoramic review // *Solar Energy Materials and Solar Cells.* 2007. Vol. 91. (17). Pp.1529-159.
4. Linda Y.L., Ngianb S.K., Chenb Z., Xuan D.T.T. Quantitative test method for evaluation of anti-fingerprint property of coated surfaces // *Applied Surface Science.* 2011. Vol. 257. Pp. 2965–2969.
5. Prathapan R., Venkatesan O., Ganesh A., Shantikumar N. A review on 'self-cleaning and multifunctional materials // *Journal of Materials Chemistry A: Materials for Energy and Sustainability.* 2014. Vol. 2. Pp. 14773-14797.

6. Gao Y., Highly transparent and UV-resistant superhydrophobic SiO₂-coated ZnO nanorod arrays, ACS application // Mater. Interfaces. 2014, Vol. 6. (4). Pp. 2219-2223.
7. Yonggui K., Xiang H., Wang J. On the Dependence of Band Alignment of SiO₂/Si Stack on SiO₂ Thickness: Extrinsic or Intrinsic // IEEE Access. 2020. Pp. 99-101.
8. Xiaolei W., Wang H., Wenwu M., Xiang X., Jinjuan C., Zhang, J. Electric Dipole at High-k/SiO₂ Interface and Physical Origin by Dielectric Contact Induced Gap States // Japanese Journal of Applied Physics. 2011. Vol. 50. Pp. 211-215.
9. Dingemans G., Terlinden N.M., Verheijen M.A. Controlling the fixed charge and passivation properties of Si(100)/Al₂O₃ interfaces using ultrathin SiO₂ interlayers synthesized by atomic layer deposition // *J. Appl. Phys.* 2011. Vol. 110. Pp. 715.
10. Dalapati G.K., Chia C.K., Mahata C., Das T., Maiti C.K., Kumar M.K, Gao H., Chiam S.Y. Surface Passivation of GaAs Substrates with SiO₂ Deposited Using ALD // 2011 *Electrochem. Solid-State Lett.* 2011. Vol. 14. Pp. 52-61.
11. Черкашина Н.И., Павленко В.И., Городов А.И. Рыжих Д.А. Влияние лазерной обработки на композитные пленки с нанодисперсным SiO₂ // Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. – 2023. – Т. 15, № 2. – С. 152-163.

УДК 666.69

Сытов Г.А., Рыжих В.Д., Лопухов Н.Р.

Научный руководитель: Загороднюк Л.Х., д-р. техн. наук, проф.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ОСОБЕННОСТИ СОЗДАНИЯ ЗАКЛАДОЧНЫХ РАСТВОРОВ ДЛЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

Анализ многолетних исследований технологии добычи руд черных и цветных металлов показывает, что около 30-35% сырья добывается подземным способом. Применение высокоэффективных механизмов и конструктивных систем с использованием индивидуальных композиционных закладочных смесей позволяет вести работы на значительной глубине с высокой производительностью забойного рабочего.

В зависимости от объема месторождения, вида сырья, а также технико-экономических показателей определяется вид будущей

разработки. Открытый способ выгоден при больших площадях разрабатываемого пространства и объемах залегающих полезных ископаемых. Подземный способ – способ добычи полезных ископаемых путем подземных горных выработок без нарушения поверхностного слоя земли.

Структура работ разных систем выработок строится по одному шаблону: первый этап – подготовительный; второй этап – проведение нарезных выработок; третий этап – выполнение циклических, индивидуально разработанных технологических процессов.

Разработка подземного пространства шахт, штольней, рудников преимущественно реализуется с закладкой выработанного пространства, которая представляет собой совокупность технологических процессов по заполнению внутрипалубочного пространства предварительно установленной опалубки подземной шахты. Устройством закладок выработанного пространства снижает вероятность внезапных выбросов природного газа и угля, деформаций поверхности земли и разрушения зданий и сооружений, расположенных на подрабатываемых территориях. Закладки для подземного выработанного пространства классифицируют по способу транспортирования закладочного материала и формирования из него несущего массива на следующие виды: гидравлические, пневматические, самотёчные, механические и твердеющие.

В настоящее время активно ведутся исследования и разработки в области модернизации технологии доставки закладочных смесей и подбора оптимальных композиционных составов для обеспечения прочности и долговечности закладочного массива [1-5], написан ряд инновационных научных работ по данной тематике [6-12].

Технология гидравлического способа закладки заключается в использовании потока воды доставки по трубопроводу необходимого закладочного материала с последующим заполнением им выработанного пространства.

Закладка смеси пневматическим методом производится при использовании технологий векторного направления сжатого воздуха по трубопроводу. Перемещение закладочной смеси происходит за счет перераспределения давлений в трубопроводе и контактного сопротивления самого материала с воздушными массами.

Применение самотёчной закладки часто обуславливается наличием наклонных или крутых пластов по простиранию наклонными слоями, камерной и сплошной системами. В самотёчной закладке смесь подается в скважину (трубопровод) и под действием сил тяжести направляется вниз по оси ускорения свободного падения.

Одна из индивидуальных технологических систем транспортирования закладочного раствора – механическая закладка. Механическую закладку часто применяют в комплексе с самотечной закладкой, так как это самый простой способ обеспечения доставки смеси на закладочный горизонт.

При разработке месторождений подземным способом руд черных и цветных металлов широко зарекомендовали себя системы с твердеющей закладкой. Часто производство работ системы твердеющей закладки производится на поверхности земли с последующей доставкой смеси на закладочный горизонт.

Согласно исследованиям о частом применении твердеющей закладки в горнодобывающем комплексе [4-6], главными преимуществами такой системы являются:

а) применение в неблагоприятных условиях за счет высокой прочности закладочной смеси;

б) из-за практически полной замены рудных целиков искусственными твердеющими настилами увеличиваются технико-экономические показатели отработки руд и наблюдается снижение разубоживание отбиваемой руды;

в) малая усадка закладочной смеси (1-5%) обеспечивает последовательное нарастание прочности толщи массива и долговечную службу конструктивной системы, что очень важно для поточной разработки месторождений в сложных условиях с повышенной влажностью и опасностью подтопления;

г) снижение опасности горных ударов в процессе добычи металлических руд путем перераспределения нагрузки с выработок в зоне очистных работ на массив твердеющей закладки;

д) обеспечение возможности селективной выработки для отбора материала более высокого качества;

е) увеличение изолирующей способности за счет стенок твердеющей закладки, вследствие чего, уменьшается риск возникновения эндогенных пожаров.

В научной и справочной литературе [1-4,9] достаточно подробно изложены основные моменты приготовления и транспортирования закладочных смесей.

Широкое внедрение твердеющей закладки в систему горнодобывающей промышленности продиктовано требованиями вовлечения в эксплуатацию новых крупных месторождений со сложными геологическими условиями, повышения качества добываемого минерального сырья, полноты использования недр (отработки месторождений полезных ископаемых с минимизацией

потерь), внедрения отходов металлургического и горно-обогатительного производства в состав композиционных закладочных смесей с целью экономии материалов и сырья, а также обеспечение экологической безопасности окружающей среды.

В настоящее время, направление развития технологии твердеющей закладки движется в сторону повышения качества выемки богатых руд и совершенствования выемки руд с низкими качественными характеристиками.

При проектировании состава твердеющей закладочной смеси необходимы следующие факторы, которые напрямую будут влиять на свойства будущего композиционного материала: гранулометрический состав; качественные характеристики, вид и объем заполнителя; количество воды; технологический способ приготовления и доставки; условия твердения (температурный режим твердения); динамика набора прочности (время твердения).

Соотношение крупного и мелкого заполнителя, а также его вид играют одну из ключевых ролей в структурообразовании закладочного массива.

Опираясь на научные труды, водовязущее отношение в составе твердеющей закладки является одним из главных факторов, оказывающих влияние на экономическую и физико-механическую характеристики производства закладочного массива.

На скорость выработки руд и прочностные свойства твердеющего закладочного массива оказывает существенное влияние динамика набора прочности закладочной смеси. В научных исследованиях говорится, что активный набор прочности смеси происходит в первые 60 дней, далее наступает период «замедления», то есть рост прочностных характеристик находится в районе 10-17%, а в следующие 6 месяцев наблюдается спад динамики набора прочности на уровень 2-4%.

Основное требование для твердеющей закладки – нерасплаиваемость (особенно с большим содержанием крупного заполнителя) во время транспортировки и производства работ по укладке. Расплаиваемость влияет на неравномерное распределение смеси, неоднородность закладочного массива и на понижение прочности твердеющей закладки.

Комплексы твердеющей закладки различаются между собой:

а) физико-механическими и физико-химическими свойствами закладочного массива, зависящими от качеств вяжущего компонента и заполнителя;

б) горно-геологическими и экономико-географическими условиями, которые оказывают значительное влияние на использование той или иной системы закладки с созданием закладочной смеси с необходимыми характеристиками.

Модификация старых и создания новых высокоэффективных закладочных составов твердеющей закладки, путем ввода новых материалов, усовершенствования автоматизированного производства, поможет повысить производительность труда рабочего и качество металлической руды.

Таким образом, перспективным направлением научных исследований материаловедения в области горно-добывающей промышленности является разработка и создание нового технологически оправданного закладочного состава системы твердеющей закладки, который будет выгодно отличаться высокой прочностью, низкой сметной стоимостью приготовления и производства работ, а также будет обеспечивать безопасные условия разработки подземного пространства с максимизацией объема выработок и минимизацией разубоживания полезных ископаемых.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Загороднюк, Л.Х. Особенности процессов гидратации вяжущих композиций с использованием отходов вспученного перлитового песка / Л.Х. Загороднюк, Ш.М. Рахимбаев, Д.А. Сумской, В.Д. Рыжих // Вестник БГТУ им. Шухова. – 2020. – №11. – С. 75–88.

2. Загороднюк, Л.Х. Особенности формирования микроструктуры гранулированных заполнителей на разных вяжущих композициях / Л.Х. Загороднюк, В.Д. Рыжих, Д.А. Сумской, Д.А. Синяков // Вестник БГТУ им. Шухова. – 2021. – №5. – С. 28–35.

3. Загороднюк, Л.Х. Роль гранулометрии смешанных вяжущих в формировании их микроструктуры и прочности / Л.Х. Загороднюк, Д.С. Махортов, В.Д. Рыжих, Д.А. Сумской, М.В. Дайронас // Вестник БГТУ им. Шухова. – 2021. – №7. – С. 33-43.

4. Комплексное освоение рудных месторождений: проектирование и технология подземной разработки / под ред. Д.Р. Каплунова. – М.: изд. ИПКОН РАН, 1998. – 383 с.

5. Именитов, В.Р. Процессы подземных горных работ при разработке рудных месторождений: учебное пособие для вузов / В.Р. Именитов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1984. – 504 с.

6. Требуков, А.Л. Применение твердеющей закладки при подземной добыче руд / А.Л. Требуков – М.: Недра, 1981. – 172 с.

7. Хомяков, В.И. Зарубежный опыт закладки на рудниках /В.И. Хомяков. – М.: Недра, 1984. – 224 с.

8. Кравченко, В.П. Применение твердеющей закладки при разработке рудных месторождений/ В.П. Кравченко, В.В. Куликов. – М.: Недра, 1974. – 200 с.

9. Крупник, Л.А. Закладочные смеси высокой плотности, их свойства и перспективы применения / Л.А. Крупник, Г.В. Соколов // Горный информационноаналитический бюллетень. – 2005. – № 11. – С. 237-240.

10. Хайрутдинов, М.М. Подземная геотехнология с закладкой выработанного пространства: недостатки, возможности совершенствования / М.М. Хайрутдинов, И.К. Шаймьярдянов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2009. – № 1.– С. 240-250.

11. Кудяков А.И., Студинский С.А. О классификации закладочных твердеющих смесей //Физико-технические проблемы полезных ископаемых. Академия Наук ССР. Сибирское отделение. - 1980. - N 4. - С. 106-108.

12. Аллик А.Р., Кудяков А.И. Использование побочных продуктов промышленности для приготовления закладочных твердеющих смесей //Строительные материалы из попутных продуктов промышленности: Межвуз. темат. сб. /ЛИСИ. - Л., 1980. - С. 81-85.

УДК 620.19

Титенков В.В

*Научный руководитель: Закиров Р.Н., канд. тех. наук, доц.
Казанский государственный энергетический университет
г. Казань, Россия*

ТИПЫ КОРРОЗИИ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ

Современное производство ядерной энергии сталкивается с серьезной проблемой сохранения качества аустенитной нержавеющей стали, чтобы предотвратить ее коррозию и растрескивание. Это одни из самых опасных местных коррозионных свойств металлов с высокой общей коррозионной стойкостью. Агрессивные среды, вызывающие коррозию и растрескивание, уникальны для каждого металла. Коррозионное растрескивание аустенитной нержавеющей стали возникает при совместном присутствии хлорида и кислорода.

Следует отметить, что для реактора большой мощности ВВЭР-1000 потребовалась сталь с более высокой прокаливаемостью и

прочностью, чем сталь 15Х2МФА-А, разработанная для первых российских энергетических реакторов. Соответственно, была разработана сталь 15Х2РМФА-А с более высоким содержанием никеля и пониженным содержанием углерода и ванадия. Эта российская сталь является самой высокопрочной из всех отечественных и зарубежных сталей для корпусов реакторов

Проблема коррозии под напряжением стала важной при производстве ПГ АЗУ из аустенитной нержавеющей стали, поскольку вода во втором контуре может содержать хлориды, особенно в морских установках.

Коррозионное растрескивание под напряжением представляет собой разрушение материала под воздействием одновременной коррозии и механического напряжения. Это явление является одним из наиболее опасных видов коррозии, поскольку оно может привести к неожиданным разрушениям конструкций и оборудования, которые на первый взгляд кажутся надежными и целостными.

Коррозионное растрескивание под напряжением может проявляться в различных материалах, таких как металлы и полимеры, и возникает при сочетании трех основных факторов:

1. **Материал:** Некоторые материалы более подвержены коррозии, чем другие. Например, нержавеющие стали, алюминий, медь и титан могут быть подвержены этому виду коррозии.

2. **Коррозивная среда:** Присутствие агрессивных химических сред, таких как соли, кислоты или щелочи.

3. **Механическое напряжение:** Наличие механического напряжения, которое может быть вызвано нагрузками, температурными изменениями или другими факторами, играет ключевую роль в развитии коррозионного растрескивания.

Когда эти три фактора объединяются, происходит разрушение материала. Коррозионное растрескивание под напряжением может развиваться скрыто и не заметно в течение длительного времени, что делает его особенно опасным. Оно может привести к аварийным ситуациям и угрожать безопасности и стабильности инфраструктуры. Данная коррозия вызывает микротрещины в материалах, что может стать причиной микротрещи, вследствие чего радиоактивная вода из первого контура может попасть в окружающую среду.

Для предотвращения коррозионного растрескивания под напряжением, необходимо регулярно проводить инспекции, мониторинг и обслуживание инженерных конструкций и оборудования. Также применяются специальные покрытия и легирование материалов, чтобы улучшить их устойчивость. Это важное направление в области

инженерии и материаловедения, поскольку позволяет обеспечить безопасность и долговечность различных технических систем и сооружений.

Межкристаллическая коррозия происходит, когда металлы разрушаются в агрессивной среде вдоль границ между кристаллами. Этот тип коррозии может происходить без растягивающего напряжения, в отличие от коррозионного растрескивания под напряжением. Аустенитная нержавеющая сталь содержит углерод, который растворяется в аустените после аустенитизации. Уменьшение температуры приводит к уменьшению растворимости углерода в твердом растворе. Однако, сталь охлаждается достаточно быстро после аустенитизации, что позволяет углероду оставаться растворенным в аустените при комнатной температуре. Высвобождение карбидов (в основном карбида хрома) затруднено из ВТО из-за низкой скорости диффузии углерода. При нагревании до температуры 400-800°C скорость диффузии углерода будет достаточной, в результате чего образуется карбид хрома, который вскоре упадет. Новая стадия формируется в основном вдоль границ зерен. В то же время аустенит потребляется хромом вдоль границ зерен. Поскольку скорость диффузии углерода достаточно высока, углерод продолжает диффундировать из глубины частиц к границе, связывая новые фрагменты хрома, а аустенит вдоль границ зерен еще больше истощает хром. В то же время при температуре 400-800°C скорость диффузии хрома значительно ниже, чем у углерода, поэтому хром фактически не поступает из частиц, и его концентрация на границе не сбалансирована. На межзерновую коррозию в основном влияет дека аустенитной нержавеющей стали. Он тестируется только после выдержки аустенитной стали при температуре 400-800 ° С, особенно во время сварки, высокотемпературной обработки и установки с использованием высокотемпературного охлаждающей жидкости. Поскольку внешний вид стальной деки не изменился, межкристаллическая коррозия особенно опасна, поэтому эту коррозию в готовом оборудовании очень трудно обнаружить, но потеря механической прочности может быть значительной. В результате межкристаллической коррозии сталь становится хрупкой, что особенно опасно в условиях эксплуатации атомных электростанций, а внезапное разрушение компонентов первичного контура может привести к декомпрессии и радиоактивному загрязнению объекта. Исследования показали, что в некоторых случаях возможность межкристаллической коррозии увеличивает скорость коррозионного растрескивания стали. Причиной этого является появление неоднородности поверхности, где границы зерен становятся

анодами, а остальная поверхность - катодами. Из-за небольшого соотношения между анодной декой и катодной секцией скорость разрушения границ зерен в качестве анода очень высока. Это вызывает трещины между кристаллами дека. Как правило, продукты коррозии, превышающие объем основного материала, такие как микротрещины, увеличивают концентрацию внутренних напряжений и усиливают коррозию.

Проблемы коррозии под напряжением и межкристаллической коррозии могут иметь серьезные последствия, включая потерю механической прочности и даже возможность радиоактивного загрязнения окружающей среды в случае разрушения компонентов.

Исследования показывают, что эти виды коррозии могут взаимодействовать между собой, что усугубляет проблему и увеличивает риск разрушения аустенитной нержавеющей стали. Особенно опасно то, что межкристаллическая коррозия может быть трудно обнаружима на виду, и потеря механической прочности может произойти внезапно.

Для предотвращения этих проблем и обеспечения безопасности атомных электростанций, необходимо принимать быстрые меры по контролю за качеством и состоянием стали, особенно при высокотемпературной обработке и сварке. Также важно постоянно наблюдать за состоянием структуры стали и применять методы, которые позволяют выявлять начало развития коррозии и растрескивания. Только тщательный контроль и предупредительные меры могут обеспечить безопасность и эффективность производства ядерной энергии с использованием аустенитной нержавеющей стали.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Юрманов В.А., Амосов М.М., Мамет В.А. Водно-химический режим реакторов ВВЭР в периоды остановов энергоблоков. Теплоэнергетика, 1996 г., № 8, с 7-16.

2. В.Г.Крицкий. Проблемы коррозии и водно-химических режимов АЭС. С.-Петербург, 1996.

3. В.В.Герасимов, А.И.Касперович, О.И.Мартынова. Водный режим атомных станций. М. Атомиздат, 1976.

1. Лескин, С. Т. Физические особенности и конструкция реактора ввэр-1000 : учебное пособие / С. Т. Лескин, А. С. Шелегов, В. И. Слободчук. — москва : няу мифи, 2011. — 116 с. — isbn 978-5-7262-1492-4.— текст: электронный// лань : электронно-библиотечная

система. — url: <https://e.lanbook.com/book/75760> (дата обращения: 8.11.2022). — режим доступа: для авториз. пользователей.

УДК 691.32

Токарев В.А, Курлыкина А.В.

Научный руководитель: Высоцкая М.А., канд. техн. наук, доц.

Белгородский государственный технологический университет

им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

РЕМОНТ ДОРОЖНЫХ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ В ЗИМНЕЕ ВРЕМЯ

Безопасность и комфорт дорожного движения напрямую зависит от качества дорожной одежды. Своевременно реализовывать мероприятия, обеспечивающие соответствие нормативным требованиям, одна из главных задач, стоящая перед дорожными организациями. Работы по ремонту и содержанию асфальтобетонных покрытий должны обеспечивать круглогодичное, непрерывное, безопасное и удобное движение автомобилей с заданной скоростью и нагрузками. Однако, в зимний период времени дороги подвергаются внешним негативным нагрузкам (снегопады, гололед, механические воздействия, химические реагенты, используемые для борьбы с гололедом), приводящим к разрушениям проезжей части, в результате чего возникает необходимость её ремонта. Восстановление дорожного покрытия при отрицательной температуре значительно усложняется. Асфальтная смесь для ремонта дорог в зимний период обязательно должна содержать разнообразие пластификаторов, отвердителей, повышающих текучесть и не позволяющих ей слишком быстро твердеть на морозе. В зимнее время помимо повсеместно используемых вариантов холодного и горячего асфальтобетона возможно использование литого асфальта [1], смеси Мультигрейд (или МАК-смеси) [2], асфальтобетона с использованием электропроводящих волокон-наполнителей в конфигурации замкнутых контуров [3]. Все вышеуказанные материалы, за исключением литого асфальта, по разным причинам, не нашли в России широкого применения. [4]

Использование литого асфальтобетона в зимний период один из распространённых вариантов ремонта дорожных покрытий, использующийся в настоящее время. Различиями литого и горячего асфальтобетона являются большое содержание в литой смеси минерального порошка и битума, а также повышенные температуры приготовления и укладки смеси. Ремонтные работы могут

осуществляться в мороз за счет простых механизмов доставки и распределения материала (кохеры и рециклеры). Главный недостаток литого асфальта, по сравнению с другими видами асфальтобетона, заключается в том, что его производство и укладка более энергозатратный и трудоемкий процесс. [5]

В основе смесей Мультигрейд [2] лежит использование модифицированного битумного вяжущего со структурой геля, который обладает ярко выраженными тиксотропными свойствами. Такое вяжущее формирует пленку увеличенной толщины, не стекающую с зерен щебня даже при температуре 150 °С. Толстая пленка обеспечивает повышенный срок службы в слое за счёт образования прочной связи между зернами каменного скелета, такому композиционному материалу характерна стойкость к избытку влаги, окислению и старению вяжущего. Несмотря на то, что отличительной особенностью смеси Мультигрейд является увеличенная толщина пленки, содержание и расход вяжущего в смеси в целом остается прежним, так как оптимальный зерновой состав включает меньше мелкозернистых фракций. Неблагоприятные погодные условия для ремонта практически не влияют на возможность использования МАК-смесей. Работы можно осуществлять на влажной поверхности, при температурах самой смеси до –8 °С. Для обеспечения удобства работы со смесью при низких температурах (от –10 до –15°С и ниже), хранение рабочей смеси осуществляется в помещениях при комнатной температуре, как правило готовый асфальтобетонный композит или фасованные мешки со смесью загружают в машины и оставляют на ночь в гаражах. Главным недостатком МАК-порошка является высокая температура плавления (не менее 180°С), что вызывает трудности, связанные с приготовлением холодных битумов.

Известен материал [3], при использовании которого, ремонт покрытия осуществляется асфальтобетонной смесью, насыщенной электропроводящими волокнами-наполнителями в конфигурации замкнутых контуров. Инновационная система действует следующим образом: электрический ток пропускается через волокна-наполнители в непосредственной близости с дорожной трещиной. Электрическая цепь генерирует внутреннее тепло необходимой температуры. Под действием нагрева битум расплавляется и уплотняется. В рамках своего исследования авторы [3] разработали модифицированную ремонтную смесь, отличительной чертой которой является битум, обогащенный железной рудой, добытой из породы горного хребта Месаби. В составе используемой железной руды была отмечена высокая концентрация магнетита. Инновационный строительный материал содержит

следующие компоненты: магнетит (1–2 %), измельченный асфальт, крошка переработанных тротуарных покрытий, крошка переработанной черепицы. Обнаруженные выбоины дорожного полотна заливаются такой смесью, после чего смесь нагревают микроволновым блоком. Излучающий микроволны сервисный блок прикрепляется к специальному ремонтному грузовику. Дополнительным преимуществом этой технологии является использование переработанных строительных материалов вместо первичных связующих материалов.

В последние годы на практике для ремонта дорожного покрытия все чаще используют холодные асфальтобетонные смеси по ГОСТ 9128-2013. В этом году вышел новый нормативный документ ГОСТ Р 70648-2023, который описывает необходимые требования, предъявляемые к холодным смесям. Одним из основных преимуществ холодных асфальтобетонных смесей – это возможность их применения в любое время года, в том числе и зимой [6]. Для приготовления холодной асфальтобетонной смеси используют специальные добавки для битума и определенный температурный режим прогрева каждого компонента. Кроме того, горячую асфальтобетонную смесь необходимо разогревать до высокой температуры, что ограничивает сезонность работ, в то время как холодные смеси не требуют нагрева и могут использоваться даже при низких температурах. Такое свойство композит приобретает благодаря специальному составу [7] и использованию жидкого, более эластичного битума, обладающего способностью увеличивать вязкость при понижении температуры воздуха. Для глубокого проникновения и обволакивания вяжущим зерен минерального материала, в асфальтную смесь добавляют адгезионные добавки [8]. Использование холодного асфальтобетона в качестве ремонтной смеси характеризуется следующими преимуществами: движение по отремонтированному участку дороги можно открывать сразу после завершения работ, готовую смесь допускается хранить от 6 до 12 месяцев без потери качества, холодная асфальтобетонная смесь не требует укатки и может утрамбовываться вручную.

Несмотря на все преимущества, холодный асфальт обладает рядом недостатков, которые не дают ему полностью вытеснить горячую асфальтобетонную смесь с рынка и занять ее место. Использование холодной асфальтобетонной смеси для ремонтных работ сопряжено со следующими особенностями: высокая стоимость, короткий срок службы и низкие эксплуатационные характеристики относительно горячего асфальтобетона.

Изучая практический опыт ремонта аварийных участков в зимний период можно сделать вывод, что применение холодного асфальтобетона будет наиболее долговечным и целесообразным.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алиулова В. А., Валеева Е. Ф., Сергеева А. Д. Оценка технологий ямочного ремонта дорог в России // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2016. – №. 6-1. – С. 57-60.

2. Поздняков В. Р. Опыт применения холодных смесей Мультигрейд для текущего и аварийного ямочного ремонта // Дорожная техника-2006: каталог-справ. – 2006.

3. Напреев А. Н. Современные конструкции дорожных покрытий. – 2021.

4. Кочерга В. Г., Зырянов В. В., Кулик Е. П. Всесезонный ремонт покрытий автодорог с использованием модифицированных холодных асфальтобетонных смесей // Инженерный вестник Дона. – 2012. – Т. 20. – №. 2. – С. 661-664.

5. Высоцкая М. А. и др. Одежда ездового полотна мостового сооружения // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. ВГ Шухова. – 2021. – №. 4. – С. 21-35.

6. Шеховцова С. Ю., Высоцкая М. А. Технологии получения холодных асфальтобетонных смесей для ремонтных работ // Известия высших учебных заведений. – 2019. – №. 9. – С. 33-42.

7. Bitumen Emulsion / Under the Coordination M. Cyna, M.-F. Ossola. – Paris: RGRA, USIRF, 2008. – С. 225–226

8. Лебедев П. П., Шведова С. А., Комарова Н. Д. Холодный асфальт // Научно-образовательное культурно-просветительское периодическое издание. Редакционная коллегия: Курбатов ВЛ, профессор, доктор экономических наук, кандидат технических наук; Печень БГ, профессор, доктор технических наук, Комарова НД. – 2016. – С. 63.

УДК 658.512.23

Украинцева Н. В.

Научный руководитель: Черенов В.Г., доц.

*Южный федеральный университет, академия архитектуры и искусств,
г. Ростов-на-Дону, Россия*

СОВРЕМЕННЫЕ ВИДЫ И ТЕХНОЛОГИИ АРХИТЕКТУРНОГО ОСТЕКЛЕНИЯ ФАСАДОВ ЗДАНИЙ. ПРОБЛЕМЫ КРУПНОФОРМАТНОГО ОСТЕКЛЕНИЯ. СМАРТ-СТЕКЛО

Целью данной работы является изучение и разбор современных видов и технологий архитектурного остекления фасадов зданий, проблем крупноформатного остекления, изучение инновационной разработки в области дизайна и архитектуры - смарт-стекло. Реализация идеи создания полифункционального материала с переменной прозрачностью появилась давно. Частично она была реализована в традиционных витражах, в которых соединялись фрагменты материалов с разной степенью прозрачности и цветового решения. Однако нельзя было управлять этой прозрачностью по своему желанию. Современная технология смарт-стекла или «умного стекла» воплотила данную идею практически. С конца 90-х годов XX века налажен массовый выпуск различных видов смарт -стекла.

В данной работе решались следующие задачи:

1. рассмотреть все виды современных технологий архитектурного остекления фасадов зданий;
2. изучить все возможные проблемы в крупноформатном остеклении фасадов и найти решения данных проблем;
3. изучить феномен смарт-стекла и виды смарт-стекла, возможности использования, изучение нормативов использования смарт стекла;
4. проанализировать влияние крупноформатного остекления на эргономические показатели внутреннего пространства здания;
5. ознакомиться с тенденциями развития рынка продаж стекла для остекления фасадов.

В настоящее время растут площади остекления фасадов во вновь строящихся и реконструируемых зданиях и сооружениях, что положительным образом сказывается на их внешнем облике, позволяет архитекторам и дизайнерам реализовать их творческие замыслы. При этом постоянно растут и габаритные размеры используемых для фасадного остекления листов стекла. Уже обычным стало применение в структурном остеклении фасадов листов размерами порядка

$(3\div 4)\times(2\div 2,5)$ м, что позволяет одним листом стекла закрыть целый этаж здания по высоте и, соответственно, сократить и/или даже исключить количество непрозрачных элементов остекления. При всех преимуществах такого решения оно, как всё новое, порождает ряд проблем - проблемы прочности и безопасности, эргономичности и экономичности внутреннего пространства; функциональности внутреннего пространства, проблемы внешнего вида; проблемы веса конструкций; проблемы реализуемости замысла. Однако, массовое использование стеклянных фасадов высотных зданий в городах обостряет сейчас проблему возрастания энергопотребления как в зимнее, так и в летнее время года, так как стекло не является теплоизоляционным материалом и не может препятствовать потере тепла в холодное время года. И наоборот, вследствие своей прозрачности, в летнее время возможен перегрев помещений вследствие избыточной инсоляции. Кроме того, управление прозрачностью стекла происходит с помощью электричества, что также повышает энергопотребление зданий.

Чтобы создавать не только красивые и интересные, но и эргономичные и высококачественные интерьеры и экстерьеры необходимо знать многие факторы, нормы и способы широкоформатного использования стекла. Крупноформатное остекление, как всё новое, порождает ряд проблем, некоторые проблемы уже имеют пути решения, для других же эти пути еще только намечены и на стадии зарождения. Смарт-остекление является прекрасным решением огромного количества проблем, связанных с крупноформатным остеклением фасадов. Этот материал достаточно экологичен, качественен и эргономичен, а современные технологии самообеспечения стекла энергией делают его более доступным в широком использовании. Материалы и методы: анализ ситуаций решения проблем с установкой и эксплуатацией крупногабаритного фасадного остекления, смарт-стекла.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бадьин Г. М., Сычев С. А., Макаридзе Г. Д. Технологии строительства и реконструкции энергоэффективных зданий [Текст] / Г. М. Бадьин, С. А. Сычев, Г. Д. Макаридзе. - Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2017. - 461 с.
2. Воронцов В. М., Немец И. И. Стекло и керамика в архитектуре : учебное пособие / В. М. Воронцов, И. И. Немец. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2010. – 106 с.

3. Кунин Ю.С. Здания и сооружения со светопрозрачными фасадами и кровлями. Теоретические основы проектирования светопрозрачных конструкций/ Ю.С. Кунин — С-Петербург, Инженерно-информационный Центр Оконных Систем, 2012 — 400 стр.

УДК 691.3

Чашин Д.Ю., Тольпин Д.А.

*Научный руководитель: Тольпина Н.М., д-р техн. наук, проф.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ПРОЦЕССЫ СТАРЕНИЯ И РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИИ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ

Начиная с момента образования первых мельчайших частиц вещества, начинается процесс старения цементного камня. В начальной стадии, когда количество образовавшихся частиц еще невелико и они имеют небольшие размеры происходит кристаллизация, и рекристаллизация не сильно влияет на общую динамику процесса. Со временем, по мере наращивания количества цементирующего вещества, роль рекристаллизации увеличивается и кристаллизация фактически завершается, вместо нее начинается «старение» сформировавшихся частиц. Этот процесс, как правило, происходит медленно и может занимать значительное время, в разы превосходя продолжительность процесса кристаллизации. В промежуточных условиях могут наблюдаться случаи, когда скорости процессов образования и старения частиц сравнимы [1].

Твердение наполненного цементного камня происходит благодаря процессам, связанным с образованием гидратных структур, их ростом и увеличением контактов между ними. Эти процессы приводят к образованию кристаллических агрегированных структур, которые соединяются в прочный трехмерный каркас. Однако, дальнейший рост элементов каркаса или образование новых контактов между кристаллами может вызвать внутренние напряжения, что приводит к образованию микро- и макротрещин в камне, что, в свою очередь, снижает его прочность. Эти изменения в материале связаны с энергетическими процессами и на этапе рекристаллизации новообразований могут негативно влиять на увеличение прочности цементного камня [2].

Устойчивость структуры цементирующих веществ зависит от различных факторов, включая свободную поверхностную энергию,

которая зависит от минералогического состава, морфологии частиц новообразований и их размера. Разные частицы с разным фазовым составом и размерами могут вызвать изменения в структуре цементирующих веществ со временем. В системе всегда будут происходить изменения, обусловленные стремлением к минимизации свободной энергии. Эти изменения могут включать структурные превращения, которые могут происходить как самопроизвольно, так и под воздействием внешней среды. Самопроизвольные изменения могут включать в себя формирование новых кристаллических структур и рекристаллизацию существующих новообразований в более стабильные формы. Рекристаллизация может проходить через три стадии: первичную, где образуются новые неповрежденные кристаллы, которые растут за счет поглощения деформированных кристаллов; собирательную, где неповрежденные зерна кристалла растут друг от друга, увеличивая средний размер кристалла; и вторичную, где только некоторые из неповрежденных кристаллов способны расти, что приводит к разным размерам кристаллов [3]. Рекристаллизация приводит к повышению термодинамической стабильности материала и влияет на его свойства.

Основные процессы изменения структуры цементирующих веществ в наполненном цементном камне включают дальнейшее формирование гидросиликатов кальция и других соединений, старение и рекристаллизацию цементирующих веществ, удаление или поглощение воды, изменение минералогического состава и преобразование продуктов разложения цементирующих веществ. Все эти процессы изменяют структуру материала и влияют на его свойства во времени в зависимости от условий эксплуатации [4].

Процесс рекристаллизации, иногда называемый «перегонкой», не всегда происходит в изолированной форме и может сопровождаться другими изменениями в структуре материала [5].

Формирование связанных кристаллических структур при создании физической структуры цементного камня зависит от различных факторов, таких как кристаллическая структура срастающихся кристаллов, состав и свойства водного раствора, ориентация кристаллов и их взаимное сжатие [6]. Исследователи отмечают, что кристаллы гидросиликатов и гидроалюминатов кальция, а также гипса, с течением времени увеличивают свои размеры, ограниченные доступным пространством и питательными веществами. Прочность контактных зон кристаллических сростков, возникших из зародышей, может быть сопоставима или даже выше прочности кристаллических ветвей сростка. Однако для закономерного срастания двух или более

кристаллов, даже если они имеют одинаковую структуру, необходима правильная ориентация и вытеснение водного раствора между ними. Прочность структуры цементного камня определяется количеством и типом кристаллических сростков между кристаллами новообразований.

Рекристаллизация влияет на размеры кристаллических зерен, устраняет структурные дефекты и повышает термодинамическую устойчивость цементирующих веществ. Этот процесс со временем постепенно угасает [7].

Таким образом, в цементном камне при твердении развиваются два противоположных процесса, связанные с накоплением высокодисперсных продуктов гидратации и старением гелей, приводящим к укрупнению частиц с разной интенсивностью в разные сроки твердения. Когда процесс укрупнения начинает преобладать над ростом количества новообразований, перейдя через максимум, связующая способность новообразований начинает уменьшаться, что сопровождается падением прочности цементной системы, которая также проходит через максимум. Эти процессы наиболее интенсивно протекают при завершении гидратации вяжущего, при практически полном израсходовании клинкерного фонда. Время до начала дегидратации зависит от ряда причин, в частности, от дисперсности вяжущего, растворимости новообразований в жидкой фазе, температуры окружающей среды и др. Эти вопросы необходимо учитывать при проектировании бетонов, эксплуатирующихся при повышенных технологических температурах [8, 9].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Энциклопедия полимеров: Советская энциклопедия. – М.: 1977. – Т.3. – 1152 с.
2. Адоньева Л.Н. Структурные факторы стабильности свойств автоклавных материалов во времени: Диссертация кандидата технических наук. – Воронеж, 1986. – 267 с.
3. Верин Р.Х. Метаморфические процессы. Реакции и развитие микроструктуры. – Пер. с английского. – М.: Недра, 1980. - 227 с.
4. Кучеренко А.А. О получении бетона с заданными свойствами // Технологии бетонов. – 2008. - №4. – С. 66-67.
5. Александровский С.В. Задача теории термолучности наследственных стареющих сред без ограничений для коэффициентов поперечной деформации. // Известия вузов, Строительство. – № 7, 1997.
6. Ершов Л.Д. Быстротвердеющие цементы. – Киев: Гос. изд. техн. литературы УССР, 1956. - 200 с.

7. Арутюнян Н.Х. Ползучесть стареющих материалов. Ползучесть бетона. // Механика твердого тела. – М.: «Наука», 1972.

8. Рахимбаев Ш.М., Тольпина Н.М. Сравнительная стойкость бетонов с заполнителем различных размеров и без него// Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. №11. С. 43-47.

9. Рахимбаев Ш.М., Тольпина Н.М. Повышение коррозионной стойкости бетонов путем рационального выбора вяжущего и заполнителей: монография // Белгород: Изд-во БГТУ. 2015.321 с.