

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

13-14 октября 2022 г.

УДК 005.745

ББК 72.5

М 43

**XIV Международный молодежный форум
«Образование. Наука. Производство»: эл. сборник
докладов [Электронный ресурс]: Белгород:
М 43 БГТУ им. В.Г. Шухова, 2022. – Ч. 4. – 102 с.**

ISBN 978-5-361-01063-9

В сборнике опубликованы доклады студентов, аспирантов и молодых ученых, представленные по результатам проведения XIV 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 978-5-361-01063-9

©Белгородский государственный
технологический университет
(БГТУ) им. В.Г. Шухова, 2022

Оглавление

Благова В.А.

БИОРАЗРУШЕНИЕ БЕТОНА 6

Бондаренко Д.О

ДЕКОРАТИВНЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ПОВЕРХНОСТИ БЕТОНА,
ПРОПИТАННОГО РАСТВОРАМИ СОЛЕЙ 10

Бондарь С.П.

НЕГАТИВНОЕ ВЛИЯНИЕ ВОДЫ НА СТРОИТЕЛЬНЫЕ
МАТЕРИАЛЫ И МЕРЫ ИХ ЗАЩИТЫ ОТ ПОСЛЕДСТВИЙ
КОНТАКТА С ВОДОЙ 14

Волошкин А.А., Салихов Д.Д.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ СТРОИТЕЛЬНОЙ
ИНДУСТРИИ ДЛЯ ЭКРАНИЗИРОВАНИЕ ИОНИЗИРУЮЩЕГО
ИЗЛУЧЕНИЯ 21

Голец А.А., Есина А.Ю., Голикова А.И.

ДЕЙСТВИЕ СИККАТИВА НА ПЛЕНКООБРАЗОВАНИЕ
АЛКИДНОЙ ЭМУЛЬСИИ 26

Жигалов М.Ю., Варнавский Н.Р.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗЖИЖЕНИЯ
БИКОМПОНЕНТНЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ СУСПЕНЗИЙ
СУПЕРПЛАСТИФИЦИРУЮЩЕЙ ДОБАВКОЙ..... 30

Зайцев К.А.

КЕВЛАРОБЕТОН В СТРОИТЕЛЬСТВЕ. СОСТАВ, ТЕХНОЛОГИЯ
ИЗГОТОВЛЕНИЯ, СВОЙСТВА, ПРИМЕНЕНИЕ 35

Золотарева С.В.

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ СУХИЕ ФАСАДНЫЕ ОТДЕЛОЧНЫЕ
ПОКРЫТИЯ..... 39

Кузьмин Е.О.

ОСАЖДЕНИЕ НАНОДИСПЕРСНОГО КРЕМНЕЗЕМА НА ФИБРУ
КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ЕГО ЭФФЕКТИВНОСТИ..... 43

Левицкая К.М., Кикалишвили Д.Г., Чуриков А.С.

ПРИМЕНЕНИЕ ЯИЧНОЙ СКОРЛУПЫ В СТРОИТЕЛЬНОМ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИИ	47
Левицкая К.М., Пириева С.Ю., Коломыцева А.И.	
К ВОПРОСУ О ПЕРСПЕКТИВАХ ПОВТОРНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГИПСОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ	52
Мануйлова А. И., Коломыцева А.И., Кожухова М.И.	
ЭФФЕКТ ЩЕЛОЧНОГО АКТИВИРУЮЩЕГО АГЕНТА НА ПОДВИЖНОСТЬ ГЕОПОЛИМЕРНЫХ ПАСТ	56
Нецвет Д.Д., Хомидов Х.О.	
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ ДОБАВОК НА КИНЕТИКУ НАБОРА ПРОЧНОСТИ ВЯЖУЩИМ	61
Рыжих Д.А., Пушкарская Д.В., Городов А.И.	
ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ КРЕМНЕЗЕМА ПОЛУЧЕННОГО ПУТЕМ ГИДРОЛИЗА ТЕТРОЭТОКСИСИЛАНА	65
Себелева Н.Ю., Полиенко И.А., Губарева Е.Н.	
КАРБОНАТНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ КАК АКТИВНЫЕ ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ	69
Сивальнева М.Н., Капуста А.С., Сивальнев К.С.	
ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ПРОИЗВОДСТВА ФИБРОПЕНОБЕТОНА.....	73
Фаустова С.А.	
МИРОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ НАНОТЕХНОЛОГИЙ	77
Цветкова К.С.	
ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПЛЕКСА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КАУЧУКА, НАПОЛНЕННОГО КРУПНЫМИ ЧАСТИЦАМИ ДИОКСИДА КРЕМНИЯ	82
Чуриков А.С., Левицкая К.М.	
МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ ВИСКЕРОВ СУЛЬФАТА КАЛЬЦИЯ	86
Шестерикова Д.А., Шестериков А.Е.	

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КЛЕЯ НА ДЕФОРМАЦИЮ
ПЬЕЗОДОЗАТОРА 91

Шрейдер И.В., Куликов Д.Е.

ИССЛЕДОВАНИЕ ГРАНУЛИРОВАННОГО
СТЕКЛОКЕРАМИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ
ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ..... 94

Шрейдер И.В., Куликов Д.Е., Типсина А.А.

КОМПОЗИЦИОННЫЙ ГРАНУЛИРОВАННЫЙ
ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ
ПРОМЫШЛЕННОГО И БЫТОВОГО СТЕКЛОБОЯ..... 98

УДК 620.193.8

Благова В.А.

*Научный руководитель: Логинова С.А., канд. техн. наук
Ярославский государственный технический университет, г. Ярославль, Россия*

БИОРАЗРУШЕНИЕ БЕТОНА

Последние десятилетия бетон занимает лидирующую позицию в современном строительстве. Широкое его применение объясняется рядом уникальных физико-механических свойств бетона, высокой экологичностью и экономичностью показателей его производства по сравнению с другими взаимозаменяемыми материалами. Однако отрицательные свойства бетона, такие как гигроскопичность, кислотонеустойчивость и другие способствуют беспрепятственному повреждению его различными микроорганизмами и дальнейшей биодеструкции.

Биологическое разрушение (биокоррозия) – один из наименее изученных к настоящему времени видов коррозии бетона, несмотря на то, что случаи ее возникновения были зарегистрированы во многих странах мира (рисунок 1).



Рис. 1 Биокоррозия фундамента

О возможном участии микроорганизмов в коррозии бетона заговорили еще в 1901г. Коррозию индуцируют различные группы микроорганизмов (рис. 2).

Согласно литературным источникам [1, 2] наибольшую опасность для бетона представляют нитрифицирующие и сероокисляющие бактерии, а также микроскопические грибы и водоросли.



Рис. 2 Биокоррозия железобетонной плиты балкона

На степень повреждения бетона оказывает влияние скорость роста биоты, длительность их воздействия и концентрация агрессивных веществ. Микроорганизмы могут стимулировать коррозию в широких интервалах температур и относительной влажности. Они могут создавать местные условия, например, локально повышать влажность, температуру, что ускоряет коррозию материала. Микроорганизмы в результате своей жизнедеятельности посредством выделения кислот, щелочей и других агрессивных веществ оказывают воздействие на компоненты бетона, запуская тем самым процессы его биоразрушения. Кроме того, микроорганизмы способны образовывать споры, цисты, силероции, которые остаются невредимыми в жестких условиях эксплуатации. Они сохраняются десятки лет в высушенном состоянии при высоких температурах. Некоторые споры могут выдерживать длительное кипячение. Отличительной особенностью биокоррозии является ее избирательность к материалу и возможность адаптации микроорганизмов в случае его совершенствования. Появление защищенных от биокоррозии цементных бетонов ускоряет эволюцию микроорганизмов. Грибы на загрязненных цементных материалах могут образовывать биоценозы - сообщества, вследствие чего они оказывают на цементные материалы более разрушительное действие, чем каждый вид в отдельности.

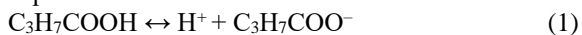
В свою очередь микологическая коррозия – специфический случай биодеструкции конструкций. Мицелиальные грибы не являются

первопричиной коррозии. Являясь продуцентами кислот, они лишь стимулируют процесс коррозии, вырабатывая ферменты, являющиеся эффективными катализаторами разнообразных химических процессов [1-3].

Микробиологическая коррозия непосредственно связана с другими видами коррозии бетона (коррозия 1, 2 и 3 видов) по классификации В.М. Москвина [2], математические модели которых описаны в [3, 4].

Исследованиями Т.С. Нагибина, Н.В. Нечаевой и Л.И. Рубенчика [5] установлено, что сильнее всего разрушают бетон динитрифицирующие бактерии. Исследовались пробы бетона водосточных труб, подверженных воздействию бактерий *Thiobastena denitrificans*. Была установлена способность окисления сернистых соединений сточных вод до серной кислоты. В пробах бетона было зафиксировано 42,95% S_0_3 вместо положенного 1% по требованиям государственных стандартов [5].

Не менее агрессивное воздействие на прочность бетона оказывают анаэробные азотфиксирующие бактерии [6]. В результате своей жизнедеятельности они образуют масляную кислоту (C_3H_7COOH). Процесс диссоциации протекает по схеме:



Ионы водорода взаимодействуют с известью, содержащейся в бетоне, и с гидросиликатами кальция, разлагая их, что приводит к уменьшению сцепления между фазами цементного камня.

Согласно литературным источникам [7] скорость проникновения микроорганизмов в глубь бетона может достигать 6 ... 12 мм в год.

Интенсивность жизнедеятельности биодеструкторов зависит от условий внешней среды, а именно, от температуры, pH и т.д.

Методы борьбы с коррозией подобного рода должны заключаться в следующем [8, 9]:

- повышение pH;
- окисление сульфатов;
- выбор биостойких материалов (например, глиноземистый цемент);
- использование антикоррозионных защитных покрытий (например, полимерных покрытий).

В общем, можно выделить первичную и вторичную защиту от биоразрушения бетона. Первичная защита предусматривает ввод в состав бетона различных специальных добавок в процессе его приготовления. Таким образом изменяется состав смеси, благодаря

чему предотвращается разрушение зданий или сооружений. Этот способ является самым эффективным из всех.

Вторичная защита заключается в нанесение защитного покрытия, пропиток и использование других мер, которые ограничивают воздействие агрессивных сред. На данный момент выделяют следующие методы вторичной защиты бетона от коррозии: лакокрасочные покрытия и мастики; оклеечная изоляция; гидрофобизирующие вещества; уплотняющие пропитки; химические препараты (биоциды, антисептики и др.) Вторичная защита применяется только тогда, когда первичная не справляется. Как правило, вторичная защита требует периодического возобновления. Если говорить о наиболее востребованном способе вторичной защиты, то таковым является покрытие лакокрасочными и акриловыми материалами, предотвращающими от воздействия твердых и газообразных сред, а так же от различных микроорганизмов [10 11].

В любом случае, борьба с коррозией требует больших материальных вложений, которые делают биокоррозию бетонных конструкций одной из наиболее дорогостоящих проблем современной инфраструктуры в мировой практике.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Васильев В.М., Панкова Г.А., Столбихин Ю.В. Разрушение канализационных тоннелей и сооружений на них вследствие микробиологической коррозии // Водоснабжение и водоотведение. 2013. №9. С. 67-75.
2. Москвин В.М. Коррозия бетона. М.: Госстройиздат. 1952. 342 с.
3. Логинова С.А. Принципы математического моделирования коррозионных процессов в биоагрессивных средах // Умные композиты в строительстве. 2022. Т. 3. № 1. С. 47-57.
4. Loginova S.A. STUDY OF BIOSTABILITY OF CONCRETES // Smart Composite in Construction. 2022. Т. 3. № 2. С. 45-53.
5. Вернигорова В.Н., Королев Е.В., Еремкин А.И., Соколова Ю.А. Коррозия строительных материалов. М.: Изд-во Палестип, 2007. 174 с.
6. Розенталь Н.К. Коррозия и защита бетонных и железобетонных конструкций сооружений очистки сточных вод // Бетонные изделия. №11. С. 78-85.
7. Логинова С.А. Математическое моделирование биокоррозии бетона в жидких средах // Вестник Череповецкого государственного университета. 2022. № 3 (108). С. 21-33.

8. Куколева А., Строганов В.Ф., Ахметшин А.С., Строганов И.В. Защита бетонов от биоразрушения с помощью лакокрасочных материалов // Лакокрасочные материалы и их применение. 2010. № 10. С. 18-23.

9. Ерофеев В.Т., Смирнов В.Ф., Завалишин Е.В., Морозов Е.А., Смирнова О.Н. Повышение стойкости конструкций зданий и сооружений к биологически агрессивным средам // Вестник Мордовского университета. 2008. Т. 18. № 4. С. 150-158.

10. Ларин В.В., Тлехусеж М.А. Коррозия бетона. Её виды и способы борьбы с ней // Студенческий научный форум – 2020: сб. материалов конф. XII Междунар. студенческая науч. конф. 2020. С. 67-70.

11. Ерофеев В.Т., Федорцов А.П., Богатов А.Д., Федорцов В.А. Биокоррозия цементных бетонов, особенности ее развития, оценки и прогнозирования // Фундаментальные исследования. 2014. № 12 (4). С. 708-716.

УДК 691.3:620.197

Бондаренко Д.О., канд. техн. наук, доц.

Научный руководитель: Строчкова В.В., д-р техн. наук, проф.

*Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ДЕКОРАТИВНЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ПОВЕРХНОСТИ БЕТОНА, ПРОПИТАННОГО РАСТВОРАМИ СОЛЕЙ

Бетон является одним из наиболее масштабно используемых композитов, применяемых для создания сооружений, эксплуатирующихся в условиях с различной степенью агрессивного воздействия. Одним из методов пролонгирования стойкости материалов является так называемая вторичная защита, заключающаяся в нанесении на поверхность изделий защитных покрытий различного состава. Вторичная защита может быть обеспечена тонко- или толстослойными лакокрасочными покрытиями или уплотняющей пропиткой материалами проникающего действия, обеспечивающей формирование защитного покрытия на поверхности изделия [1–6].

Несмотря на широкое применение органических (полимерных и лакокрасочных) покрытий в качестве защитных, обеспечивающих гидрофобные, коррозионные, биозащитные и другие свойства, постоянно возрастающие промышленные требования, такие как высокие характеристики коррозионной стойкости, твёрдости,

износостойкости, долговечности, а также интерес к повышению декоративных свойств обусловили необходимость разработки новых видов покрытий, удовлетворяющих таким требованиям. Ввиду вышесказанного, представляет интерес плазменное оплавление поверхности изделий для формирования высококачественных полифункциональных покрытий, придающих изделиям несвойственные эксплуатационные свойства [7–10]. Использование плазменной струи позволит существенно интенсифицировать процессы образования стекловидного защитно-декоративного покрытия с повышенными техническими и эксплуатационными показателями [11, 12].

Существует ряд направлений развития плазменных технологий (рисунк 1). Особое внимание уделяется расширению спектра оплавляемых материалов в совокупности с подбором составов защитно-декоративных покрытий, в том числе с использованием отходов промышленности.

Для исследований формовали образцы мелкозернистого бетона с соотношением портландцемент: кварцевый песок – 1:3, В/Ц – 0,4. В качестве защитного слоя использовали бой высокоглинозёмистого огнеупора КЛ-1.1 производства АО «Теплохиммонтаж». Для получения архитектурной выразительности образцов готовили водные растворы красящих солей меди, кобальта и никеля. Для оплавления образцов применяли многофункциональный плазменный комплекс с температурой плазменной струи 6000 °С и скоростью обработки 10 мм/с.

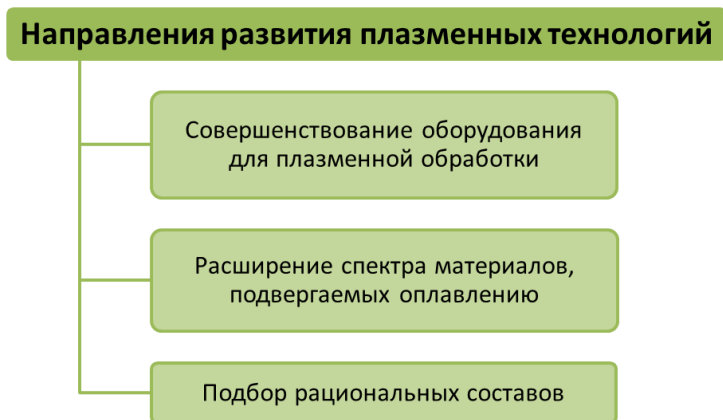


Рис. 1 Направления развития плазменных технологий

В образце после плазменного оплавления можно выделить следующие зоны: оплавленный слой (стекловидное покрытие), промежуточный слой и слой мелкозернистого бетона. В оплавленном слое наблюдаются области неоднородности и газовые включения. В рассматриваемых слоях присутствуют канальные и замкнутые поры, микротрещины, а также не полностью растворившиеся зерна молотого высокоглиноземистого легковеса (рисунок 2).

В процессе плазменного оплавления бетона, пропитанного растворами солей, образовались стекловидные покрытия (рисунок 3):

- оранжево-красный окрас из солей меди;
- темно-синий окрас из солей кобальта;
- серые цвета различных оттенков из солей никеля.

Все покрытия имели яркий окрас, соответствующий выбранным растворам солей, на поверхности имеется ярко выраженная стекловидная фаза.

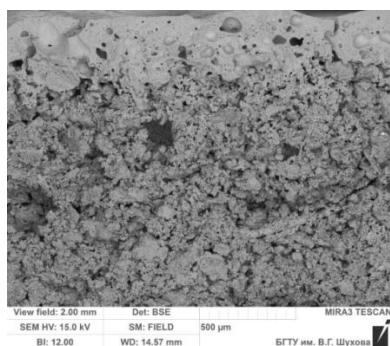


Рис. 2 Микроструктура оплавленного мелкозернистого бетона с защитным покрытием без красящих солей



Рис. 3 Декоративные покрытия на мелкозернистом бетоне с солями:
а – меди; б – кобальта; в – никеля

Анализ энергодисперсионных спектров покрытий показывает, что в верхнем поверхностном слое часть солей удаляется за счет термодиффузии и испарения. Наибольшая концентрация солей

наблюдается в середине оплавленного слоя и уменьшается в промежуточном слое.

Микротвёрдость плазменнооплавленных слоёв мелкозернистого бетона достаточно высокая и находится в пределах 750–1300 HV, наилучшими показателями обладает защитно-декоративное покрытие с солями меди.

Таким образом, с помощью плазменного комплекса можно регулировать среду, что даст возможность расширить цветовую гамму покрытий, а высокая микротвёрдость позволит улучшить сопротивляемость покрытий к царапанию и возможным ударным нагрузкам в процессе эксплуатации.

Работа выполнена в рамках реализации Стипендии Президента РФ СП-3948.2021.1 с использованием оборудования Центра высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Строкова В.В., Огурцова Ю.Н., Боцман Л.Н. Эпикристаллизационное модифицирование строительных композитов различного функционального назначения с использованием гранулированного наноструктурирующего заполнителя // Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. 2016. Т. 8. № 5. С. 42–59.

2. Strokova V.V., Baskakov P.S., Ayzenshtadt A.M., Nelyubova V.V. Creation of biocidal coatings using the stabilization of silver nanoparticles in aqueous acrylic dispersions // International Journal of Technology. 2020. Vol. 11. Issue 1. P. 5–14.

3. Кожухова М.И., Строкова В.В., Соболев К.С. Особенности гидрофобизации мелкозернистых бетонных поверхностей // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2014. № 4. С. 33–35.

4. Кожухова М.И., Соболев К.Г., Чулкова И.Л., Строкова В.В. Изучение характеристик стабильности силиконовых гидрофобизирующих водных эмульсий // Строительные материалы. 2018. № 4. С. 61–64.

5. Кожухова М.И., Чулкова И.Л., Хархардин А.Н., Соболев К.Г. Оценка эффективности применения гидрофобных водных эмульсий с содержанием нано- и микроразмерных частиц для модификации мелкозернистого бетона // Строительные материалы. 2017. № 5. С. 92–97.

6. Кожухова М.И., Флорес-Вивиан И., Рао С., Строкова В.В., Соболев К.Г. Комплексное силикоановое покрытие для супергидрофобизации бетонных поверхностей // Строительные материалы. 2014. № 3. С. 26–30.

7. Бондаренко Н.И., Бондаренко Д.О., Бурлаков Н.М., Брагина Л.Л. Исследование влияния плазмохимического модифицирования на макро- и микроструктуру поверхностного слоя автоклавных стеновых материалов // Строительные материалы и изделия. 2018. Т. 1. № 2. С. 4–10.

8. Изотова И.А., Бондаренко Н.И., Борисов И.Н., Клименко В.Г., Слабинская И.А. Исследование влияния плазменной обработки на эксплуатационные свойства композиционных стеклокристаллических материалов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. № 3. С. 75–80.

9. Shekhovtsov V.V., Volokitin O.G., Skripnikova N.K., Volokitin G.G., Semenovych M.A. Thermal plasma in construction industry // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 688. Article number 012010.

10. Bondarenko N.I., Chuev S.A., Dogaeva L.A., Jalovencko T.A. Chipboards with plasma protective decorative coatings // Materials Science Forum. 2020. Vol. 974. P. 90–95.

11. Bondarenko D.O., Strokov V.V., Timoshenko T.I., Rozdol'skaya I.V. Plasma-chemical modification of facing composite material on the basis of hollow glass microspheres with decorative protective coating // Inorganic Materials: Applied Research. 2019. Vol. 10. Issue 2. P. 445–450.

12. Bondarenko D.O., Strokov V.V. Operating properties of the coating, depending on the composition during plasma-chemical modification // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 341. Issue 1. Article number 012141.

УДК 699.8

Бондарь С.П.

*Научный руководитель: Давыдова Т.Е., канд. экон. наук, доц.
Воронежский государственный технический университет,
г. Воронеж, Россия*

НЕГАТИВНОЕ ВЛИЯНИЕ ВОДЫ НА СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И МЕРЫ ИХ ЗАЩИТЫ ОТ ПОСЛЕДСТВИЙ КОНТАКТА С ВОДОЙ

Необходимость воды, а также ее влияние велико практически во всех сферах жизнедеятельности человека: от промышленных отраслей

до бытовых нужд. В первую очередь, рассматривается экологическая составляющая ее использования [1, 2]. Затем учитывается значимость ресурса в осуществлении конкретных процессов. В данной статье мы хотим заострить внимание на строительной сфере и особенностях влияния воды на строительные материалы.

Вода на строительной площадке используется для затворения бетона, а также его увлажнения после заливки, для гашения извести и поливки бутового камня и кирпича в жаркую погоду и других процессов [3]. Однако влага несет и отрицательный характер влияния в строительной сфере.

Еще в древности люди боролись с негативными последствиями контакта воды со строительными материалами. Например, славяне использовали для защиты бревен от гниения и образования плесени из-за воздействия воды с помощью бересты, которая является отличным изолятором влаги. Также дерево пропитывали льняным маслом [4]. Такой метод широко используется и в современном строительстве – при гидроизоляции с использованием более продвинутых материалов.

Предоставим примеры того, как влага отрицательно воздействует на материалы и конструкции необходимые для строительства.

1. Намокание каменной кладки.

Кирпич является одним из самых популярных строительных ресурсов, который используется не одну сотню лет, т.к. он прочный и с ним легко работать. Но к недостаткам кирпича относится его чувствительность к влаге, которая формируется уже на этапе его изготовления.

Рассмотрим более детально силикатный и керамический кирпич. Керамический кирпич состоит из обычной глины с добавлением песка. Силикатный кирпич – из песка, в который добавляют вяжущий компонент и известь. После приготовления кирпичной смеси ее формируют в брикеты заданной формы и отправляют на обработку. Но силикатный кирпич, в отличие от керамического, обжигу не подлежит. Он доводится до товарного вида путем пропаривания. Какой бы тип обработки не использовался, структура кирпича не становится монолитной. Другими словами, кирпич превращается в гигроскопичный камень. Следовательно, вода может попасть в структуру кирпича. Особенно это опасно зимой, когда влага, попавшая в строение из кирпича из-за минусовых температур, начинает замерзать. При кристаллизации вода расширяется в объеме, отсюда под действием сил расширения кирпич разрушается и появляются различные трещины, сколы (рисунок 1), что с совокупности ломает каменную кладку [5].



Рис. 1 Трещина в каменной кладке. Источник: <https://sferastroiki.ru/>

2. Коррозия бетона и арматуры.

Коррозия – это разрушение конструкции из-за воздействия негативных факторов окружающей среды. Коррозия бетона возникает в результате проникания агрессивного вещества в его толщу; она особенно интенсивна при постоянной фильтрации такого вещества через трещины или поры бетона. К агрессивным воздействиям внешней среды чаще всего относят следующие: пресные и минерализованные воды, совместное действие воды и мороза, попеременное увлажнение и высушивание [6]. Разрушения могут быть самыми разными: от внешних трещин и сколов до изменения структуры изнутри (рисунок 2).



Рис. 2 Пример коррозии железобетона. Источник: <https://him-kont.ru/>

3. Намокание древесины.

Древесина также является строительным материалом с большим количеством преимуществ: экологичность, небольшой удельный вес, высокая удельная прочность, хорошая обрабатываемость и др. [7]. Данный материал подвержен процессу гниения, которое характеризуется разложением целлюлозы древесины и провоцируется жизнедеятельностью дереворазрушающих грибов и микроорганизмов (рисунок 3). Для начала гниения необходимо напитывание древесины

до появления в ее полостях влаги, затем грибы делают всё сами благодаря химическому (ферментативному) разложению древесины [8].



Рис. 3 Гниль в древесине. Источник: <https://yandex.ru/images/>

Предотвращение негативного воздействия воды на строительные материалы требует качественной подготовки специалистов и тщательного учета условий эксплуатации материалов [9, 10].

Рассмотрев и изучив последствия негативного влияния воды на строительные материалы и конструкции, мы составили таблицу с различными мерами защиты от намокания и других последствий контакта с водой.

Таблица 1 - Меры защиты материалов от влаги

Мера защиты	Действие	Плюсы	Минусы
Бетон [11]			
Литиевые пропитки	Физически упрочняет поверхностный слой, делая его прочным, износостойким и долговечным	1. Повышение износостойкости до 50%. 2. Улучшение прочности на сжатие – 30%, на разрыв – 75%. 3. Устойчивость к воде, огню, биологическим факторам. 4. Применяется на различных конструкциях.	Высокая стоимость
Акриловые пропитки на водной основе	Принцип действия основан на образовании	1. Повышение прочности в 2 раза.	Короткий срок годности и невозможность

	нитеобразных кристаллических структур, заполняющих трещины и поры.	2. Создание гидрофобного покрытия. 3. Удобство применения, отсутствие запаха и вреда. Применимость к старым и новым покрытиям.	хранить средство при низких температурах.
Полиуретановые пропитки	Проникает в толщу тела материала, заполняет поры и упрочняет поверхностный слой на глубину до 8 мм.	1. Многократное упрочнение. 2. Увеличение стойкости на истирание до 10 раз. 3. Герметичность и водостойкость поверхности. 4. Двойная ударопрочность. Обеспыливание.	1. применимость только для созревшего бетона 2. при эксплуатации обработанной поверхности на морозе потребуется антискользящее покрытие на улице необходима гидроизоляция.
Кирпич [12]			
Пропитки: 1. акриловые однокомпонентные 2. двухкомпонентные 3. силиконовые лаковые 4. гидрофобизаторы	Пропитка даёт возможность защитить основу от влаги и не даёт проникать ей в пористые структуры. При обработке материала таким составом на нём образуется пленка, которая не даёт развиваться грибку и плесени.	1. Сохранение способности кирпича пропускать воздух; 2. Предохранение материала от расслоения, что не дает ему потерять свой внешний вид; 3. Защита от трещин; 4. Увеличение устойчивости к коррозии; 5. Экологическая безопасность; 6. Сохранение цвета, фактуры и структуры камня; 7. Защита от загрязнений и	1. Дороговизна Потребность периодически наносить на поверхность.

		пыли на поверхности; 8. Улучшение теплопроводности стеновых конструкций, что сказывается на уменьшении затрат на отопление.	
Древесина [7], [13]			
Использование народных средств	В 1 часть прополиса добавляется 3 части подсолнечного масла. Поверхность очищают от пыли и других загрязнений и наносят смесь.	Препятствует возникновению микроорганизмов, приводящих к гниению, защищает материал от влаги.	Древесина становится легко возгораемой.
	Пропитка древесины машинным маслом.	Хорошо защищает от гнили и плесени.	Легко возгорается.
Антисептики	Пропитка древесины различными химическими веществами, которые консервируют ее изнутри.	Обработка древесины в любых климатических условиях.	Некоторые смеси могут изменить цвет деревянной поверхности.
Покрытие глиоксалем	Наличие альдегидных групп в глиоксале позволяет, при определенных условиях, осуществить не только пропитку древесины, но и химическое взаимодействие компонентов древесины альдегидными	1. Невысокая стоимость и низкая токсичность по сравнению с уже применяющимися пропитывающими составами. 2. Высокий диапазон рабочих температур.	Данная технология мало изучена.

	группами глиоксаля с образованием химических соединений.		
--	--	--	--

На основе предоставленных данных можно сделать вывод, что вода для строительства полезна, а иногда и вовсе необходима, но также при определённых обстоятельствах - опасна. Современные методы защиты достаточно эффективны, а некоторые еще и вполне доступны, но имеют определенные недостатки, поэтому важно продолжать исследования существующих мер и разработки новых.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Зыкова Д. А., Давыдова Т. Е. Концепция "умного города" в системе муниципального развития // Цифровая и отраслевая экономика. 2021. № 1(22). С. 9-15. EDN ECVRBS.

2. Давыдова Т. Е., Попова А. И., Распопова А. Е. Зеленая экономика в системе реализации целей устойчивого развития // Цифровая и отраслевая экономика. 2020. № 4(21). С. 92-99. EDN EQPYVF.

3. Вода в строительстве: flatproject: [сайт]. URL: <https://www.flatproject.ru/stroymaterialy/solution/voda.html> (дата обращения: 30.09.2022).

4. Почему деревянные дома предков не сгнивали и сотню лет: novate.ru – о дизайне популярно и познавательно: [сайт]. URL: <https://novate.ru/blogs/020421/58424/> (дата обращения: 30.09.2022).

5. К каким последствиям приводит намокание кирпичной кладки: Строительство и отделка – полезные советы от специалистов: [сайт]. URL: <https://sferastroiki.ru/k-kakim-posledstviyam-privodit-namokanie-kiprichnoy-kladki/> (дата обращения: 30.09.2022).

6. Жуков Е. М., Кропотов Ю. И., Лугинин И. А., Легаева Л. А. Современные методы защиты железобетонных конструкций зданий и сооружений от коррозии // Молодой ученый. 2016. № 7 (111). С. 75-78. URL: <https://moluch.ru/archive/111/27790/> (дата обращения: 16.10.2022).

7. Защитная обработка древесины глиоксалем / Т. Н. Стородубцева, А. А. Аксомитный, С. С. Никулин, А. С. Губин // Лесотехнический журнал. 2017. Т. 7. № 2(26). С. 148-154. DOI 10.12737/article_5967ea9a4c6ca4.72358700. EDN ZCRQAJ.

8. Щекинов Д. Н. Защита древесины от гниения // Вопросы современной науки: проблемы, тенденции и перспективы: Материалы

Международной (заочной) научно-практической конференции, Астана, 30 октября 2018 года / под общей редакцией А.И. Вострецова. Астана: Научно-издательский центр "Мир науки" (ИП Вострецов Александр Ильич), 2018. С. 64-67. EDN YRBFXF.

9. Давыдова Т. Е. Риски формирования экосистемы умного города в нестандартных условиях // Цифровая экономика и Индустрия 5.0: развитие в новой реальности. Санкт-Петербург: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2022. С. 315-338. DOI 10.18720/IEP/2022.3/14. EDN QPHJYM.

10. Давыдова Т. Е. Подготовка специалистов для нужд национального производства в условиях новой реальности // Организатор производства. 2022. Т. 30. № 3. С. 98-110. EDN YPZUW.

11. Пропитка для бетона глубокого проникновения от влаги и пыли – водоотталкивающая, укрепляющая, назначение, разновидности, применение: Выставка домов: [сайт]. URL: <https://m-strana.ru/articles/propitka-dlya-betona-glubokogo-proniknoveniya-ot-vlagi/> (дата обращения: 30.09.2022).

12. Чем обработать кирпич и как это сделать? СТРОЙ Подсказка: [сайт]. URL: <https://stroy-podskazka.ru/kiprich/chem-obrabotat-i-kak/> (дата обращения: 30.09.2022).

13. Пропитка для дерева от влаги и гниения: народные средства или из магазина, и как правильно применять: Выставка домов: <https://m-strana.ru/articles/propitka-dlya-dereva-ot-vlagi-i-gnieniya/> (дата обращения: 30.09.2022).

УДК 629.039.58

Волошкин А.А., Салихов Д.Д.

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

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ СТРОИТЕЛЬНОЙ ИНДУСТРИИ ДЛЯ ЭКРАНИЗИРОВАНИЕ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Экранирование ионизирующего излучения означает наличие некоторого материала между источником излучения и каким-либо устройством, которое будет поглощать излучение. Радиационная защита обычно состоит из барьеров из свинца, бетона или воды. Выбор конкретного вещества сильно зависит от типа экранируемого излучения, его энергии и многих других параметров. Например, обедненный уран может быть использован в качестве хорошей защиты

от гамма-излучения [1], но, с другой стороны, уран является неподходящей защитой от нейтронного излучения. Способность конкретного материала поддерживать радиационную защиту в первую очередь связана с его способностью поглощать излучение. Это поглощение определяется составом материала (химические компоненты: элементы и молекулы) и типом защищаемого излучения. Другими словами, материал не защищает одинаково от всех типов излучения. Обычно в качестве поглотителей для определенного спектрального диапазона электромагнитного излучения используются специфические компоненты. Хорошим примером здесь является диоксид титана TiO_2 , который можно использовать в качестве УФ-поглотителя для обеспечения свойств защиты от ультрафиолета. Типичные поглотители излучения известны для каждого типа электромагнитного излучения.

Альфа частицы задерживаются листом бумаги [2]. Бета частицы проникают глубже, но алюминиевая фольга толщиной 0,1 мм для них является непреодолимым барьером. Нейтронное излучение легко проникает сквозь бетонное покрытие толщиной 15 см, но полиэтиленовая пленка толщиной 1 мм для них труднопроходимая преграда, либо водная среда. Свинец используют для защиты от рентгеновского излучения и гамма квантов. Бетон в 10см ослабит поток гамма квантов в 2 раза. Свинцовый экран для рентгеновских лучей будет непреодолим при толщине около 0,5см.

На рисунке (рис. 1) показана схема проницаемости различных видов излучений.

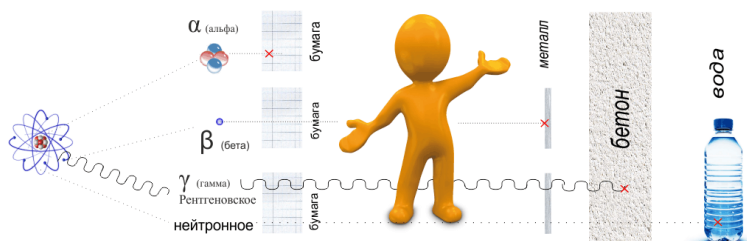


Рис. 1 Схема радиационного излучения

Одним из наиболее распространенных и доступных противорадиационных средств, является Система ПАЗ, которая состоит из противорадиационного надбоя и подбоя. Подбой содержит в себе свинец, бор и другие металлы, способствующие снижению гамма-излучения, а для ослабления потока нейтронов он имеет сплетенные полиэтиленово-асбестовые волокна, поэтому внешне он похож на

"резиновые коврики". Подбой располагается внутри техники, а надбой снаружи. Благодаря своему составу система ПАЗ способна блокировать все виды излучений. Данный тип противорадиационной защиты активно используются среди военных, с целью ведения боевых действий в условиях сильного радиационного фона, так же систему ПАЗ можно использовать и в гражданских целях, как защиту различной техники и робототехники, электро-механизмы которой уязвимы к радиационному излучению [3].

Обеспечить защиту уязвимых узлов возможно путем размещения конструктивных элементов таким образом, при котором наиболее стойкие и массивные из них защищают наименее стойкие, т. е. применением общего, теневого и локального экранирования изделий. На рисунке (рис. 2) показана схема экранирования от воздействия ионизирующего излучения.

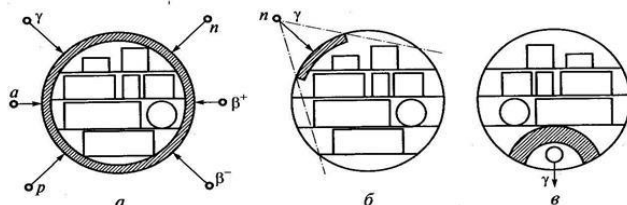


Рис. 2 Схема экранирования от воздействия ИИ

Общее экранирование (рис.2, а) обеспечивает самую эффективную защиту радиоэлектронного средства (РЭС) от воздействия всех видов ИИ, однако оно увеличивает массу и габаритные размеры объекта в целом. Этот способ экранирования применяют в условиях неполноты сведений о параметрах, направлениях действия ИИ и данных по РС аппаратуры [4].

Теневое экранирование (рис.2, б) обеспечивает эффективную защиту аппаратуры объекта от источников ИИ, если известны их параметры и положение, которое не меняется во время эксплуатации.

При локальном экранировании используют средства защиты с минимальными массогабаритными параметрами для повышения РС отдельных устройств РЭС или коллимирования собственных γ -источников (рис. 2, в), используемых, например в системах мягкой посадки космических аппаратов.

Эффективным радиационно-защитным веществом являются гибридные золь-гели покрытия, содержащие органические или неорганические соединения в дополнение к золь-гель матрице, которые

могут поддерживать радиационную защиту. В дополнение к различным составам и гибридным подходам морфология внедренных частиц (размер, форма, кристалличность) также может быть использована для разработки специальных защитных материалов. Однако следует отметить, что не существует единого универсального золь-гель гибридного материала или покрытия, которые могли бы обеспечить защиту от каждого типа излучения. Например, для защиты от гамма лучей следует использовать золь-гели содержащие тяжелые металлы, такие как $PbWO_4$ или $BaSO_4$ [5].

Так же в качестве экранирования ионизирующего излучения могут быть использованы различные радиационно-защитные бетоны (РЗБ). Бетон традиционно использовался в конструкциях для хранения радиоактивных веществ, рентгеновских кабинетов и атомных электростанций в качестве защиты от вредного излучения. Радиационно-защитный бетон – бетон на основе композитов, разработанный в последние несколько лет с использованием тяжелых природных заполнителей, таких как барит или магнетит, поддается формованию, экономичен и считается превосходящим обычный бетон по защите от вредного излучения. Обычный бетон может защищать от различных излучений благодаря своей высокой плотности и большому количеству кристаллизованной воды. Состав РЗБ в основном аналогичен составу обычного бетона, исключая использование заполнителей. Некоторые РЗБ, в состав которых входит тяжелый заполнитель для улучшения свойств защиты от радиации, требуют меньшей толщины защитной оболочки. Альтернативные материалы, в том числе первичные, такие как наночастицы и волокна, коммерческие отходы, такие как полимеры и мраморные отходы, а также промышленные отходы, такие как шлак железа и диоксид кремния, используются в РЗБ либо в качестве заменителей заполнителя, либо цемента. Различные размеры и типы заполнителей, которые используются в РЗБ, влияют на защитные свойства и механическую прочность бетона. Заполнитель, используемый в РЗБ, можно охарактеризовать как промышленные отходы, отходы шахт, шлак, синтетический заполнитель, природный заполнитель с кристаллизованной водой, тяжелый природный заполнитель и легкий природный заполнитель. Природные тяжелые заполнители, такие как магнетит, гематит и барит, используются для производства высокоплотного РЗБ с улучшенными защитными свойствами, в то время как природные заполнители с кристаллизованной водой, такие как серпентин и колеманит, используются в ядерной промышленности для защиты от нейтронного излучения. Для повышения защитных

свойств РЗБ используется синтетический наполнитель. Отходы шахт исследуются в качестве наполнителей в РЗБ из-за их плотности и присутствия тяжелых элементов. Например, оловянные отходы с плотностью 4000 кг / м³ и высоким содержанием диоксида титана полезны для РЗБ. РЗБ является основным материалом, используемым для радиационно-защитных экранов, благодаря своей высокой универсальности, низкой стоимости, высокой прочности и хорошей экранирующей способности. Как правило, бетон применяется для биологической защиты в исследовательских реакторах, лабораторных горячих камерах, медицинских подразделениях, ускорителях частиц и атомных электростанциях. РЗБ также используется в зданиях реакторов с кипящей водой, экранах реакторов с водой под давлением, для обращения с отработавшим ядерным топливом атомных электростанций, в качестве защиты от электромагнитных волн и в качестве “горячей камеры”, которая относится к области, предназначенной для обращения с облученными отходами или элементами. В секторе здравоохранения RSC используется для возведения стен для кабинетов лучевой терапии [6].

Обобщив вышесказанное, нужно отметить, что средство для защиты от радиационного излучения нужно подбирать, учитывая ряд факторов, таких как: тип радиационного излучения, уязвимые узлы механизма, который необходимо изолировать от радиационного фона, не всегда нужно полностью экранировать прибор, бывают случаи, когда нужно сделать теневое либо локальное экранирование. Так же можно использовать радиационно-защитные строительные материалы для защиты объектов, позволяющих или требующих такой защиты.

Исследование выполнено (работа выполнена) в рамках реализации федеральной программы поддержки университетов «Приоритет 2030» с использованием оборудования на базе Центра высоких технологий БГТУ им. В. Г. Шухова

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Демьянов Г.В., Григорьев А.А., Шалашов Е.В. Экранирование от ионизирующего излучения модулями на основе реакторного графита, порошка обедненного урана и компактного алюминия / Неделя науки СПбУ: материалы научной конференции с международным участием, лучшие доклады. 2019 // ФГАОУ ВПО СПбПУ им. Петра Великого. СПб: Изд-во: СПбПУ, 2019. С. 113-116.
2. Маркитанова Л.И. Радиационная защита. Учеб.-метод. пособие. СПб.: Университет ИТМО; ИХиБТ, 2015. 39 с.

3. С. Шумилин, Н. Околелов, А. Чечин Бронекolleкция 2008 № 04 (79) Средний танк Т-55 (объект 155) // Моделист-конструктор. Издается с июля 1995г.

4. Зарипова Л.Д. Защита от ионизирующего излучения: Учебно-методическое пособие для студентов физического факультета / Л.Д. Зарипова. – Казань: Изд-во Казанск. гос. ун-та. 2008..-48 с.: ил.

5. Mahlting B, Böttcher H, Rauch K, Dieckmann U, Nitsche R, Fritz T (2005) Optimized UV protecting coatings by combination of organic and inorganic UV absorbers. Thin Solid Films 485:108–114.

6. Ястребинский Р.Н., Павленко З.В. Радиационно-защитный бетон на основе модифицированного железорудного сырья / Энерго и ресурсосберегающие экологически чистые химико-технологические процессы защиты окружающей среды: сборник материалов международной научно-технической конференции // Белгородского гос. технол. ун-та. им. В.Г. Шухова. Белгород: Изд-во БГТУ, 2015. С. 175-179.

УДК 667.62

Голец А.А., Есина А.Ю., Голикова А.И.

Научный руководитель: Строчкова В.В., д-р техн. наук, проф.

Белгородский государственный технологический университет

им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ДЕЙСТВИЕ СИККАТИВА НА ПЛЕНКООБРАЗОВАНИЕ АЛКИДНОЙ ЭМУЛЬСИИ

На протяжении долгих лет продукты лакокрасочной промышленности занимают лидирующую позицию на мировом рынке, их основой служат различные органические пленкообразующие, в число которых и входят алкидные смолы.

Среди лакокрасочных материалов на основе алкидные смол широко используют в покрывных композициях эмульсии алкидных олигомеров [1]. При получении алкидных эмульсий на водной основе применение пленкообразующих компонентов не является исключением. В процессе высокоскоростного эмульгирования отверждающий компонент вводится в состав эмульсии («вода в масле»), благодаря чему происходит качественное распределение сиккатива к смоле.

Сиккатив выступает катализатором в реакции высыхания и является важным компонентом в алкидной эмульсии. Без его наличия в составе дисперсии и полимерного покрытия на ее основе могут

потребоваться дни или даже месяцы, чтобы полностью высохнуть и быть готовым к полноценному использованию. Для алкидных смол отверждающими компонентами являются соли поливалентные, содержащие кобальт, кальций, медь, цинк в качестве катиона; и галогениды, нитраты, сульфаты в качестве аниона, а также их смеси [2].

Алкид представляет собой жирную кислоту, функционализированную сложной полиэфирной смолой, которая содержит ненасыщенные жирные кислоты [3]. Фрагменты жирной кислоты алкидной смолы реагируют с кислородом атмосферы с образованием гидропероксидов, с последующим распадом и формированием свободных радикалов. Взаимодействие таких свободных радикалов с ненасыщенными углерод-углеродными связями вызывает образование ковалентных связей между алкидными полимерными цепочками. Вследствие этого жидкая покрывная композиция, которая содержит алкидную смолу, затвердевает с образованием полимерного покрытия [4]. Этот процесс также называют самоокислением или высыханием.

Процесс пленкообразования алкидного лака без его модификации является весьма долгим [5]. В связи с чем, окислительная сушка осуществляется путем введения катализатора – сиккатива, ускоряющего дальнейшую полимеризацию ненасыщенных пленкообразователей [6]. Их структура представляет собой смесь органических солей с различной степенью окисления (числом зарядов) металлов и кислот. Формула (1) данного компонента выглядит следующим образом:



где R – алифатический или циклический углеводород; Me – металл с валентностью x .

Механизм действия сиккатирующего компонента заключается в многократном отщеплении иона металла от наиболее низкой к более перспективной (высокой) степени окисления. Каталитическая активность металла во время расщепления гидропероксида приводит к восстановлению и окислению их, катализируя и ускоряя окисление компонента ненасыщенного масла композиции. Исходя из чего, наиболее подходящими для такой реакции подходят переходные металлы, которые способны осуществлять переход от более низкого валентного состояния к более высокому в реакциях окисления-восстановления с пероксидами жирных кислот, присутствующих в алкидной смоле. Однако, в процессе протекания реакции потеря

активности катализатора ведёт к возрастанию времени полного пленкообразования. Что может выражаться процессом адсорбции – увеличением концентрации сиккатива на поверхности полимерной частицы.

В зависимости от того, какой сиккатив был взят для получения алкидной эмульсии, будет получен отличный друг от друга результат в скорости высыхания алкидной пленки. Всего принято отличать два основных вида: первичные сиккативы и вторичные. Первые обладают повышенной каталитической активностью, ускоряют поверхностную сушку, не воздействуя на внутреннее затвердевание. Вторые, в свою очередь, не проявляют никакой активности без наличия в составе первых. Они служат дополнением для получения объемной сушки и улучшения физико-механических свойств покрытий. В работе с алкидной эмульсией, для достижения баланса всех необходимых характеристик получаемой полимерной пленки, производители добавляют определенное количество и тех и других отверждающих компонентов [7].

К первичным сиккативам (на сухой остаток алкида 0,005–0,2 %) относятся сиккативы кобальта, марганца, железа, ванадия и церия. Наиболее часто используемым из всех является сиккатив кобальта (0,05–0,1 %), так как он дает высокую скорость поверхностной сушки, отсутствие пигментации, изоляцию от кислорода. Однако из-за недостатка поперечных сшивок может возникнуть дефект сморщивания. По этой причине вместе с ним используют дополнительные сиккативы (марганца, кальция и др.).

Стоит отметить компоненты, отвечающие за многократное повышение скорости пленкообразования – ускорители высыхания (2,2-биперидин и 1,10-фенантролин). Их работа заключается в усилении активности первичных сиккативирующих компонентов за счет образования атомов их металлов.

Вторичные сиккативы применяют для равномерного высыхания в объеме полимерной пленки, выделяют вспомогательные и объемные сиккативирующие добавки (циркония, лантана, неодима, алюминия, висмута, стронция и т.д.) [8]. Они служат стимуляторами первичных сиккативов, увеличивая скорость проникания кислорода и улучшая стабильность эмульсии.

Таким образом, для эффективного использования в качестве отверждающего компонента эмульсии стоит выделить сочетание первичного и вторичного сиккативов в соотношении 1:3. Смесь сиккативов кобальта и циркония обеспечивает покрытие алкидной

эмульсии как на поверхности пленки, на ее основе, так и объемной сушки с улучшенными показателями прочности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Баскаков П. С., Строкова В.В., Мальцева К.П. К вопросу о совмещении винилированного алкидного олигомера и акриловых сополимеров // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). 2016. №37 (63). С. 90-94.

2. Есина А.Ю., Ишмухаметов Э.М., Вициенко М.И. Неорганические соли, применяемые для пылеподавления на дорогах // Химия и химическая технология: достижения и перспективы. Кемерово. 2020. С. 9.1-9.5.

3. Зиганшина М.Р., Штейнберг Е.М. Алкидные смолы в лакокрасочных материалах // Путь науки. 2016. № 2. С. 22-23.

4. Строкова В.В., Ишмухаметов Э.М., Есина А.Ю., Маркова И.Ю., Губарева Е.Н., Абзалилова А.В., Шаповалов Н.А. Пылеподавляющие составы на водной основе: анализ состава и перспективы развития. // Вестник Технологического университета. 2021. № 12. С. 5-38.

5. Пирожников П.Б., Королев И.В., Кузина Н.Г., Машляковский Л.Н. Гиперразветвленные полимеры и их применение в технологии лакокрасочных материалов и покрытий (обзор) / П.Б. Пирожников, И.В. Королев, Н.Г. Кузина, Л.Н. Машляковский // Журнал прикладной химии. – 2013. № 10. С. 1595-1609.

6. Колошич Е.А., Крутько Э.Т. Модификация алкидных смол для улучшения эксплуатационных показателей // Химические реактивы, реагенты и процессы малотоннажной химии. 2012. С. 45.

7. Голец А.А., Есина А.Ю., Потапов Д.Ю. Виды алкидных смол и области их применения // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова. Белгород. 2022. С. 30-35.

8. Пат. 2669824 С Россия, МПК С 09 F 9/00. Покрывная композиция, содержащая самоокисляемую алкидную смолу и композицию сиккатива / Й. Флаппер. № 2018121328, заявл. 17.11.2016; опубл. 16.10.2018. Бюл. №29.

Жигалов М.Ю., Варнавский Н.Р.

Научный руководитель: Тольпина Н.М., д-р техн. наук, проф.

Белгородский государственный технологический университет

им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗЖИЖЕНИЯ БИКОМПОНЕНТНЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ СУСПЕНЗИЙ СУПЕРПЛАСТИФИЦИРУЮЩЕЙ ДОБАВКОЙ

Для производства бетонов в качестве мелкого заполнителя и наполнителя чаще всего используется кварцевый песок, а крупного – гранит, кварцитопесчаник, доменные и сталеплавильные шлаки и др., которые характеризуются преимущественно отрицательно заряженной поверхностью. В результате наполнитель из кварцевого песка, кварцевый песок и крупный заполнитель слабо участвуют в процессе разжижения бетонных смесей с помощью супер- и гиперпластификаторов, т.е. выступают инертными компонентами бетонной смеси с точки зрения разжижения [1-3]. Следовательно, для повышения разжижения бетонной смеси с помощью анионных СП и ГП, особенно, при низких расходах цемента (150–250 кг/м³) целесообразно использовать заполнитель и наполнитель, содержащий на поверхности положительно заряженные активные центры. Ранее была установлена корреляция между электрокинетическим потенциалом частиц мелкого заполнителя и разжижающей способностью СП [4-5].

Поскольку, используемые в технологии многокомпонентных высокофункциональных бетонов наполнители из тонкодисперсного кварца имеют преимущественно отрицательный заряд, то целесообразно его применять в комбинации с наполнителем, имеющим противоположный знак заряда – положительный. Очевидно, что минеральные компоненты с положительным электроповерхностным зарядом будут играть существенную роль в процессах адсорбции ПАВ на наполнителе и влиять на эффективность разжижения бетонных смесей анионоактивными разжижителями [6-8]. Проверке данной гипотезы посвящены данные исследования.

Для исследований использовали кварцевый песок ООО «Формматериалы» ГОСТ 8736-2014. В качестве добавки разжижителя применяли Полипласт ПК тип S с дозировками 0,2, 0,4, 0,6 и 0,8 %. Добавку СП вводили с водой затворения. В качестве минерального компонента с положительным дзета-потенциалом поверхности

использовали добавку А* (техногенный продукт, химический состав не указан, т.к. подана заявка на патент), которую вводили в количестве 1, 3 и 5 % от массы кварцевого песка. Кварцевый песок совместно с А* измельчали в лабораторной шаровой мельнице до удельной поверхности $S_{уд}=6000 - 6100 \text{ см}^2/\text{кг}$. Для определения эффективности разжижения смесей использовали метод мини-конуса. Результаты исследований показали, что эффективность разжижения суспензий на основе кварцевого песка с электроотрицательной поверхностью существенно зависит от количества второго компонента с положительно заряженной поверхностью (рисунок 1, рисунок 2, рисунок 3).

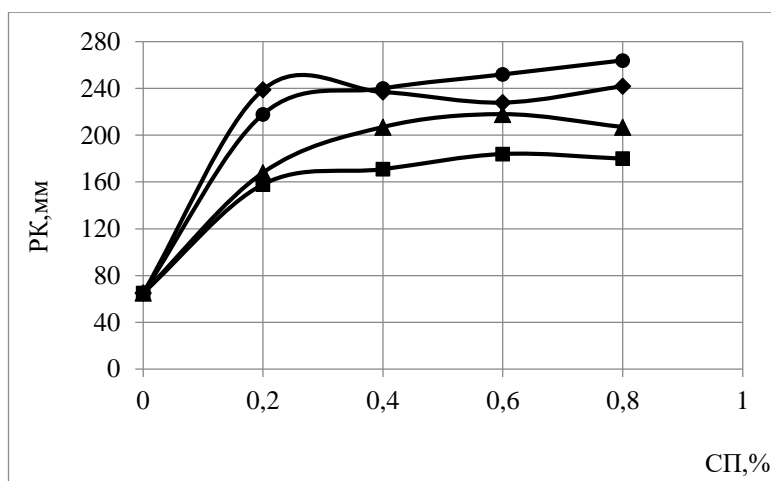


Рис. 1 Разжижение кварцевых суспензий различного состава суперпластификатором Полипласт ПК тип S через 5 мин после затворения: ■ – SiO_2 ; ▲ – $\text{SiO}_2 + 1\% \text{ A}^*$; ◆ – $\text{SiO}_2 + 3\% \text{ A}^*$; ● – $\text{SiO}_2 + 5\% \text{ A}^*$

Из приведенных данных следует, что суперпластификатор Полипласт ПК тип S проявляет чувствительность к составу суспензии, он менее эффективен в чисто кварцевой суспензии, но эффективность его значительно возрастает с повышением содержания минерального компонента А*. При смешивании тонкодисперсного кварца с раствором Полипласт ПК тип S при разных дозировках СП распыл мини-конуса (РК) увеличивается от 55 до 180 мм. Этот результат является доказательством того, что при помол кварцевого наполнителя образуются как отрицательно, так и некоторое количество положительно заряженных активных центров, на которых

адсорбируются анионные добавки. Вероятно, что по мере измельчения кварцевого песка, количество положительно заряженных активных центров будет увеличиваться.

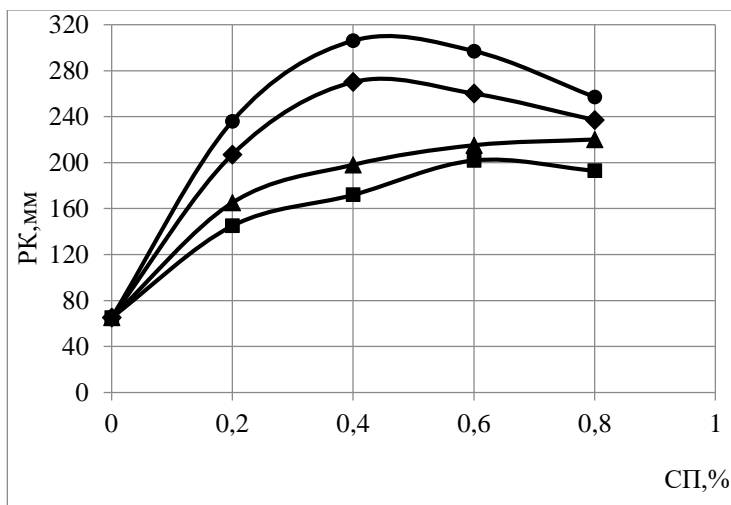


Рис. 2 Разжижение кварцевых суспензий различного состава суперпластификатором Полипласт ПК тип S через 1 час после затворения: ■ – SiO₂; ▲ – SiO₂ + 1% А*; ◆ – SiO₂ + 3% А*; ● – SiO₂ + 5% А*

У смешанных суспензий на основе кварцевого порошка и добавочного минерального компонента текучесть значительно возрастает по мере увеличения дозировки СП от 0,2 до 0,8 %. Так, при добавлении 1 % А* расплыв мини-конуса суспензии увеличился на 6-21 %, при добавлении 3 % А* на 24-51 %, а 5 % А* – на 38-46% (рис. 3).

Из анализа данных следует, что смешанные суспензии характеризуются большим расплывом при минимальных дозировках СП (0,2 %), по сравнению с чисто кварцевой при максимальных дозировках СП (0,8 %). Это объясняется тем, что тонкодисперсный кварц с преимущественно электроотрицательным зарядом поверхности менее энергично адсорбирует анионоактивные суперпластификаторы [4].

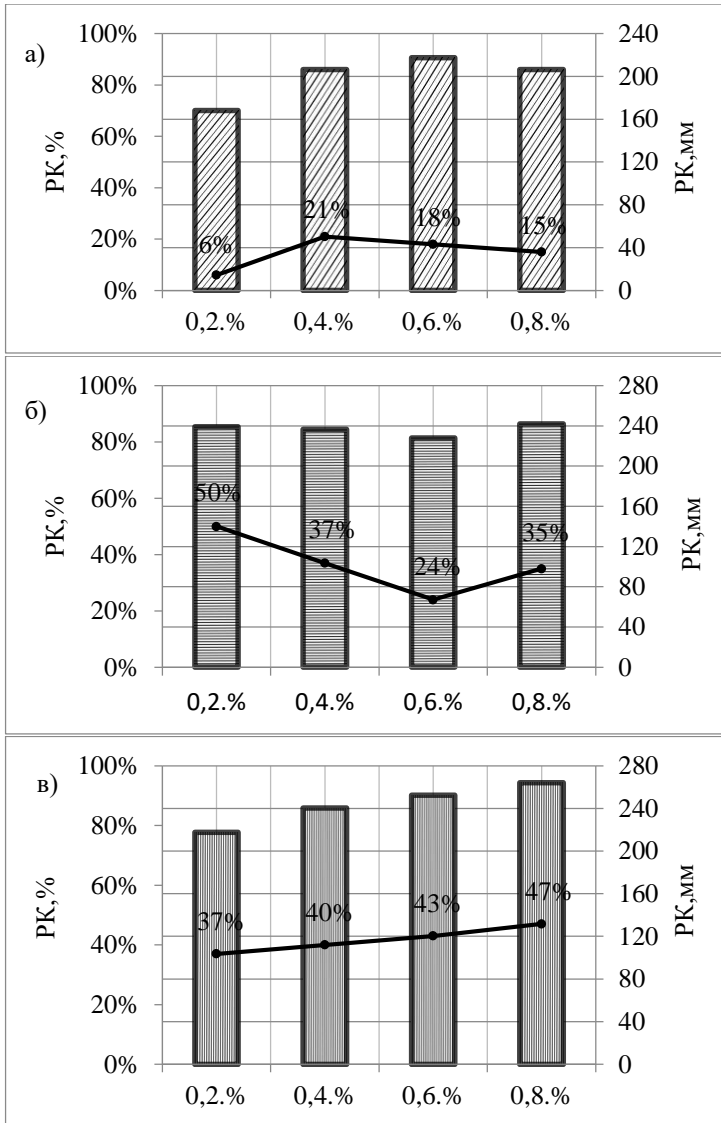


Рис. 3 Увеличение текучести кварцевой суспензии с СП в зависимости от дозировки минерального компонента А*: а) 1 % А*; б) 3 % А*; в) 5 % А*

Но при совместном помоле кварцевого песка со вторым минеральным компонентом происходит не только насыщение смеси

положительно заряженным частицами, но и модификация поверхности кварцевых зерен путем ликвидации отрицательно-заряженных активных центров, что вызывает их перезарядку, дефлокуляцию суспензий и рост их текучести с помощью анионного суперпластификатора (рис.2, рис. 3). Наилучший эффект получен на суспензиях с 3 и 5% минерального модификатора А*.

Таким образом, получен важный в практическом отношении результат, заключающийся в том, что совместный помол неорганического модификатора разноименного знака заряда с кварцевым песком существенно повышает эффективность действия анионного суперпластификатора, при минимальных дозировках последнего. Предложенный подход позволит повысить разжижающую способность анионных СП, а также качество и долговечность бетонов гидратационного твердения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Pouchet S., Pochard I., Brunel F., Perrey D. Chemistry of the calcite/water interface: Influence of sulfate ions and consequences in terms of cohesion forces // Cem. and Concr. Res. 2013. 52. P. 22-30.

2. Вовк А.И. Гидратация трехкальциевого алюмината C_3A и смесей C_3A +гипс в присутствии ПАВ // Коллоидный журнал, 2000. Т. 62. № 1. С.31-38.

3. Вовк А.И. Адсорбция суперпластификаторов на продуктах гидратации минералов портландцементного клинкера // Коллоидный журнал, 2010. Т. 62. № 2. С.161-169.

4. Рахимбаев Ш.М., Тольпина Н.М., Хахалева Е.Н. Влияние мелкого заполнителя из песка на эффективность действия добавок-разжижителей // Вестник СибАДИ. 2016. № 3 (49). С. 74–79.

5. Рахимбаев Ш.М., Тольпина Н.М. О влиянии знака поверхностного заряда заполнителя на разжижающую способность суперпластификаторов // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2011. №2. С.22–26.

6. Uchikawa H., Hanehara S., Sawaki D. The role of steric repulsive force in the dispersion of cement particles in fresh paste prepared with organic admixture // Cement and Concrete Research. 1997. Vol. 27. № 1. P. 37–50.

7. Тараканов О. В., Логинов Р.С. Формирование микроструктуры цементных материалов с минеральными и комплексными добавками // Технология бетонов. 2009. № 7–8. С. 58–60.

8. Зоткин А. Г. Эффекты от минеральных добавок в бетоне // Технология бетонов. 2007. № 4. С.10–12.

УДК 691.327–431

Зайцев К.А.

*Научный руководитель: Салтанова Е.В., ст. преп.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

КЕВЛАРОБЕТОН В СТРОИТЕЛЬСТВЕ. СОСТАВ, ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ, СВОЙСТВА, ПРИМЕНЕНИЕ

В наше время строительная отрасль насыщена большим количеством различных строительных материалов и бетон яркий тому пример – насчитывается не менее 15 его разновидностей. Строительная наука активно работает и помимо разработки принципиально новых материалов и изделий, занимается улучшением и созданием видов уже существующих. Одним из таких материалов является кевларобетон.

Кевларобетон – разновидность бетона, в котором зерна диаметром от 2 до 5 мм выполняют функцию жесткого каркаса [1]. Важно отметить, что кевларобетон не содержит пара-амидных волокон и соединений – кевлара [2]. Бетон имеет высокие показатели прочности, достигаемые в процессе изготовления, путём применения гравитационного смешивания в бетоносмесителях. Своеобразная форма окатышей делает бетон прочным, поскольку в процессе изготовления из строительной смеси выжимается воздух.

Состав кевларобетона аналогичен с другими видами тяжелых бетонов. В него входят: портландцемент, остев или мелкий щебень, пластификатор, краситель, фиброволокно, вода. Типовые пропорции приготовления кевларобетона приведены в (таблице).

Таблица – Пропорции компонентов для кевларобетона

Компоненты	Пропорции для изготовления, %	Расход на 1 м ² плитки	Расход на 1 м ³ раствора
Портландцемент (М500, М400)	21	30 кг	500 кг
Отсев (мелкий щебень)	23	32 кг	540 кг
Песок	56	75 кг	1300 кг
Пластификатор С-3	0,7 (от т бетона)	0,05 кг	1,9 л
Краситель	7 (от т бетона)	0,7 кг	10 кг
Фиброволокно	0,05 (от т бетона)	0,06 кг	0,7–10 кг

(на 1 м ³ бетона)			
Вода	5,5 (от т бетона)	8 л.	130 л

Технологический процесс приготовления кевларобетона при использовании гравитационного смешивания в бетоносмесителе состоит из восьми этапов:

1. Проводится перемешивание минеральной основы в бетоносмесителе в течение одной минуты, для получения однородной основы;

2. Вводится портландцемент, проводится дополнительно перемешивание в течение одной минуты;

3. Медленно вводится пластификатор на водной основе, который влияет на размеры шариков;

4. Через 15 секунд после внедрения пластификатора выполняется контроль изготавливаемой массы. Через 45 секунд проводится остаточный контроль, при котором оцениваются: размеры и внешний вид шариков, внутренний состав, плотность;

5. Вводится красочный пигмент. Изделия без тонировки будут серыми, т.е. будут иметь естественный цвет кевларобетона;

6. Производится разлив смеси в пластиковые (стеклопластиковые) формы, находящиеся на вибростоле;

7. Во избежание попадания воздуха, формы накрываются полиэтиленовой пленкой и остаются на 20 часов для окончательного затвердевания. Материал можно переносить в специальную сушилку (не является обязательным).

8. Конечным этапом является расформировка, складирование и хранение. К использованию продуктов можно приступать не ранее чем через 5 дней со дня изготовления [3].

Полное соблюдение технологического процесса и контроль за ним позволяют обеспечить высокие показатели ключевых свойств кевларобетона.

Касаемо свойств кевларобетона, можно заметить, что в отличие от простых бетонов, которые выдерживают до 50–150 циклов заморозки и размораживания, у кевларобетона этот показатель значительно выше и может достигать 700 циклов [4]. Минимальная марка прочности у кевларобетона – М600, или класс В45. Таким образом, его сопротивление нагрузке на сжатие равна 600 кгс/см². Водонасыщение кевларобетона составляет 0,5% (при норме – менее 5%). При контакте с атмосферными осадками (снег, вода) кевларобетон обладает степенью скольжения, близкой к нулю. Также кевларобетон имеет высокий показатель газопроницаемости и минимальный показатель износа [5].

Кевларобетон нашел устойчивое применение в изделиях, которые обеспечивают эстетическую привлекательность интерьеру и экстерьеру дома или украшают окружающий ландшафт, таких как: плитка для тротуаров, въездов и дорог; секции заборов и ограждений; бордюры и поребрики; облицовка каминов; отделка фасадов и цокольных этажей; подоконники и лестничные марши; малые формы для газонов и клумб (рисунок 1).

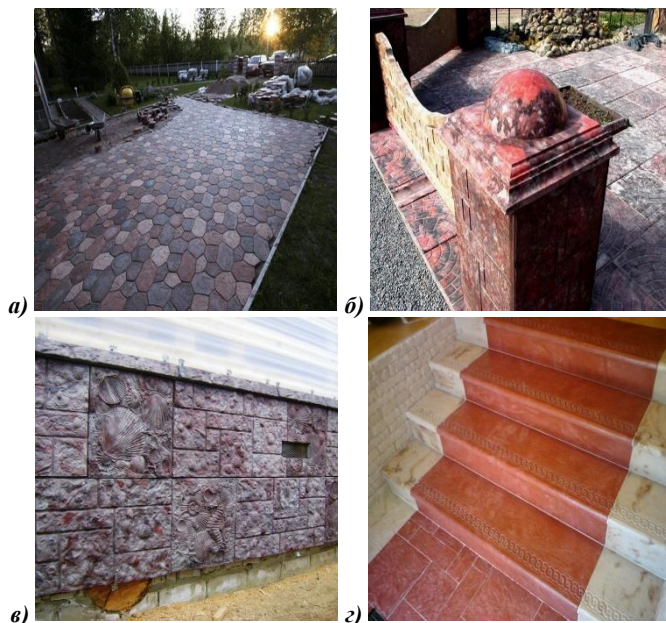


Рис. 1 Примеры применения кевларобетона: а – плитка для тротуаров; б – секция ограждения; в – отделка цокольного этажа; г – лестничный марш;

Исходя из всего вышеперечисленного можно сказать, что кевларобетон является высококачественным материалом как с точки зрения своих эксплуатационных и прочностных характеристик, так и с эстетической и архитектурной точек зрения. Высокая прочность и износостойкость изделий, красивый внешний вид, наряду с низкой стоимостью производства, делают изделия из кевларобетона востребованными для применения в строительной отрасли. Кевларобетон по праву занимает своё место среди других видов бетона и строительных материалов и является хорошим выбором для применения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дроков, А. В. Технология изготовления и методы использования кевларобетона в современном строительстве / А. В. Дроков // Наука и инновации в строительстве: (к 45-летию кафедры строительства и городского хозяйства): сборник докладов Международной научно-практической конференции, Белгород, 21 апреля 2017 года / Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2017. – С. 82-85.

2. Галдунова О. История кевлара / О. Галдунова // Композитный мир: электронный журнал. – URL: <https://compositeworld.ru/articles/materials/>. – Дата публикации: 12.05.2021. – ISSN 2222-5439

3. Матвиченко, А. А. Кевларобетон. Технология производства, состав, свойства, плюсы и минусы применения в строительстве / А. А. Матвиченко, Р. Г. Нехай // Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения: Материалы Национальной научно-практической конференции. В 2-х томах, Ульяновск, 20–21 июня 2019 года. – Ульяновск: Ульяновский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, 2019. – С. 56-61.

4. Влияние противоморозных добавок на свойства мелкозернистого бетона / Н. И. Алфимова, Л. Н. Соловьева, А. П. Гринев, Ю. Н. Огурцова // Инновационные материалы и технологии (XX научные чтения): Материалы Международной научно-практической конференции, Белгород, 11–12 октября 2011 года. – Белгород: БГТУ, 2013. – С. 16-20.

5. ГОСТ 17608-91. Плиты бетонные тротуарные. Технические условия.: дата введения 1922-01-01. – Москва: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 38 с.

6. Кевларобетон: технология, состав, изготовление // Dom4M. Проекты домов: сайт. – URL: <https://dom4m.ru/kevlarobeton-tehnologija-sostav-izgotovlenie-article/> (дата обращения: 20.10.2022)

Золотарева С.В.

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

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ СУХИЕ ФАСАДНЫЕ ОТДЕЛОЧНЫЕ ПОКРЫТИЯ

Здания потребляют около 30% мировых ресурсов и около 40% мировой энергии. В строительном секторе воздействие на окружающую среду заключается в 25-40 процентах общих мировых выбросов углекислого газа. Растущий интерес к энергосбережению и экологической устойчивости в зданиях привел к созданию ряда инновационных решений фасадных систем. Энергоэффективность в строительном секторе в настоящее время является в нашей стране одной из приоритетных задач. Помимо вопросов теплоснабжения жилых и общественных зданий, важным является сохранение поступившей в помещение тепловой энергии в результате эффективной теплоизоляции ограждающих конструкций. На наружные стены приходится большая доля энергосберегающей системы здания. Изоляция зданий – это повестка дня, которая прокладывает путь к энергосбережению, снижению затрат и повышению комфорта. [1]

Тепловая изоляция наружных стен осуществляется как за счет конструктивных методов (например, устранение неплотностей), так и путем применения эффективных строительных материалов. Современный строительный рынок представлен большим ассортиментом импортируемых строительных материалов, имеющих хорошие технические характеристики, но стоящих дорого. Современные теплоизоляционные материалы имеют высокую стоимость на единицу площади, хотя и обладают лучшими характеристиками. К тому же, в условиях, введенных против Российской Федерации санкций со стороны большого количества недружественных государств, необходимым является создание зарубежных аналогов (а еще лучше материалов, обладающих лучшими техническими характеристиками). [2]

Отечественный строительный рынок адекватно откликается на возникающие запросы отрасли. Помимо прекращения поставок большинства строительных материалов из-за рубежа, фактором повышающейся потребности в отечественных аналогах является рост строительства жилья в последние годы (рисунок 1) [1]. В условиях

острой необходимости импортозамещения очень важно разрабатывать отечественные отделочные материалы и сухие строительные смеси.



Рис. 1 Объем ввода нового жилья в России (млн. м²)

Несмотря на это, подавляющая часть отделочных материалов и изделий производится в нашей стране, в том числе по лицензии зарубежных заводов. Данные материалы характеризуются хорошими техническими и эксплуатационными показателями, что делает отечественный строительный сектор зависимым от иностранной конъюнктуры и капитала. Налицо необходимость создания отечественных аналогов, имеющих схожие (и даже превосходящие) характеристики, что позволит обеспечить необходимые вопросы импортозамещения. Это будет способствовать сохранению темпов строительства жилых и общественных зданий и развитию экономики и уровня благосостояния страны. [3]

Другой важный аспект связан с разнообразными (в том числе, и суровыми) климатическими особенностями Российской Федерации. Это накладывает определенные ограничения на применение теплоизоляционных материалов, разработанных для других климатических условий. Например, на Дальнем Востоке характерными являются косые дожди, что приводит к выпадению на вертикальные ограждающие поверхности большего количества жидких осадков, чем на горизонтальные. В ряде регионов средней полосы количество циклов перехода через ноль градусов превышает сотню в течение года, что разрушает структуру материалов и негативно сказывается на характеристиках долговечности.

Очевидно, что необходим тщательный выбор фасадных систем. Традиционные наружные железобетонные стеновые панели имеют некоторые недостатки, в том числе растрачивание ресурсов, неудобную установку и плохую теплоизоляцию. Классификация различных фасадных систем приведена в (таблице 1).

Таблица 1 - Классификация фасадных систем

Вид покрытия	Преимущества	Недостатки	Применение в России
Система на основе сэндвич-панелей (многослойные панели) [4]	Незначительный вес, что позволяет снизить нагрузки на фундамент, не прочной основы, облегчает транспортировку, монтаж, демонтаж и хранение материала. Хорошая теплоизоляция.	Низкая прочность по сравнению с кирпичами и бетонными блоками. Промерзание панелей в сильный мороз в местах их стыка друг с другом. Не подходят для создания красивых архитектурных форм	Чаще всего с помощью данных конструкций: Складские, помещения, магазины, спортивные центры, торговые развлекательные комплексы, заправки, жилые дома
Светопрозрачная (стекло) [5]	Эстетичность, освещенность, атмосферостойкость, звукопоглощение, легкая ремонтпригодность	Сложность монтажа, дороговизна, необходимость мытья, хрупкость	Офисные комплексы, центры продаж, торговые учреждения, частные дома в стиле лофт.
Штукатурная [6]	Эстетичность, влагостойкость, звукоизоляция, хорошая паропроницаемость, многообразие расцветок, простота нанесения	Небольшой срок эксплуатации, притягивание пыли	Жилые и общественные здания
Облицовка искусственными и натуральным камнем [7]	Долговечность, Практичность, Износостойкость, широкая палитра цветов, высокая устойчивость к загрязнениям и низким температурам, практически не впитывает влагу,	Дороговизна	Элитная недвижимость

	легко поддаётся полировке, долго сохраняет декоративные свойства		
Слоистая каменная кладка [8]	Прочность, долговечность	Большая трудоемкость возведения; малая воздухопроницаемость; возможность конденсации влаги между разнородными слоями такой стены	Элитная недвижимость
Навесная вентилируемая (сайдинг, блок-хаус, фасадные панели, плитка) [9]	Звуко- и теплоизоляция, широкий ассортимент материалов,	Высокая стоимость, сложность монтажа	Для городского строительства

Таким образом, правильный выбор отделочных материалов возможен на основе всестороннего учета реальных условий их службы в сочетании с действительными физико-механическими и строительно-технологическими свойствами. Такие подходы реализуются в отечественной системе нормативных документов, включающей строительные нормы и правила, государственные стандарты, технические условия, своды правил и др. Эта система сформировалась на основе многолетнего опыта применения материалов в различных условиях их службы и огромного объема научных и инженерно-технических разработок, выполненных в нашей стране за многие десятилетия.

Работа подготовлена при финансовой поддержке в рамках реализации национального проекта “Наука и университеты” новой лаборатории “Ресурсо-энергосберегающие технологии, оборудование и комплексы” (FZWN-2021-0014).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 31189-2015 “Смеси сухие строительные. Классификация”.
2. ГОСТ 31356-2007 “Смеси сухие строительные на цементном вяжущем. Методы испытаний*”.

3. ГОСТ 31357-2007 “Смеси сухие строительные на цементном вяжущем. Общие технические условия”;

4. ГОСТ 31376-2008 “Смеси сухие строительные на гипсовом вяжущем. Методы испытаний**”.

5. Фаликман В. Р. Наноматериалы и нанотехнологии в современных бетонах // Промышленное и гражданское строительство. - 2013 - № 1. - С. 31-34.

6. Klyuev S.V., Klyuev A.V., Shorstova E.S. The micro silicon additive effects on the fine-grassed concrete properties for 3-D additive technologies // Materials Science Forum. 2019. T. 974. C. 131-135.

7. Klyuev S.V., Klyuev A.V., Abakarov A.D., Shorstova E.S., Gafarova N.G. The effect of particulate reinforcement on strength and deformation characteristics of fine-grained concrete // Инженерно-строительный журнал. 2017. № 7(75). С. 66 – 75.

8. Клюев С.В. К вопросу фибрового армирования бетонов // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2018. №3-4 (230231). С. 42 – 47.

9. Клюев С.В., Клюев А.В., Кузик Е.С. Аддитивные технологии в строительной индустрии // В сборнике: интеллектуальные строительные композиты для зеленого строительства. Международная научно-практическая конференция, посвященная 70-летию заслуженного деятеля науки РФ, члена-корреспондента РААСН, доктора технических наук, профессора Валерия Станиславовича Лесовика. 2016. С. 54 – 58.

УДК 691

Кузьмин Е.О.

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

ОСАЖДЕНИЕ НАНОДИСПЕРСНОГО КРЕМНЕЗЕМА НА ФИБРУ КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ЕГО ЭФФЕКТИВНОСТИ

Современные строительные композиты невозможно представить без модифицирующих компонентов, отличающихся разнообразием дисперсности, состава и др. параметрами [1-5]. При этом использование гибридных добавок, отличающихся совмещением форм, размеров и свойств, входящих в них компонентов, представляют в настоящее время особый интерес. Как правило, подложкой для осаждения выступает фибровый наполнитель. Неорганические компоненты, которые обычно

входят в гибридные нанокомпозиты, представляют собой слои глины, нанотрубки или сферические частицы.

Наночастицы неорганического диоксида кремния широко используются для улучшения различных свойств, таких как механические свойства, термические свойства и т. д. [6, 7]. Использование наночастиц диоксида кремния для создания гибридных композитов является одним из эффективных способов повышения его эффективности в части равномерного распределения в объеме. Эффективность нанодисперсного кремнезема объясняется химией поверхности, отличающейся заселенностью силанольных групп. Это обеспечивает их высокую пуццолановую активность при использовании как добавки к минеральным вяжущим веществам.

Включение неорганических (наноразмерных) компонентов на поверхность волокон целлюлозной массы с помощью золь-гель-метода может быть многообещающей альтернативой, поскольку оно приводит к образованию нового класса армирования, объединяющего основные характеристики неорганических и органических материалов. Осаждение нанокремнезема (SiO_2) на поверхности волокон целлюлозной массы с помощью золь-гель-метода позволяет получить однородное покрытие и снизить водопоглощающую способность волокон.

Этот метод способствует улучшенной границе раздела между волокном и цементной матрицей и действует на гидратацию цемента из-за уменьшения конкуренции со стороны воды, и, следовательно, снижает минерализацию волокон в щелочной среде. Это исследование обеспечило значительные успехи в понимании фиброцемента с использованием растительных волокон. Однако изучение влияния растительного волокна на начальную гидратацию цемента проводится редко и недостаточно изучено.

Эффективное взаимодействие между матрицей и волокном может считаться изначальным, что делает начальную гидратацию важной темой для оценки, поскольку она может помочь в оптимизации процесса отверждения или увеличении производительности и прочности. Поэтому целью данного исследования является оценка модификации поверхности целлюлозных волокон нанокремнеземом и их влияние на начальную гидратацию волокнисто-цементных композитов.

При осаждении нанокремнезема на фибру процессы могут отличаться друг от друга как компонентным составом (разновидности прекурсоров, растворителей, катализаторов, а также количества

используемого материала), так и аппаратным оформлением (температура, время).

Электрофоретическое осаждение (ЭФО) - еще один привлекательный подход к нанесению покрытия и гомогенной модификации фибры [8–10]. Для этого к стабильной суспензии прикладывают электрическое поле, вызывая движение заряженных частиц по поверхности электрода с помощью противодействия. Этот процесс имеет ряд особых преимуществ, таких как низкая стоимость, простота эксплуатации, скромные требования к устройству и возможность наносить различные материалы покрытия на изделия разных размеров. Более того, его можно наносить при комнатной температуре и часто без сильных кислот или оснований. Кроме того, сама фибра обладает превосходной электропроводностью и стабилен в водных электролитах [10], что делает его идеальным электродным материалом для процесса ЭФО.

НК широко применяется в ЭФО, например, для изготовления стабильных покрытий для нержавеющей стали, меди. Качество осаждения можно систематически контролировать с помощью времени осаждения, концентрации частиц и приложенного напряжения. Благодаря своей пуццолановой реакционной способности, НК является одним из наиболее часто исследуемых наноматериалов для вяжущих композитов. Он применяется для ускорения гидратации, повышения прочности и повышения термической стабильности, а также долговечности. Для цементных композитов, армированной фибры, НК и микрокремнезем использовались для улучшения межфазной связи между CF и цементными матрицами [11 – 13].

Комбинация НК и небольшого количества волокон наноцеллюлозы, как полагают, влияет на реакцию гидратации из-за существования одиночных диспергированных волокон наноцеллюлозы, которые работают как дополнительные точки зародышеобразования для гидратов и усиливают активность NS. Единственный зарегистрированный эффект для волокнистых наноматериалов в повышении качества продуктов гидратации был возвращен к эффекту места зародышеобразования, как упоминалось ранее, когда нановолокна действуют как ядро для гидратационного геля, помогая в усилении ядра окончательно полученного C–S–H в цементной матрице. Но для того, чтобы этот эффект имел место, эти наночастицы должны быть хорошо диспергированы, а не в агломерированной форме.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Попов А. Л., Нелюбова В. В. Особенности проектирования материалов автоклавного твердения с минеральными волокнами. Современные проблемы строительства и жизнеобеспечения: безопасность, качество, энерго-и ресурсосбережение: Сборник статей. V Всероссийской научно-практической конференции. Якутск. 29 марта //Редакционная коллегия. – 2018. – С. 155.
2. Кузьмин Е. О., Баскаков П. С., Строкова В. В. ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПОЛИМЕРОВ //Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона. – 2019. – №. 11. – С. 259-262.
3. Строкова В. В., Нелюбова В. В., Рыкунова М. Д. Некоторые аспекты проектирования объектов АПК с учетом специфики их эксплуатации //Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона. – 2018. – №. 10. – С. 199-203.
4. Нецвет Д. Д., Нелюбова В. В., Строкова В. В. Композиционное вяжущее с минеральными добавками для неавтоклавных пенобетонов //Вестник Белгородского государственного технологического университета им. ВГ Шухова. – 2019. – №. 4. – С. 122-131.
5. Нелюбова В. В., Строкова В. В., Безродных А. А. Влияние модификатора из аморфизованного сырья на процессы поризации газобетонной смеси //Труды Кольского научного центра РАН. – 2019. – Т. 10. – №. 1 (3). – С. 230-237.
6. V. Mechtcherine, Novel cement-based composites for the strengthening and repair of concrete structures, Construct. Build. Mater. 41 (2013) 365–373.
7. F. de Andrade Silva, M. Butler, S. Hempel, R.D. Toledo Filho, V. Mechtcherine, Effects of elevated temperatures on the interface properties of carbon textilereinforced concrete, Cement Concr. Compos. 48 (2014) 26–34.
8. Q. An, A.N. Rider, E.T. Thostenson, Electrophoretic deposition of carbon nanotubes onto carbon-fiber fabric for production of carbon/epoxy composites with improved mechanical properties, Carbon 50 (11) (2012) 4130–4143.
9. A.R. Boccaccini, J. Cho, J.A. Roether, B.J. Thomas, E.J. Minay, M.S. Shaffer, Electrophoretic deposition of carbon nanotubes, Carbon 44 (15) (2006) 3149–3160.
10. A. Haghbin, G. Liaghat, H. Hadavinia, A.M. Arabi, M.H. Pol, Enhancement of the electrical conductivity and interlaminar shear strength of CNT/GFRP hierarchical composite using an electrophoretic deposition technique, Materials 10 (10) (2017) 1120.

11. A. Badanoiu, J. Holmgren, Cementitious composites reinforced with continuous carbon fibres for strengthening of concrete structures, *Cement Concr. Compos.* 25 (3) (2003) 387–394.

12. R. Nativ, A. Peled, V. Mechtcherine, S. Hempel, C. Schroeﬂ, Micro-and nanoparticle mineral coating for enhanced properties of carbon multifilament yarn cement-based composites, *Compos. B Eng.* 111 (2017) 179–189.

13. C. Signorini, A. Nobili, E.C. Gonzalez, C. Siligardi, Silica coating for interphase bond enhancement of carbon and AR-glass Textile Reinforced Mortar (TRM), *Compos. B Eng.* 141 (2018) 191–202.

УДК 637.412.8

Левицкая К.М., Кикалишвили Д.Г., Чуриков А.С.

Научный руководитель: Алфимова Н.И., канд. техн. наук, доц.

Азеева М.С., канд. техн. наук, доц.

*Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ПРИМЕНЕНИЕ ЯИЧНОЙ СКОРЛУПЫ В СТРОИТЕЛЬНОМ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИИ

Рассмотрением вопросов переработки и повторного использования различных отходов производства в строительном материаловедении занимается большое количество научных групп по всему миру [1–5 и др.], это связано как с возможностью расширения сырьевой базы отдельных регионов, так и с необходимостью улучшения их экологической обстановки.

Яичная скорлупа (ЯС) относится к сельскохозяйственным отходам. В связи с растущим объемами производства яиц во всем мире растут, по рядам оценок, ее ежегодные объемы составляют порядка 8 миллионов тонн [6, 7]. Основной проблемой накопления данного отхода является неприятный запах, размножение бактерий, а также привлечение червей и крыс. В тоже время, яичная скорлупа, которая в большей степени представлена кальцитом (CaCO_3), при определенных условиях и методах обработки может использоваться в качестве сырья для производства различной номенклатуры строительных материалов [8–18].

Основываясь на результатах, представленных в научных и обзорных статьях [6–17], были выявлены основные области использования яичной скорлупы и основные эффекты, достигаемые с ее помощью.

Необходимо отметить, что большая часть исследований направлена на рассмотрение возможности использования яичной скорлупы в качестве наполнителя при частичной замене портландцемента, а также в качестве заполнителя для бетонов (фибро-мелкозернистого и высокопрочного).

Авторы выделяют следующие эффекты от использования порошка ЯС в бетонах [8]:

- удобоукладываемость бетона снижается прямо пропорционально количеству вводимой в его состав ЯС, что обусловлено высоким водопоглощением яичной скорлупы;
- яичный порошок выступает в качестве центров кристаллизации, что ускоряет гидратацию цемента и сокращает сроки схватывания бетона на 30–60 %;
- оптимальное содержание яичной скорлупы, обеспечивающее повышение прочности бетона на лежит в пределах 10–15 %, что позволяет обеспечивать максимальные значения физико-механических характеристик бетона. При оптимальных дозировках яичной скорлупы возможно повышение предела прочности при сжатии на 5–35 %;
- введение порошка ЯС в состав бетона способствует снижению его пористости и, как следствие снижению, таких свойств как водопоглощение и водопроницаемость;
- в условиях сульфатной и хлоридной коррозии наблюдается существенное ухудшение физико-механических характеристик бетона, изготовленных с использованием яичной скорлупы, что обусловлено уязвимостью соединений кальция по отношению к данным агрессивным агентам.

Также необходимо отметить, что максимальные эффекты по улучшению физико-механических характеристик бетонов достигаются при термообработке яичной скорлупы и ее последующем измельчении до микроразмеров.

Помимо тяжелых бетонов есть ряд исследований, направленных на изучение возможности введения порошка ЯС в легкие бетоны, такие как кермзитовый [12] и пенобетон [13]. И если введение порошка яичной скорлупы в керамзитобетон не дало значительного эффекта, при использовании его в пенобетоне было установлено снижение сорбционной способности и водопоглощения, при оптимальном содержании яичного порошка (7,5 %) также наблюдалось увеличение предела прочности при сжатии изделий и скорость ультразвукового импульса [13].

Еще одним направлением перспективного использования ЯС является использование их в качестве компонента строительных и

штукатурках растворов. В частности, в гипсовой штукатурке при использовании цеолита в совокупности с порошком яичной скорлупы, при оптимальном их соотношении, было выявлено наблюдается повышение плотности, снижение пористости, что, в свою очередь, улучшило механическую прочность и в целом долговечность гипсовых композитов [14].

Опыт применения яичной скорлупы в щелочеактивированных вяжущих [6] позволил установить, что в зависимости от компонентов (зола унос, метаксаолин, песок, зола рисовой шелухи и др.), количества (10–78 %) и вида щелочного активаторам (NaOH, Na₂SiO₃+HCl, Na₂SiO₃+NaOH) были получены композиты с пределом прочности при сжатии от 0,69 до 68,97 МПа. Наилучшие показатели (26,05–68,97) достигаются при активации смеси яичной скорлупы, метаксаолина и золы рисовой шелухи 48 % гидроксида натрия [15]

При исследовании возможности использования яичной скорлупы в качестве стабилизатора глиняного кирпича было установлено увеличение сырцової прочности и прочности обожженного изделия, снижение пористости и водопоглощения, что объясняется заполнением яичным порошком порового пространства [6, 16]. При этом большое значение имеет длительность обжига – максимальные показатели прироста прочности были достигнуты при продолжительности обжига 5 часов [6]. Помимо кирпича, также имеется положительный опыт использования ЯС в качестве флюса при производстве керамической плитки [7, 17].

Проведенный анализ позволил выделить основные области использования яичной скорлупы, которые представлены на рисунке 1.



Рис. 1 Области применения яичной скорлупы в строительном материаловедении

Необходимо отметить, что в Белгородской области также имеется большие ресурсы яичной скорлупы. АО «ЭФКО» (г. Алексеевка) перерабатывает порядка 1 млн. яиц ежедневно, с целью получения жидких и сухих яичных продуктов, скорлупа образуется на этапе разбивки и сепарирования яичных продуктов. В связи с чем основываясь на вышеприведенном анализе мирового опыта использования яичной скорлупы и возможности повышения технико-экономических показателей изделий с их использованием, видится целесообразным рассмотреть возможность использования ЯС АО «ЭФКО» в качестве сырья для производства строительных материалов, что позволит снизить экологическую нагрузку на окружающую среду и расширить сырьевую базу региона.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Setaki F., van Timmeren A. Disruptive technologies for a circular building industry // *Building and Environment*. 2022. Vol. 223. 109394. DOI:10.1016/j.buildenv.2022.109394.

2. Oluleye B.I., Chan D.W.M., Saka A.B., Olawumi T.O., Circular economy research on building construction and demolition waste: A review of current trends and future research directions // *Journal of Cleaner Production*. 2022. Vol. 357. 131927. DOI:10.1016/j.jclepro.2022.131927.

3. Lesovik V., Volodchenko A., Fediuk R., Mugahed Amran Y.H. Improving the hardened properties of nonautoclaved silicate materials using nanodispersed mine waste // *Journal of Materials in Civil Engineering*. 2021. Т. 33. №9. С. 04021214

4. Алфимова Н.И., Пириева С.Ю., Елистраткин М.Ю., Кожухова Н.И., Титенко А.А. Обзорный анализ способов получения, вяжущих из гипсосодержащих отходов промышленных производств // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. 2020. № 11. С. 8–23. DOI:10.34031/2071-7318-2020-5-11-8-23

5. Агеева М.С., Шаповалов С.М., Боцман А.Н., Ищенко А.В. К вопросу использования промышленных отходов в производстве вяжущих веществ // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. 2016. № 9. С. 58–62.

6. Sathiparan N. Utilization prospects of eggshell powder in sustainable construction material – A review // *Construction and Building Materials*. 2021. Vol. 293. 123465. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2021.123465

7. Ngayakamo B., Onwualu A. Peter Recent advances in green processing technologies for valorisation of eggshell waste for sustainable

construction materials // *Heliyon*. 2022. Vol. 8, Iss. 6. e09649. DOI:10.1016/j.heliyon.2022.e09649

8. Chong B.W., Othman R., Ramadhansyah P.J., Doh S.I., Li X. Properties of concrete with eggshell powder: A review // *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*. Volume 120. 2020. 102951, DOI:1016/j.pce.2020.102951.

9. Murthi P., Lavanya V., Poongodi K. Effect of eggshell powder on structural and durability properties of high strength green concrete for sustainability: A critical review // *Materials Today: Proceedings*. 2022. DOI:10.1016/j.matpr.2022.06.346.

10. Nandhini K., Karthikeyan J. Sustainable and greener concrete production by utilizing waste eggshell powder as cementitious material – A review // *Construction and Building Materials*. 2022. Vol. 335.127482. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2022.127482.

11. Hamada H.M., Tayeh B.A., Al-Attar A., Yahaya F.M., Muthusamy K., Humada A.M. The present state of the use of eggshell powder in concrete: A review // *Journal of Building Engineering*. 2020. Vol. 32. DOI:10.1016/j.jobe.2020.101583.

12. Hama S.M. Improving mechanical properties of lightweight Porcelanite aggregate concrete using different waste material // *International Journal of Sustainable Built Environment*. 2017. Vol. 6, Iss. 1. Pp. 81–90. DOI:10.1016/j.ijbsbe.2017.03.002

13. Tiong H.Y., Lim S.K., Lee Y.L., Ong C.F., Yew M.K. Environmental impact and quality assessment of using eggshell powder incorporated in lightweight foamed concrete // *Construction and Building Materials*. 2020. Vol. 244. 118341. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2020.118341.

14. Sophia M., Sakthieswaran N. Synergistic effect of mineral admixture and bio-carbonate fillers on the physico-mechanical properties of gypsum plaster // *Construction and Building Materials*. 2019. Vol. 204. Pp. 419–439. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2019.01.160.

15. Tchakouté H.K., Mabah E.T., Henning R.C.H., Kamseu E., Andreola F., Bignozzi M.C., Leonelli C. Preparation of low-cost nano and microcomposites from chicken eggshell, nanosilica and rice husk ash and their utilisations as additives for producing geopolymer cements // *J. Asian Ceram. Societ.* 2020. 8. Pp. 149–161. DOI:10.1080/21870764.2020.1718860.

16. Ayodele A.L., Oketope O.M., Olatunde O.S. Effect of sawdust ash and eggshell ash on selected engineering properties of lateralized bricks for low cost housing // *Nigerian Journal of Technology*. 2019. Vol. 38. No. 2. Pp. 278–282. DOI:10.4314/njt.v38i2.1

17. Vilarinho I.S., Filippi E., Seabra M.P. Development of eco-ceramic wall tiles with bio-CaCO₃ from eggshells waste // Open Ceramics. 2022. Vol. 9. 100220. DOI: 10.1016/j.oceram.2022.100220

УДК 628.477.6

*Левицкая К.М., Пириева С.Ю., Коломыцева А.И.
Научный руководитель: Алфимова Н.И., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

К ВОПРОСУ О ПЕРСПЕКТИВАХ ПОВТОРНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГИПСОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ

В настоящее время все более актуальным становится вопрос разработки и реструктуризации предприятий на производства замкнутого цикла и применении отходов производств. Существует множество способов применения отходов в строительных материалах и изделиях, а также на строительных площадках, которые не только экономически целесообразны, но и способствуют повышению качества окружающей среды, а также возможностью устранения захоронений или мест хранения отходов.

«Российские предприятия в 2021 году сгенерировали рекордные 8,45 млрд тонн отходов, что на 21,5% превышает показатель 2020 года и на 9% – допандемийного 2019 года», подсчитала аналитическая служба аудиторско-консалтинговой сети FinExpertiza [1].

Промышленные отходы на территории России можно отнести к следующим категориям:

- добыча угля;
- добыча металлических руд;
- производство химических веществ и химических продуктов;
- производство пищевых продуктов;
- металлургическое производство;
- сельское хозяйство;
- обеспечение электрической энергией, газом и паром;
- водоснабжение, водоотведение, сбор и утилизация отходов;
- производство прочей неметаллической минеральной продукции;
- добыча прочих полезных ископаемых [2].

Распределение промышленных отходов по сферам деятельности в 2021 г. в млн. т. представлено на (рисунке 1).

Таким образом, показано, что особо остро стоит вопрос применения и использования отходов. Наиболее распространены следующие подходы к сокращению и управлению отходами:

- планирование производства [3];
- внедрение правил утилизации и обращения с отходами;
- производство продукции стандартных размеров;
- сотрудничество с центрами переработки;
- деконструкция и переработка материалов [4];
- сотрудничество с предприятиями смежных сфер деятельности;
- внедрение малоотходных и безотходных технологических процессов;
- и другие.



Рис. 1 Распределение промышленных отходов по сферам деятельности [1]

Наиболее рациональным подходом к утилизации отходов промышленных предприятий является применение их в качестве техногенного сырья при производстве различного вида продукции, в том числе строительного назначения.

Применение промышленных отходов обеспечивает производства большим количеством дешевого сырья, что приводит к снижению себестоимости продукции, а также экономии вложений на добычу природного сырья [5]. Немаловажным фактором применения отходов является высвобождение значительных площадей, занятых их

складированием, а также снижению степени влияния на окружающую среду и минимизацией расходов на экологический сбор [10,11].

Для реализации данной задачи, рекомендуется применение подхода планирования производства, а именно рассмотрение и сортировка отходов, которые могут быть повторно применены, переработаны или использованы в качестве сырья для производства других материалов и продуктов.

Особое значение в этом случае обретает работа с образующимися и накопленными ранее отходами, целую группу которых составляют гипсосодержащие отходы. В настоящее время известно более 50 видов ГСО, которые являются побочными продуктами различных производств (фосфогипс, борогипс, хлорогипс, феррогипс, цитрогипс, витаминный гипс и т.д.) [6].

Одним из примеров таких проектов является научно-исследовательский проект «Создание комплексной технологии переработки гипсосодержащих отходов промышленных предприятий» при поддержке Государственного задания на создание новых лабораторий в 2021 году.

Одним из рассматриваемых гипсосодержащих отходов является фосфогипс, рациональными методами переработки которого являются: применение в качестве органоминеральных удобрений, выделение редкоземельных элементов [7], производство гипсовых вяжущих и строительных материалов на их основе, применение в качестве регулятора сроков схватывания цементов [8], получение гидравлических добавок, применение в качестве материала для основания дорог.

Аналогом данного отхода является природный гипс, мировой объем добычи которого составляет 100...120 млн т/год, а на долю России приходится 5...6 млн т/год (из них 70 % приходится на горнодобывающие предприятия компании «Knauf»), при этом данный процесс сопровождается истощением природных ресурсов, увеличивается глубина добычи и усложняются горно-геологические условия добычи [9].

Knauf разработал три способа переработки фосфогипса, к которым относятся:

- производство вяжущего для гипсокартона и плит;
- изготовление смеси в отношении ангидрита к полугидрату, равному 1/3:2/3;
- выпуск полугидратного фосфогипса непосредственно в производстве фосфорной кислоты.

Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод, что данное направление разработок перспективно и имеется запрос на расширение сфер и способов переработки гипсосодержащих отходов, а также современных подходов к производству целого ряда продуктов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Интернет-ресурс «<https://finexpertiza.ru>»[Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.greenbooklive.com.– (Дата обращения: 20.10.2022).

2. Гипсовые материалы и изделия (производство и применение). Справочник. Под общей редакцией А.В. Ферронской. Изд-во АСВ, 2004. 488 с.

3. Rashad A.M. Phosphogypsum as a construction material // Journal of Cleaner Production. 2017. Vol. 166. Pp. 732–743. doi:10.1016/j.jclepro.2017.08.049.

4. Tayibi H., Choura M., Lo'pez F.A., Alguacil F.J., Lo'pez-Delgado A. Environmental impact and management of phosphogypsum // Journal of Environmental Management. 2009. Vol. 90, Iss. 8, Pp. 2377–2386. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.03.007>

5. Alfimova N.I., Pirieva S.Yu., Titenko A.A. Utilization of gypsum-bearing wastes in materials of the construction industry and other areas. Construction Materials and Products. 2021. Т. 4. №1. С. 5–17. <https://doi.org/10.34031/2618-7183-2021-4-1-5-17>

6. Алфимова Н.И., Пириева С.Ю., Елистраткин М.Ю., Кожухова Н.И., Титенко А.А. Обзорный анализ способов получения вяжущих из гипсосодержащих отходов промышленных производств // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2020. №. 11. С. 8–23.

7. Voropaev V., Alfimova N., Nikulin I., Nikulicheva T., Titenko A., Nikulichev V. Influence of gypsum-containing waste on ammonia binding in animal waste composting // Agriculture. 2021. 11. 1153. <https://doi.org/10.3390/agriculture11111153>

8. Al-Enazy A.A., Al-Barakah F., Al-Oud S., Usman A. Effect of phosphogypsum application and bacteria co-inoculation on biochemical properties and nutrient availability to maize plants in a saline soil. Arch // Agron Soil Sci. 2018. 64ю Pp. 1394–1406. <https://doi.org/10.1080/03650340.2018.1437909>

9. Nikulicheva T.B., Nikulin I.S., Pilyuk E.A., Voropaev V.S., Alfimova N.I., Nikulichev V.B., Saenko M.Yu. Recycling and disposal of gypsum-containing waste generated in the production of citric acid // IOP

Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 845. 012152. doi:10.1088/1755-1315/845/1/012152

10. Артамонов А.В., Смирнова Д.Н., Смирнов Н.Н., Ильин А.П. Извлечение редкоземельных элементов из твердых отходов производства фосфорной кислоты с последующей сорбцией на катионообменных смолах // Изв. вузов. Химия и хим. технология. 2017. Т. 60. Вып. 10. С. 87–93

11. Косынкин В.Д., Глебов В.А. Возрождение российского производства редкоземельных металлов - важнейшая задача российской экономики // Материалы 3- й Международной конференции «Функциональные наноматериалы и высокочистые вещества». Апатиты. 2013. С. 15–21.

УДК 691.5

Мануйлова А. И., Коломыцева А.И., Кожухова М.И.

Научный руководитель: Кожухова Н.И., канд. техн. наук, доц.

*Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ЭФФЕКТ ЩЕЛОЧНОГО АКТИВИРУЮЩЕГО АГЕНТА НА ПОДВИЖНОСТЬ ГЕОПОЛИМЕРНЫХ ПАСТ

Как правило, геополимерные вяжущие и материалы на их основе получают путем смешения и последующего химического взаимодействия между твердофазным алюмосиликатным веществом и активирующим агентом, обеспечивающим в водной среде высокий рН-показатель [1–3]. Поэтому, одной из неотъемлемых составляющих синтеза геополимера является вода.

Согласно существующим представлениям о механизмах твердения геополимеров, принято считать, что основными структурообразующими составляющими при формировании геополимерного структурного каркаса [4–8] являются диссоциированные алюмосиликатные компоненты в форме элементарных отрицательно заряженных единиц – кремнекислородных и алюмокислородных тетраэдров, а также положительно заряженные ионы – катионы диссоциатов щелочей и солей щелочноземельных металлов. Т.е. эти структурные элементы являются основой геополимерного каркаса.

На основании этого механизма, содержащаяся в вяжущей система вода в процессе геополимеризации не участвует непосредственно в формировании геополимерного каркаса.

Однако, она выполняет две другие не менее значимые следующие функции:

1) Выступает в качестве растворителя щелочного активатора и последующей диссоциации его частиц на катионы.

2) Является реакционной средой, в которой происходит свободное диффузионное распределение всех ионов и их беспрепятственное химическое взаимодействие между собой.

С другой стороны, чрезмерное содержание молекул воды в твердеющей геополлимерной системе будет действовать как ингибитор химических реакций, оказывая замедляющий эффект взаимодействия элементарных структурных единиц в щелочесиликатной системе за счет ее разбавления, снижения концентрации ионов в реакционной среде и уменьшения вероятности контактов реакционными составляющими элементами.

Кроме того, рядом исследований установлено, что геополлимерные пасты, которые характеризуются повышенной водопотребностью на стадии смешения сырьевых компонентов, впоследствии, в процессе твердения в естественных условиях, и, в особенности, в условиях повышенных температур, склонны к значительной усадке [9–11] и растрескиванию.

Например, в работе [12], было установлено, что на стадии процесса схватывания и затем дальнейшего твердения геополлимеры на основе метаксаина проявляют усадочную деформацию.

В исследовании [13] было изучено влияние температуры на физические, механические свойства геополлимеров на основе каолина. Экспериментальные образцы подвергались воздействию температуры от 900 °С до 1200 °С, в результате чего было установлено, что геополлимеры на основе каолина подвергаются усадке при температурном воздействии.

Таким образом, избыточное содержание молекул воды в твердеющей геополлимерной системе, благодаря выше описанным факторам, негативно отражается на формировании целостной геополлимерной структуры и, как следствие, приводит к ухудшению эксплуатационных характеристик конечного геополлимерного композита.

В рамках данного исследования рассмотрены особенности водопотребности для разных видов низкокальциевого или кислого алюмосиликатного сырья, используемого на сегодняшний день для синтеза геополлимеров. Также изучено влияние щелочного активатора на водопотребность в системе «алюмосиликатный компонент – щелочной активатор – вода»

Для проведения экспериментальных исследований использовались следующие алюмосиликатные материалы кислого состава:

1. Метакаолин коммерческий (ЗАО «Пласт-Рифей», РФ);
2. Метакаолин-700 °С – получен в лабораторных условиях в результате обжига в муфельной печи при температуре 700 °С в течении 2 часов, с последующим естественным остыванием до комнатной температуры при закрытой муфельной печи;
3. Метакаолин-900 °С – получен в лабораторных условиях в результате обжига в муфельной печи при температуре 900 °С в течении 2 часов, с последующим естественным остыванием до комнатной температуры при закрытой муфельной печи;
4. Каолин (месторождение Журавлиный Лог, РФ);
5. Зола уноса низкокальциевая (тип F);
6. Зола-уноса высококальциевая (тип С);
7. Перлит (Мухор-Талинское месторождение, РФ).

В качестве разбавителей использовалось два типа жидких сред: водопроводная вода; 1-% водный раствор NaOH.

Для проведения эксперимента были подготовлены две серии экспериментальных составов геополимерных паст в расчете на 100 г алюмосиликатного компонента:

- 1) Составы, где в качестве разбавителя использовалась водопроводная вода;
- 2) Составы, где в качестве разбавителя использовался 1-% водный раствор NaOH.

Оценка водопотребности экспериментальных составов осуществлялась путем определения минимального количества воды/водного раствора NaOH, истраченных на обеспечение максимального расплыва геополимерной смеси.

Для определения расплыва конуса использовались горизонтальная поверхность с нанесенной разметкой разных диаметров, а также металлический мини-конус высотой 60 мм, размеры верхнего и нижнего диаметра – 40 и 20 мм, соответственно.

Результаты проведенного эксперимента представлены в (таблице 1).

Таблица 1- Водопотребность алюмосиликатных материалов

Материал	Расход воды, г	В/Т	Расход 1% р-ра NaOH, г	В/Т
Метакаолин (комм.)	96,2	0,96 2	100	1
Метакаолин 750°С	122,8	1,22 8	125,7	1,24 5
Метакаолин 900°С	141,3	1,41 3	143,02	1,43

Каолин	130,9	1,31	137,7	1,37
ЗУ(F)	76,5	0,76 5	72,74	0,72 7
ЗУ(C)	32,9	0,32 9	70,87	0,70 8
Перлит	38,3	0,38 3	39,44	0,39 4

На основе полученных данных видно, что наибольшей водопотребностью характеризуются следующие алюмосиликаты при затворении водой и 1-% р-ром NaOH, соответственно:

- Метакаолин (750 °С). В/Т = 1,22 и 1,24;
- Метакаолин (900 °С). В/Т = 1,41 и 1,43;
- Каолин. В/Т = 1,31 и 1,37.

При этом наблюдается увеличение водопотребности этих при использовании 1%-го раствора NaOH для всех материалов кроме золы-уноса типа F в диапазоне от 2,3 до 115 %. Наибольшие скачки водопотребности характерны для золы-уноса типа C (115 %). В то же время, использование 1%-го раствора NaOH в отношении золы-уноса типа F, наоборот, приводит к снижению водопотребности системы на 4,9 % (В/Т снизилось от 0,76 до 0,72).

В то же время, наименьшими показателями водопотребности характеризуются следующие материалы при затворении водой и 1-% р-ром NaOH, соответственно:

- Перлит. В/Т = 0,383 и 0,39;
- Зола-Уноса (С). В/Т = 0,33 и 0,7;
- Зола-Уноса (F). В/Т = 0,76 и 0,72.

При этом, следует отметить, что использование 1 %-го раствора NaOH приводит к значительному увеличению водопотребности золы-уноса типа С (на 115%).

Сравнительный анализ показателей В/Т отношения для перлита и метакаолина коммерческого показал, что использование щелочного компонента NaOH в количестве 1 % практически не повлиял на водопотребность данных алюмосиликатных материалов (вариация значений не превышает 4 %).

На основании проведенных исследований было установлено, что при использовании водопроводной воды в качестве жидкой среды, все исследуемые алюмосиликатные материалы характеризуются более низкими показателями водопотребности по сравнению с использованием 1%-го раствора NaOH. Увеличение водопотребности варьируется в широком диапазоне значений: в пределах от 2,3 % до 115 %.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Provis J.L., van Deventer J.S.J. Introduction to geopolymers. Geopolymers: structure, processing, properties and industrial applications. – Woodhead, Cambridge, UK, 2009. Pp. 1–7
2. Kozhukhova N.I., Zhernovski I.V., Osadchaya M.S., Strokova V.V., Chizhov R.V. On the question of the choice of natural and man-made materials for geo-polymer binders // Research Journal of Applied Sciences. 2014. Vol. 9. № 12. Pp. 1034-1039.
3. Kozhukhova N.I., Chizhov R.V., Zhernovsky I.V., Strokova V.V. Structure formation of geopolymer perlite binder vs. type of alkali activating agent // International Journal of Pharmacy and Technology. 2016. Т. 8. № 3. Pp. 15338-15348.
4. Davidovits J. Chemistry of geopolymeric systems, terminology // Geopolymere: '99 International Conference. – Saint-Quentin, France, 1999. 9–40 p.
5. Davidovits J. Geopolymer chemistry and properties // Proceedings of the 1st International Conference on Geopolymer. 1988. Vol. 1. Pp. 25–48.
6. Кожухова Н.И., Данакин Д.Н., Кожухова М.И., Строкова В.В., Жерновский И.В., Тесля А.Ю., Алфимова Н.И. Модификация низкоактивного алюмосиликатного сырья как способ повышения его качественных характеристик при синтезе геополимеров // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 5. С. 131–139. DOI: 10.34031/article_5cd6df45c835e4.80839646.
7. Peng M.X., Wang Z. H., Shen S. H., Xiao Q.G. Synthesis, characterization and mechanisms of one-part geopolymeric cement by calcining low-quality kaolin with alkali // Materials and Structures. 2015. Vol. 48. Issue 3. Pp. 699–708.
8. Войтович Е.В., Кожухова Н.И., Жерновский И.В., Череватова А.В., Нецвет Д.Д. Концепция контроля качества алюмосиликатных вяжущих негидратационного твердения // Строительные материалы. 2013. № 11. С. 68-70.
9. Wallah S.E. Drying Shrinkage of Heat-Cured Fly Ash-Based Geopolymer Concrete // Modern Applied Science. 2009. 3(12). 10.5539/mas.v3n12p14.
10. Li Zh., Xuhui L., Yun Ch., Guang Y. Effect of metakaolin on the autogenous shrinkage of alkali-activated slag-fly ash paste // Construction and Building Materials. 2021. Vol. 278. 122397 <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122397>.

11. Zhan J., Li H., Pan Q., Cheng Z., Li H., Fu B. Effect of Slag on the Strength and Shrinkage Properties of Metakaolin-Based Geopolymers // *Materials*. 2022. Vol. 15. 2944. <https://doi.org/10.3390/ma15082944>.

12. Wang A., Zheng Y., Zhang Z., Liu K., Ma R., Sun D. Research Progress of Geopolymer Cementitious Material Modification for Improving Durability of Concrete // *Mater. Rep.* 2019. Vol. 33. Pp. 2552–2560.

13. Nur A.J., Mohd M.A.I.B.A., Che M.R., Romisuhani A. Characterization and Microstructure of Kaolin-Based Ceramic Using Geopolymerization // *Key Engineering Materials*. 2016. Vol. 700. Pp. 3-11 [10.4028/www.scientific.net/KEM.700.3](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.700.3).

УДК 691.5

Нецвет Д.Д., Хомидов Х.О.

Научный руководитель: Строчкова В.В., д-р техн. наук, проф.

Белгородский государственный технологический университет

им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ ДОБАВОК НА КИНЕТИКУ НАБОРА ПРОЧНОСТИ ВЯЖУЩИМ

Важнейшей характеристикой любого вяжущего является его прочность, поскольку от нее зависят характеристики конечного продукта. Основными факторами для достижения высокой прочности бетона являются: повышение плотности материала за счет снижения пористости, заполнения пор дисперсными компонентами, оптимизации зернового состава, регулирования реологических характеристик смеси.

В данной работе рассмотрено влияние модифицирующих добавок различной морфологии и состава на кинетику набора прочности смеси: кварцевая суспензия (КС) и ангидрит.

Данные материалы были выбраны в результате литературного обзора [1–6]. Ангидрит является безводным сульфатом кальция. Он получил широкое применение в строительной отрасли благодаря своим свойствам: высокая прочность, отсутствие объемного расширения при твердении, замедленные сроки схватывания. Он применяется при изготовлении штукатурных, кладочных растворов, стяжек полов, мелкочастичных изделий [1–3].

Кварцевая суспензия (КС) – продукт постадийного мокрого помола кварцевого сырья (кварцевый песок) в шаровой мельнице. За счет высокой удельной поверхности суспензия обладает высокой реакционной способностью, пуццоланическими свойствами. В системе

наблюдается высокое содержание твердой фазы при высокой подвижности [4–6].

В ранее выполненных исследованиях [7–8] показано, что описанные добавки в рациональных дозировках позволяют корректировать нормальную густоту и сроки схватывания цементного теста.

Для исследования были выбраны следующие составы: 1 – контрольный состав (цементный камень без добавок), 2 – цементный камень с 25 % КС, 3 – цементный камень с 5% ангидрита, 4 – цементный камень с 25 % КС и 5 % ангидрита. Указанные дозировки добавок – сверх массы цемента. Количество воды соответствовало нормальной густоте теста.

Полученные в ходе эксперимента результаты (рисунок 1) позволяют сделать вывод, что применяемые минеральные добавки не влияют на характер набора прочности материалов, но при этом повышают значения прочности в определенные сутки твердения: для всех составов характерен плавный рост прочности с достижением максимального значения к 28 суткам. Основной период набора прочности – первые трое суток твердения: наблюдается самый высокий темп прироста прочности до 50 % от конечного значения для всех рассматриваемых составов.

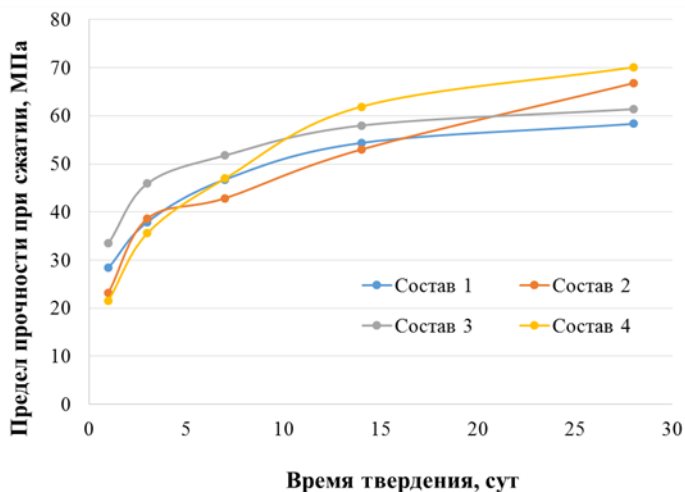


Рис. 1 Кинетика набора прочности цементного камня в зависимости от состава

Воздействие применяемых минеральных добавок на физико-механические свойства цементного камня можно ранжировать в следующей последовательности по возрастанию: цементный камень без добавок → цементный камень с ангидритом → цементный камень с кварцевой суспензией → цементный камень с комплексом дисперсных модификаторов (рисунок 1, таблица 1).

Применение ангидрита не оказывает влияния на предел прочности при сжатии на 28 сутки (таблица 1). Это можно объяснить малыми дозировками компонента.

При введении КС наблюдается прирост прочности на 14,5 %. Такой прирост объясняется пуццоланическими свойствами КС.

Максимальным приростом прочности на 20 % обладают составы с КС и ангидритом.

В данном случае в составах совмещается физический фактор повышения плотности системы за счет эффекта высокоплотной упаковки в системе при введении модификаторов с разной гранулометрией и химический фактор – пуццолановая активность КС.

Таблица 1 – Корреляция прочности образцов и ее прироста

Состав	Прочность на сжатие в возрасте 28 суток, МПа	Прирост по отношению к контрольному составу, %
цементный камень	58,3	–
цемент с КС	66,8	14,6
цемент с ангидритом	61,4	5,3
цемент с КС и ангидритом	70,1	20,2

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод, что дальнейшие исследования рационально проводить на составах с комплексом дисперсных минеральных модификаторов (кварцевая суспензия и ангидрит), позволяющих ускорить сроки схватывания смеси, снизить вязкость и повысить прочностные характеристики. Данные характеристики являются важными в случае дальнейшего применения, предложенного вяжущего в качестве матрицы для ячеистых композитов и позволят обеспечить получение максимально качественного пенобетона с минимально возможными усадочными деформациями.

Работа выполнена в рамках Стипендии президента РФ СП-3577.2021.1. с использованием оборудования на базе Центра высоких технологий БГТУ им. В. Г. Шухова

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Коровяков В.Ф., Бурьянов А.Ф. Научно-технические предпосылки эффективного использования гипсовых материалов в строительстве // Жилищное строительство. 2015. № 12. С. 38–40.

2. Гальцева Н.А., Бурьянов А.Ф., Булдыжова Е.Н., Соловьев В.Г. Использование синтетического ангидрита сульфата кальция для приготовления закладочных смесей // Строительные материалы. 2015. № 6. С. 76–77.

3. Дмитриев А.М., Ковалёва И.Е., Шутова А.В., Рязин В.П., Панина Н.С., Стеканов Д.И., Курочкин В.Ю. Дополнительные требования к гипсоангидриду как к регулятору сроков схватывания цемента // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2008. № 7. С. 20–23.

4. Сумин А.В., Бухало А.Б., Дмитриев М.Ю. Некоторые особенности композиционного вяжущего с использованием наноструктурированного модификатора // Научно-технические инновации: Юбилейная Международная научно-практическая конференция, посвященная 60-летию БГТУ им. В.Г. Шухова (XXI научные чтения), Белгород, 09–10 октября 2014 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2014. С. 360–363.

5. Строкова В.В., Павленко Н.В., Капуста М.Н. Принципы получения ячеистых фибробетонов с применением наноструктурированного вяжущего // Academia. Архитектура и строительство. 2013. № 3. С. 114–117.

6. Череватова М.С., Мирошников Е.В., Павленко Н.В. Бесцементное наноструктурированное вяжущее негидратационного типа // Технологии бетонов. 2012. № 5–6 (70–71). С. 21–22.

7. Нецвет Д.Д., Нелюбова В.В., Строкова В.В. Композиционное вяжущее с минеральными добавками для неавтоклавных пенобетонов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2019. – № 4. – С. 122–131.

*Рыжих Д.А., Пушкарская Д.В., Городов А.И.
Научный руководитель: Черкашина Н.И., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ КРЕМНЕЗЕМА ПОЛУЧЕННОГО ПУТЕМ ГИДРОЛИЗА ТЕТРОЭТОКСИСИЛАНА

Кремний является одним из самых распространенных элементов в земной коре. Он составляет 28,2 % и находится в различных минералах и элементарных соединениях. Наиболее распространенное соединение – диоксид кремния, состоящий из кремния и кислорода. Данное соединение лежит в основе многих твердых кристаллических пород, таких как кварц, аметист, опал, горный хрусталь. Структура кремния бывает аморфной, алмазоподобной, моно- и поликристаллической. Легкодоступность, простота его получения и очистки, а также ряд свойств кремния делают его применение широко распространенным. На сегодняшний день кремнийорганические соединения применяются в разных промышленных отраслях, науке, медицине, технике.

Для промышленной отрасли, интерес представляют электрофизические характеристики кремния. Из него производят транзисторы, фотоэлементы, интегральные схемы, диоды и так далее. [1-3].

Как известно, есть различные полиморфные модификации кремнезема. В настоящее время известно более 10 полиморфных модификаций SiO_2 . Превращения происходят в зависимости от параметров и условий среды, а именно температуры и давления, что показано на Р-Т диаграмме (рисунок 1).

Из диаграммы можно заключить, что SiO_2 образует множество модификаций, некоторые из них это кварц, тридимит и кристобалит, которые, так же, имеют модификации второго порядка; α - и β -кварц, α - и β и γ -тридимит, α - и β -кристобалит [4-6].

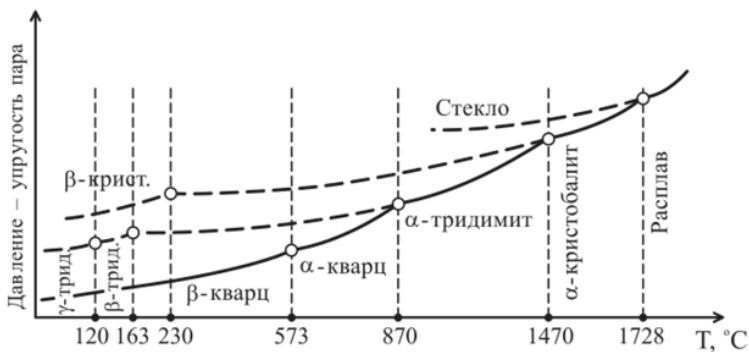
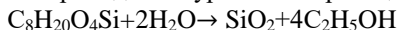


Рис. 1 Диаграмма состояния кварца

Цель работы заключалась в исследовании структуры кремнезема, полученного путем гидролиза тетразтоксисилана (ТЭОС) при разных условиях.

При первом методе для получения диоксида кремния были взяты следующие соотношения исходных компонентов: ТЭОС (ТУ 2637-187-44493179-2014) –130 мл, дистиллированная вода- 22,1 мл. В качестве катализатора, для создания щелочной среды pH~11- NH₄OH (ГОСТ 3760-79) в объеме 1,5 мл.

Гидролиз ТЭОС проходит по уравнению реакции [7].



После добавления всех реактивов, производилось их активное перемешивание на верхнеприводной мешалке, после чего раствор оставлялся на 14 дней. Стоит отметить, что при замерах в последующие дни уровень pH не изменялся. После производилось центрифугирование, для отделения осадка, и последующая его сушка при температуре 100-120°C.

Второй метод, принципиально отличался от первого, добавлением в состав Al(OH)₃ – 1% от общего объема [8].

На рисунке 2 представлены данные рентгенофазового анализа (РФА) вещества, полученного гидролизом тетразтоксисилана при комнатной температуре, а на рисунке 3 данные РФА вещества полученного 2-м методом– с добавлением Al(OH)₃ (ГОСТ 11841-76).

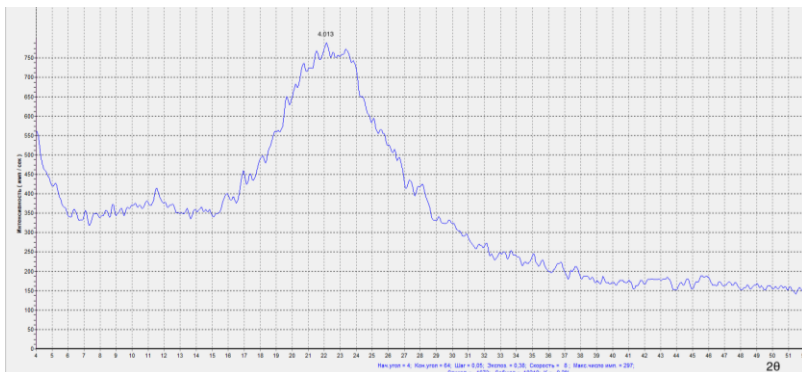


Рис. 2 Рентгенограмма вещества, полученного 1-м методом

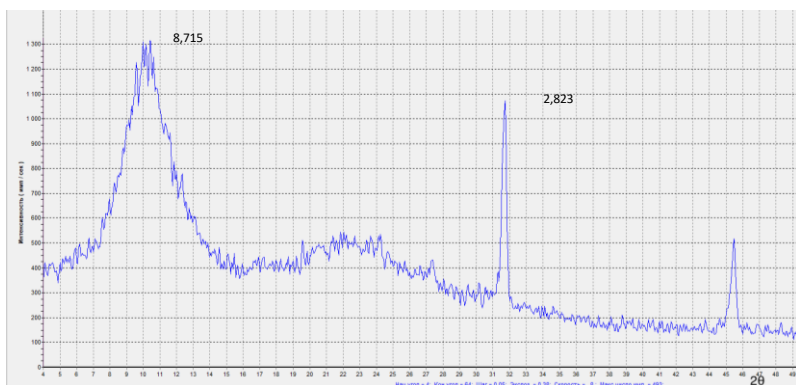


Рис. 3 Рентгенограмма вещества, полученного 2-м методом

В рентгенограмме вещества, полученного 1-м методом (рисунок 2) наблюдается широкий и размытый пик в области $2\theta \approx 22^\circ$, свидетельствующий об аморфности полученного вещества. В рентгенограмме при использовании гидроксида алюминия (рисунок 3) появились острый пик с максимумом при $10,6^\circ$ (2θ) и другой менее интенсивный пик при $31,8^\circ$ (2θ). Свидетельствующие о том, что синтезированное соединение представляет собой кристобалит. Можно предположить, что $\text{Al}(\text{OH})_3$ выступает центром кристаллизации.

Таким образом, при синтезе оксида кремния золь-гель методом из тетрээтоксисилана в условиях комнатной температуры было получено вещество, обладающее аморфной структурой, а при добавлении гидроксида алюминия- вещество кристаллической структуры.

Дальнейшие исследования будут направлены на получение кристаллического кремнезема путем подбора оптимальной температуры термообработки.

Финансирование:

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 19-79-10064 (продление), <https://rscf.ru/project/19-79-10064/>

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ключева, В. А. Обзор методов нанесения кремниевых покрытий// Молодой ученый. 2016. № 10 (114). С. 236-246
2. Павленко В.И, Едаменко О.Д., Ястребинский Р.Н., Тарасов Д.Г. Радиационно-защитный металлоолигомерный наполнитель для полимерных композитов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. 2011. № 2. С. 117 - 120.
3. Павленко В. И., Едаменко О. Д., Ястребинский Р. Н. Радиационно-защитный композиционный материал на основе полистирольной матрицы // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2011. №3. С. 113-116.
4. Булах А. Г., Кривовичев В. Г., Золоторев А. А. Минералогия. М: Издательский центр «Академия». 2008. 410 с.
5. Миловский А. В., Кононов О. В. Минералогия. М: Из-во МГУ. 1982. 309 с.
6. Дышекова А. Х., Кармоков А. М., Структурные изменения при полиморфных $\alpha - \beta$ фазовых переходах в кварце, Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2017. № 5. С. 9–13.
7. Черкашина Н. И. Физико-химические принципы технологии высокодисперсных кристаллических оксидов и композиционных материалов для космической техники: дис. ... д-р техн. наук: 24.2.276.01.–Белгород,2022. –382с.
8. Айлер Р. Химия кремнезема: Пер. с англ. - М.: Мир, 1982. ч. 1. - 416 с.

*Себелева Н.Ю., Полиенко И.А., Губарева Е.Н.
Научный руководитель: Строчкова В.В., д-р техн. наук, проф.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

КАРБОНАТНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ КАК АКТИВНЫЕ ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

С развитием индустриализации и быстрым ростом населения интенсификация потребления энергии и загрязнение окружающей среды привели к большому давлению на экологию. На сегодняшний день фотокаталитические методы предлагают перспективную стратегию с широким использованием для преодоления текущего экологического кризиса, в частности для поддержания эстетического вида зданий и сооружений, а также применение материалов с фотоактивной поверхностью способствуют снижению концентрации загрязняющих веществ, выброшенные в атмосферу [1, 2].

Фотокаталитическая деградация является потенциальным решением из-за высокой эффективности, безопасности и отсутствия вторичного загрязнения. Диоксид титана (TiO_2) стал широко используемым фотокатализатором из-за его стабильных свойств, низкой стоимости, хороших фотокаталитических характеристик и обильных ресурсов, который обладает хорошей способностью к разложению токсичных веществ [3, 4].

Позже исследователи обнаружили, что модифицирование диоксида титана минеральным носителем повышает фотокаталитическую активность, за счет того, что CaCO_3 позволяет плотно интегрировать между матричной частью и фотокаталитической частью, обеспечивая тесную взаимосвязь между ними, и как следствие оказывает положительное влияние на фотоактивность [5].

Кальцит (CaCO_3) может применяться для адсорбции токсичных металлов, удаления фосфатов и адсорбции уксуснокислых газов. Введение CaCO_3 усиливает взаимодействие и перераспределение заряда между TiO_2 и CaCO_3 соответственно, что может индуцировать обильный перенос активированных электронов (обмен/сосуществование) на границе между реагентами и катализаторами для эффективной адсорбции и активации реагентов, а также ускоряют миграцию и трансформацию фотогенерированных носителей под действием облучения для участия в фотокаталитической реакции [6]. Так в работах [7] были изучены физико-химические

свойства синтезированного материала на карбонатной добавке, где требования как носителю фотокатализатора были удовлетворены.

Целью работы является оценка фотокаталитических свойств диоксида титана в системе с карбонатными материалами. В качестве носителей были выбраны известняк и мраморная пыль. Исследование осуществлялось визуально-колориметрическим методом. На синтезируемые порошки, полученные золь-гель методом, наносился водорастворимый органический загрязнитель родамин В, далее материалы подвергались воздействию ультрафиолетового излучения. Изучение степени деградации органического загрязнителя с поверхности композиционного материала проводилась с помощью системы CIE LAB.

Оценка степени разложения родамина В основывается на сравнении цветового параметра a^* (отражает значения между красным и зеленым) до и после воздействия ультрафиолетового излучения на поверхность испытуемого образца в течение 4 и 26 ч.

Эффективность удаления красителя рассчитываются по уравнениям:

$$R_4(\%) = \frac{a^*_{(0h)} - a^*_{(4h)}}{a^*_{(0h)}} \times 100 \% \quad (1)$$

$$R_{26}(\%) = \frac{a^*_{(0h)} - a^*_{(26h)}}{a^*_{(0h)}} \times 100 \% \quad (2)$$

где R_4 и R_{26} – степень обесцвечивания красителя через 4 ч и 26 ч воздействия УФ-облучения соответственно; $a^*_{(0h)}$, $a^*_{(4h)}$, $a^*_{(26h)}$ – цветовой параметр поверхности красителя перед облучением (0 ч) и после облучения УФ-светом в течение 4 ч и 26 ч соответственно.

Выполнение условий $R_4 > 20 \%$ и $R_{26} > 50 \%$ свидетельствует о фотокаталитических характеристиках исследуемого материала.

В качестве исследуемых материалов рассматривались синтезированные золь-гель методом порошки: TiO_2-5 – диоксид титана, полученный из основного состава золя; TiO_2-10 – диоксид титана, полученный на основе золя с увеличенным количеством воды; $TiO_2/CaCO_3$ – композиционный материал на основе известняка; TiO_2/MP – композиционный материал на основе мраморной пыли.

На основании полученных фотоснимков (таблица 1) и показателей по обесцвечиванию загрязнителя под УФ светом рассчитывается процентное удаление родамина с поверхности композиционного материала (таблица 2).

Фотодеградация красителя фотокатализатором составила после 4 ч облучения УФ светом для материала с TiO_2-5 R_4 – 64 %, после 26 ч R_{26}

= 100 %, а для материала TiO₂-10 после 4 ч составила R₄ = 72 %, после 26 ч R₂₆ = 100 %.

Таблица 1 – Деградация родамина Б на поверхности материалов

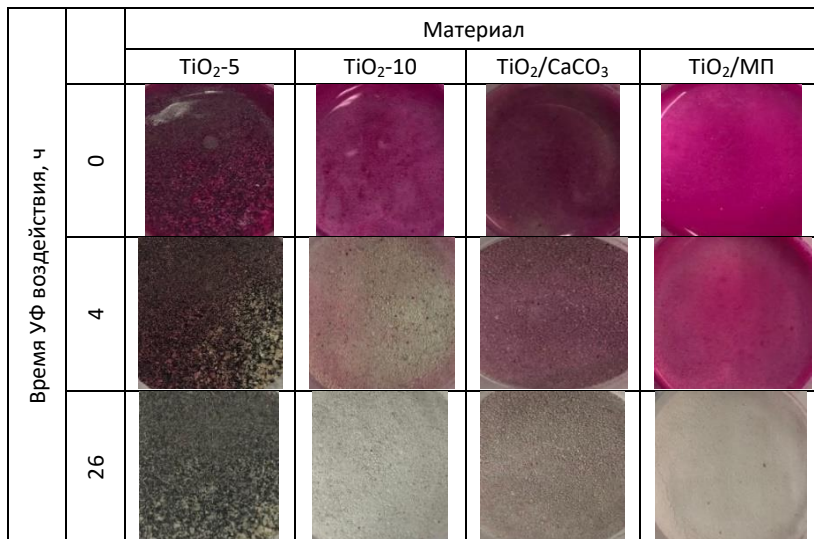


Таблица 2 – Коэффициент a^* визуального изменения и процент удаления родамина Б с течением времени на поверхности синтезированных материалов

Материал	$a_{(0)}$	$a_{(4)}$	$a_{(26)}$	R ₍₄₎ , %	R ₍₂₆₎ , %
TiO ₂ -5	21,18	7,62	0,04	64	100
TiO ₂ -10	39,72	10,94	0,046	72	100
На известняке	25,64	19,06	2,86	26	89
На мраморной пыли	60,74	46,96	1,16	23	98

Данные порошки представляют собой эффективные фотокатализаторы, используемые как активные компоненты фотокаталитических изделий.

Более преимущественным будет являться материал с 10 % воды, следовательно, результаты фотодеградации родамина Б будут являться контрольными показателями при сравнении с показателями материалов с карбонатными носителями.

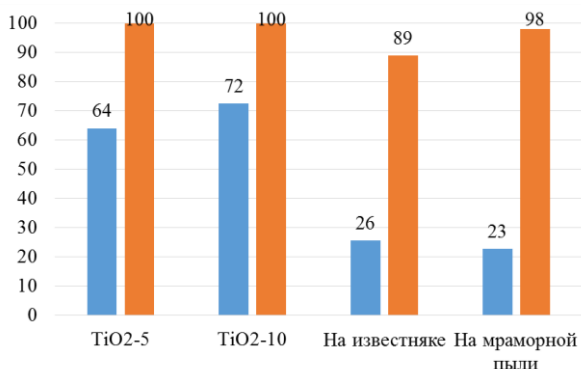


Рис. 1 Разложение родамина Б после УФ облучения во времени

Композиционные материалы на основе карбонатных носителей являются активными материалами, способствующие фотокаталитическому разложению загрязнений. Материал на основе носителя известняка после 4 ч УФ облучения проявляет свойство деградации родамина Б на 26 %, после 26 ч – на 89 % (рисунок 1). Полученные результаты удовлетворяют требованиям $R_4 > 20$ % и $R_{26} > 50$ %. Следовательно, синтезированный материал на основе носителя известняка является эффективным фотокаталитическим агентом.

Композиционный материал на основе мраморной пыли после 4 ч облучения УФ светом проявляет активность по деградации водорастворимого красителя на 23, и на 98 после 26 ч. Исходя из результатов визуально-калориметрическим методом по родамин тесту, фотокаталитический материал на основе мраморной пыли, является активным фотокатализатором.

Таким образом, исходя из полученных результатов обесцвечивая родамина Б под воздействием УФ излучения, можно сказать, что известняк и мраморная пыль в качестве носителей для фотокаталитической системы, проявляют высокие показатели деградации органического загрязнителя, следовательно, представленные минеральные добавки будут являться эффективными для повышения фотокаталитической активности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лабузова М.В., Губарева Е.Н., Огурцова Ю.Н., Строкова В.В. Использование фотокаталитического композиционного материала в цементной системе // Строительные материалы. 2019. № 5. С. 16–21.

2. Губарева Е.Н., Строкова В.В., Баскаков П.С. Фотокаталитический композиционный материал на основе кремнеземного сырья: монография. Белгород: Изд-во БГТУ, 2021. 115 с.

3. Лукутцова Н.П., Постникова О.А., Пыкин А.А., Ласман И.А., Солодухина М.Ю., Бондаренко Е.А., Сулейманова Л.А. Эффективность применения нанодисперсного диоксида титана в фотокатализе // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2015. № 3. С. 54–57.

4. Морозов, Р.С. Свойства и модификация поверхности микропористых сферических частиц TiO_2 и SiO_2-TiO_2 , полученных пероксидным методом: дисс. канд. хим. наук. Челябинск, 2019. С. 160.

5. Пат. 2522370 Российская Федерация, МПК с 04 В 35/465, С 04 В 14/30, В 01 J 37/03. Фотокаталитические композиционные материалы, содержащие титан и известняк / Анкора Ренато, Борса Массимо, Марки Маурицио Илер; заявитель и патентообладатель ИТАЛЧЕМЕНТИ С.П.А. № 20111103687/03; заявл. 31.07.2009; опубл. 10.07.2014, бюл. № 19. 23 с.

6. Любомирский Н.В., Бахтин А.С., Бахтина Т.А., Николаенко В.В. Строительные материалы на основе известковой пыли и мелкодисперсного известняка // ФГАУВО «Крымский Федеральный университет имени в. И. Вернадского», г. Симферополь, Россия. № 4 (90) 2020. 113 с.

7. M.A. Karimi, M. Ranjbar. Hydrothermal synthesis and characterization of hydrothermal synthesis characterization of $CaCO_3$ nanostructure, synth. React. Inorganic met. Nano-metal chem. 46 (2016) 635–637.

УДК 691.3

Сивальнева М.Н., Капуста А.С., Сивальнев К.С.

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

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ПРОИЗВОДСТВА ФИБРОПЕНОБЕТОНА

В Российской Федерации и за ее пределами пенобетон и изделия из него широко используются при строительстве различных зданий и сооружений. Оптимальное сочетание эксплуатационных и ценовых показателей данного материала способствует развитию интереса не

только со стороны производителей, но и научных школ, исследовательская деятельность которых направлена на устранения ряда недостатков, преимущественно касающихся повышения прочностных показателей и ограничения или устранения трещинообразования. Наиболее оптимальным способом достижения требуемых характеристик является дисперсное и микроармирование различными видами фибр, что явилось основой для направленного изучения и развития производства фибропенобетонов [1–3].

В рамках данной работы предложена и рассмотрена технология получения фибропенобетона. В качестве армирующего компонента использована базальтовая фибра, выбор которой обоснован следующими ее преимуществами. Базальтовая фибра обладает высокой прочностью, термостойкостью, долговечностью, устойчивостью к щелочам, совместимостью с другими компонентами бетона [4]. Следовательно, ячеистые композиты, армированные данной фиброй, обладают способностью интенсификации процессов твердения бетона, уменьшенным водопоглощением, повышенными адгезией со стеновой конструкцией; прочностью на изгиб, растяжение и срез; морозостойкостью; трещиностойкостью; сопротивлением истираемости и долговечностью в целом.

Технологическая схема составлена на основании результатов научно-исследовательских разработок по повышению эффективности ячеистых бетонов, с использованием основных ресурсов Белгородской области.

Предложенная технология производства пенобетона, дисперсно-армированного базальтовым волокном, включает следующие технологические операции: хранение сырья, подача сырьевых компонентов (вяжущего, заполнителя, воды, пенообразователя и базальтового волокна), дозирование компонентов, приготовление раствора, заливка форм-массивов фибропенобетонной смесью, предварительная выдержка для созревания массивов, распалубка, резка, сортировка, упаковка, складирование и отгрузка готовой продукции (рисунок 1).

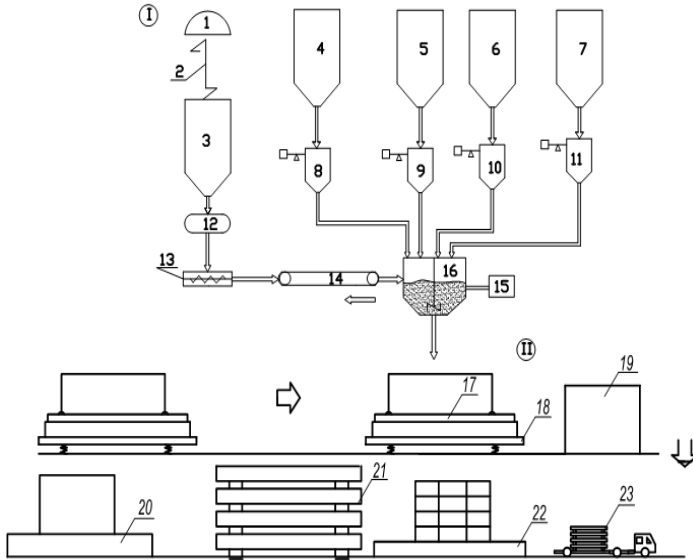


Рис. 1 Технологическая схема производства фибропенобетона:
 1 – склад песка; 2 – элеватор; 3 – бункер с песком; 4 – бункер с цементом; 5 – бункер для воды; 6 – бункер с фиброй; 7 – бункер с пенообразователем; 8 – дозатор для цемента; 9 – дозатор воды; 10 – дозатор с фиброй; 11 – дозатор пенообразователя; 12 – виброгрохот; 13 – весовой дозатор песка; 14 – ленточный транспортер; 15 – компрессор; 16 – пенобетоносмеситель; 17 – заливка в формы-массивы; 18 – поддон на колесах; 19 – пост созревания массивов; 20 – пост распалубки; 21 – резка; 22 – сортировка и упаковка; 23 – отгрузка на склад

Согласно представленной схеме указаны транспортные пути доставки и способы кратковременного хранения всех сырьевых компонентов. В качестве вяжущего компонента выступает цемент, который на предприятие доставляется автоцементовозами. Для его хранения предусмотрены склады-бункеры либо склады цемента. Заполнитель в виде песка доставляют автотранспортом в складские помещения. Подача воды на производство осуществляется по средствам центрального водопровода. Пенообразователь поставляют в специальных емкостях от 50 до 100 литров. Базальтовую фибру привозят на завод в мешках.

Подробное описание начальных этапов технологической линии подразумевает системы транспортировки сырья и его дозирование. Песок со склада 1 подается элеватором 2 в расходный бункер 3, затем с целью отсеивания крупных фракций поступает в виброгрохот и

дозируется весовым дозатором 13 с последующей подачей на ленточный транспортер 14, который доставляет заполнитель в пенобетоносмеситель 16.

Помимо песка в установку 16 подаются остальные сырьевые компоненты, а именно вода из бункера 5 через объемный дозатор 9; базальтовое волокно со склада поступает в расходный бункер фибры 6 и дозируется весовым дозатором 10; пенообразователь аналогично поступает из бункера 7 и дозатора 11.

Следующим технологическим этапом является приготовление растворной фибропенобетонной смеси в пенобетоносмесителе при совместном перемешивании загруженные сырьевых компоненты до однородного состояния. Продолжительность и скоростью технологической операции определяется экспериментально с учетом различных факторов (геометрических параметров и расхода дисперсно-армирующей добавки, типов пенообразователя, дисперсных характеристик компонентов и др.) При этом обязательно осуществляется визуальный контроль смеси на предмет равномерности распределения волокна и отсутствия «ежей».

Далее осуществляется заливка свежеприготовленной смеси в формы-массивы 17 и набор распалубочной прочности на посту 19. Следует отметить, что использование фибры в составе пенобетонных изделий положительно отражается на времени формирования массива за счет сокращения набора прочности при неавтоклавной обработке [5]. В последующем на посту 20 производится распалубка, откуда массивы грузозахватом, закрепленным на кран-балке, переносятся на стол резательного комплекса 21. Следует отметить, что возможно использование данного комплекса без кран-балки, но тогда требуется подвесное грузоподъемное устройство. Преимущество использования резательного комплекса складывается из возможности выпуска блоков различных типоразмеров. После резки, блоки поступают на склад готовой продукции 22, где их сортируют и упаковывают, затем осуществляется отгрузка готовых блоков на склад 23.

Таким образом, представлена технологическая линия производства фибропенобетона неавтоклавного твердения с кратким описанием основных переделов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Моргун Л.В., Нагорский В.В., Богатина А.Ю. Актуальность применения фибропенобетона в современном строительстве // Технологии бетонов. 2021. № 3 (176). С. 27–31.

2. Егорова А.Д., Попов А.Л., Заровняев П.П., Дуюков Т.Т. Влияние микроармирования хризотил-асбестом разных марок на свойства и структуру пен // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2020. № 4. С. 24–31.

3. Голова Т.А., Магеррамова И.А., Андреева Н.В. Технология производства неавтоклавных пенобетонов, дисперсно армированных модифицированными волокнами // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2020. № 1 (78). С. 126–135.

4. Белькова Н.А., Иващенко Е.И. Фиброармированные пенобетоны неавтоклавного твердения на основе базальтовой и полиамидной фибр: основные характеристики // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. 2022. № 2 (51). С. 97–104.

5. Строкова В.В., Сивальнева М.Н. Фибропенобетон на основе бесцементного наноструктурированного вяжущего / Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2016 году: в сб. научных трудов РААСН. Серия «Научные труды РААСН» Российская академия архитектуры и строительных наук. – Москва. 2017. С. 390–398.

УДК 620.3

Фаустова С.А.

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

МИРОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ НАНОТЕХНОЛОГИЙ

Нанотехнологии – это современное направление науки, которое стремительно развивается в последние десятилетия. Они включают создание и применение материалов, устройств и технических систем, функционирование которых определяется наноструктурой, то есть ее упорядоченными частями размером от 1 до 100 нанометров.

Мнение экспертов заключалось в том, что к 2020 году всемирное производство наноматериалов достигнет 58000 тонн в год, что, вероятно, приведет к высоким выбросам промышленных наночастиц в

окружающую среду [1]. В мире уже выпускается более 1800 наименований наноматериалов [2].

В настоящее время разработки в области нанотехнологий и внедрение их в производство, а также обыденную жизнедеятельность являются значимой проблемой для множества государств, так как их применение выявляет новые технологические просторы в плане создания материалов, обладающих особыми качествами.

Признанными чемпионами в данной области являются Соединенные штаты Америки, Германия, Япония. Прорывными темпами развиваются нанотехнологии и в Китае. Российская Федерация не входит в состав лидеров данной сферы, однако и в нашей стране их развитию уделяется особое внимание.

Общемировые затраты на исследования в области нанотехнологий превосходят \$9 млрд. в год (рис.1.). На долю США приходится примерно треть мировых инвестиций. Также изучения в данной области активно ведутся в странах бывшего СССР, Канаде, Китае, Южной Корее, Бразилии, Японии и во многих других государствах. Мониторинг показывал, что к 2015 году общая численность специалистов различных областей нанотехнологической промышленности может превысить 2 млн. человек, а суммарная стоимость товаров, производимых с использованием наноматериалов, составит \$1 трлн. В общей сложности американская промышленность и индустрия других развитых стран сейчас применяют нанотехнологии в процессе производства, как минимум, 80 групп потребительских изделий и свыше 600 разновидностей сырьевых материалов, комплектующих товаров и промышленного оборудования.

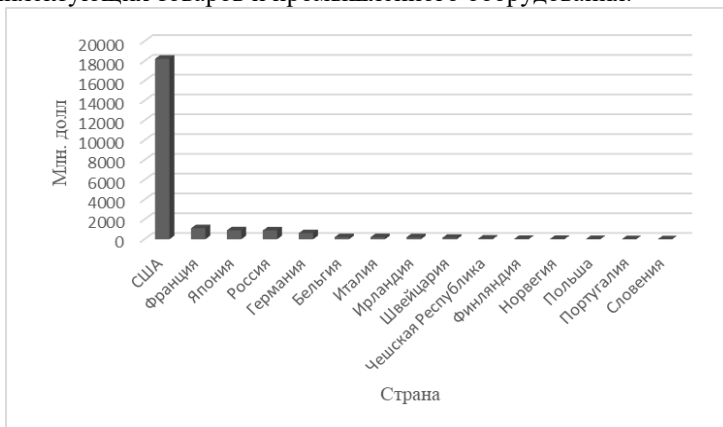


Рис. 1 Общемировые затраты на исследования и разработки в области нанотехнологий

В 2000 году глава США Б. Клинтон объявил о принятии государственного проекта изучения и разработок в сфере нанотехнологий, получившей название «Национальная нанотехнологическая инициатива» (НИИ). В 2001 году в рамках проекта «НИИ» было профинансировано более 200 тыс. работ в университетах, а также исследования в федеральных НИУ и лабораториях промышленных фирм. В качестве примера можно привести использование нанотехнологий в военном деле. Сухопутные войска США в 2001 году предоставили Массачусетскому технологическому институту контракт стоимостью \$50 млн. на создание научно-исследовательского центра по применению нанотехнологий для совершенствования индивидуальной экипировки военнослужащих - ISN (Institute for Soldier Nanotechnologies). В течение пяти лет сотрудники ISN должны создать новый легкий молекулярный материал для изготовления обмундирования, которое бы защищало солдата от воздействия химического и биологического оружия, вылечивало полученные ранения и травмы, служило бронезиловым, а также выполняло все остальные функции полевой формы одежды [3].

Сегодня Россия существенно отстает от мировых нанотехнологических лидеров - США, Японии, стран Евросоюза по абсолютным показателям развития науки, технологий, степени промышленного освоения и разработок наноиндустрии. Россия более чем в 10 раз уступает США по количеству нанотехнологических центров. Её доля в числе международных нанотехнологических патентов составляет менее 0,2%.

Выдвижение Президентской инициативы «Стратегия развития наноиндустрии» в 2007 г., послужило развитием нанотехнологий в России на государственном уровне. Нанотехнологии в Российской Федерации были признаны одним из основных направлений инновационного развития страны: «индустрия наносистем» входит в программу приоритетных направлений развития науки, технологий и техники Российской Федерации [4]. В Перечне критических технологий страны часть касается развития наноматериалов, нанотехнологий, наноустройств. Основные исследования и разработки велись в рамках федеральной целевой программы (ФЦП) «Развитие инфраструктуры наноиндустрии в РФ на 2008-2011 годы». В 2008-2015 гг. действовала «Программа развития наноиндустрии до 2015 года». На сегодняшний день ведутся работы в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы». Работает Государственный интернет-портал «Нанотехнологии и наноматериалы».

В Японии особое внимание при организации работ в области нанотехнологии уделяется обеспечению эффективного взаимодействия между учеными, промышленниками и чиновниками. Основной организацией Японии в области нанотехнологии является Национальный институт материаловедения (National institute for materials science) – НИМ, сформированный в апреле 2001 года в результате слияния Национального исследовательского института металлов и Национального института исследования неорганических материалов [5]. До конца марта 2006 года реализовывался первый период среднесрочного проекта формирования учреждения как самостоятельного административного новообразования. С апреля 2006 года реализуется второй период этого среднесрочного проекта. Ведущее направление деятельности НИМ – осуществление фундаментальных исследований в сфере материаловедения. В процессе реализации первого периода среднесрочного проекта НИМ достиг существенных успехов: он стал независимым административным учреждением, число журнальных публикаций по сравнению с количеством публикаций предшественников учреждения возросло в 1,9 раз. Международный показатель института в сфере материаловедения также стремительно увеличился – с 2001 года НИМ переместился с 31 позиции на пятую. В области патентования количество прикладных и зарегистрированных работ практически удвоилось. Вследствие этого увеличился приток технологий в частный сектор. Уже создано пять фирм, использующих разработки НИМ. В ходе второго периода НИМ сосредоточился на нанотехнологическом материаловедении. Для этого в институте были разработаны и запущены основные научные проекты, нацеленные на нанотехнологии создания новейших материалов, а также усовершенствование свойств уже имеющихся материалов, соответствующих социальным нуждам. Значимым элементом политики Японии в сфере нанотехнологий является ежегодная мировая нанотехнологическая выставка NANOTECH, в работе которой в 2007 году приняли участие 442 организации. Общее число посетителей выставки достигло почти 50 тыс. К числу основных проектов, в основе многих технических решений которых лежат достижения японской нанотехнологии, относится "аэропоезд", который должен прийти взамен "поезду-пуле". А к 2020 году в Японии планировался ввод в строй новой транспортной системы на его основе [6].

Несмотря на то, что наноматериалы в мире используются уже более 15 лет, ни один вид не был исследован до конца на безопасность ни в одной стране мира. Вместе с тем общепризнанным является

подход, в соответствии с которым наночастицы должны рассматриваться как новые потенциально опасные материалы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Kunhikrishnan A. et al. Sources, distribution, environmental fate, and ecological effects of nanomaterials in wastewater streams // *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.* 2015. V. 45. P. 277- 318.

2. Об утверждении Концепции токсикологических исследований, методологии оценки риска, методов идентификации и количественного определения наноматериалов. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 31 октября 2007 г. № 79. <https://rg.ru/2007/12/01/konceptsiya-doc.html> (дата обращения 12.09.2022).

3. Развитие нанотехнологий США [Электронный ресурс]. URL: <https://militaryarticle.ru/zarubezhnoe-voennoe-obozenie/2003-zvo/7088-razvitiye-nanotehnologij-v-ssha>

4. Президентская инициатива «Стратегия развития nanoиндустрии» от 24.04.07 № ПР-668 <http://www.rusnor.org/pubs/reviews/7454.htm> (дата обращения 12.09.2022).

5. Pekarskaya E. Perspectives of the International Nanotech Market. Presented at the 4th Nanotechnology Forum Hessen. 22–23 November 2007.

6. Кобаяси Н. Введение в нанотехнологию / Н.Кобаяси. – Пер. с японск. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. – 134 с.: ил.

7. Лопанов А.Н. Тихомирова К.В. Обеспечение безопасности в технологии электропроводящих композитов строительного назначения // *Безопасность в строительстве: материалы III Международной научно-практической конференции*; / под общ.ред. Е. И. Рыбнова; СПбГАСУ. – СПб., 2017. – С. 115-119.

8. Фаустова С.А. Проблемы развития и сравнение опыта использования наноматериалов в РФ и зарубежом // *Материал Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, 2022* – С. 157 – 159.

9. Фаустова С.А. Современные вопросы оценки негативного влияния использования нанотехнологий в перспективных областях исследований // *Материал Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, 2022* – С. 160 – 163.

Цветкова К.С.

*Научный руководитель: Ковалева А.Н., канд. хим. наук, доц.
РТУ МИРЭА, Институт тонких химических технологий
им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия*

ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПЛЕКСА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КАУЧУКА, НАПОЛНЕННОГО КРУПНЫМИ ЧАСТИЦАМИ ДИОКСИДА КРЕМНИЯ

В настоящее время композиционные материалы занимают лидирующие области в большинстве отраслей промышленного производства – авиастроении, судостроении, машиностроении, производстве потребительских товаров, медицинских изделий и т.д.

Как известно, полимерные композиционные материалы (ПКМ) состоят из двух или более компонентов, один из которых матрица, а другой наполнитель. В качестве матрицы могут выступать не только термо- и реактопласты, но и эластомеры.

Посредством введения в состав полимерных смесей определенных наполнителей можно изменять физико-механические свойства материала в соответствии с требованиями и условиями практического применения изделий.

Для построения полимерной матрицы в объеме используются обобщенные параметры дисперсной структуры Θ , B и M (Θ – доля полимерной фазы-матрицы для образования прослойки между частицами наполнителя, M – доля полимерной фазы-матрицы в граничных слоях с толщиной (δ) и B – доля полимерной фазы-матрицы для заполнения объема между частицами с прослойками), которые выполняют различную функциональную роль. [1]

В работе впервые показали возможность применения обобщенных параметров для получения полимерных композиционных материалов на основе эластомеров, наполненных наполнителем с крупными частицами.

При создании любого дисперсно-наполненного ПКМ (ДНПКМ) вначале необходимо определить параметры исходных компонентов (дисперсной фазы наполнителя и полимерной матрицы).

К параметрам полимерной матрицы можно отнести: вязкость, физико-химические свойства (смачивание, поверхностное натяжение, температурами переходов и др.).

Дисперсную фазу (наполнитель) можно описать более, чем 10 показателями, основными из которых являются: форма и размер частиц,

удельная поверхность наполнителя, плотность частиц (истинная, кажущаяся и насыпная), рН поверхности дисперсных частиц и др [2].

В работах [2-5] показано, что для проектирования составов ДНПКМ необходимо установить ряд обобщенных параметров: значение максимально возможного содержания дисперсного наполнителя (параметр φ_m , об. д.) в полимерной матрице, параметр Θ (доля полимерной фазы-матрицы для формирования прослойки между частицами наполнителя) для определения типа дисперсной структуры и ее описания, а также B – доля полимерной фазы-матрицы для заполнения объема между частицами; M – доля полимерной фазы-матрицы в граничных слоях с толщиной (δ).

В своей работе показали возможность применения обобщенных параметров для описания зависимости динамических показателей невулканизованных полимерных композиционных материалов.

В качестве полимерной основы использовали бутадиен-стирольный (СКС-30 АРК), а также бутадиен-нитрильный каучуки (БНКС-40 АН).

Для исследования был выбран дисперсный наполнитель – диоксид кремния марки БС-50 с диаметром частиц 50 нм.

Для определения динамических параметров были получены маточные смеси на основе 2-х каучуков с различным наполнением, после чего рассчитан параметр Θ .

Таблица 1 – Рецептура маточных смесей на основе БНКС-40 АН и СКС-30 АРК с наполнителем БС-50

Каучук/наполнитель	Состав смеси, об.д.			
	БНКС-40 АН/ БС-50	0,92/0,08	0,85/0,15	0,79/0,21
Θ , об.д.	0,90	0,75	0,60	0,45
СКС-30 АРК/ БС-50	0,93/0,07	0,86/0,14	0,81/0,19	0,76/0,24
Θ , об.д.	0,90	0,75	0,60	0,45

Динамические параметры резиновых смесей (модуль упругости G' и модуль потерь G'') были получены на приборе D-RPA 3000, после чего провели пересчет на обобщенные параметры.

На рис. 1 и 2 представлены кривые модуля упругости G' в зависимости от частоты, а на рис. 3 и 4 - зависимости модуля упругости G' при постоянной частоте 50 Гц исследуемых ПКМ при различных значениях обобщенного параметра Θ .

Показано, что увеличение содержания наполнителя приводит к увеличению модуля упругости. Причем, при введении белой сажи в

БНКС-40 АН можно наблюдать увеличение модуля упругости в 1,5-2 раза больше, чем в СКС-30 АРК.

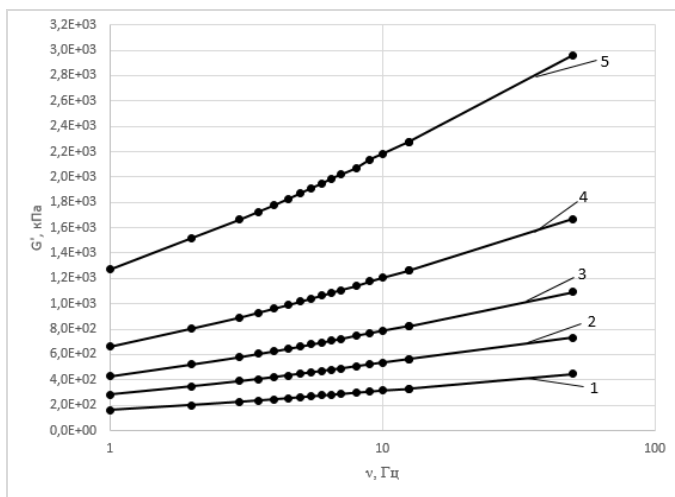


Рис. 1 Зависимость модуля упругости G' для ПКМ на основе каучука СКС-30 АРК и наполнителя БС-50 при обобщенном параметре Φ : 1 (1), 0,90 (2), 0,75 (3), 0,60 (4) и 0,45 об.д. (5) от частоты ν

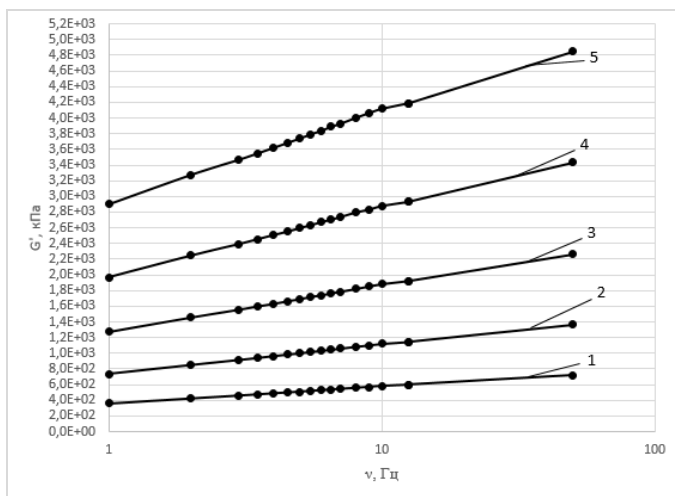


Рис. 2 Зависимость модуля упругости G' для на основе каучука БНКС-40 АН и наполнителя БС-50 при обобщенном параметре Φ : 1 (1), 0,90 (2), 0,75 (3), 0,60 (4) и 0,45 об.д. (5) от частоты ν

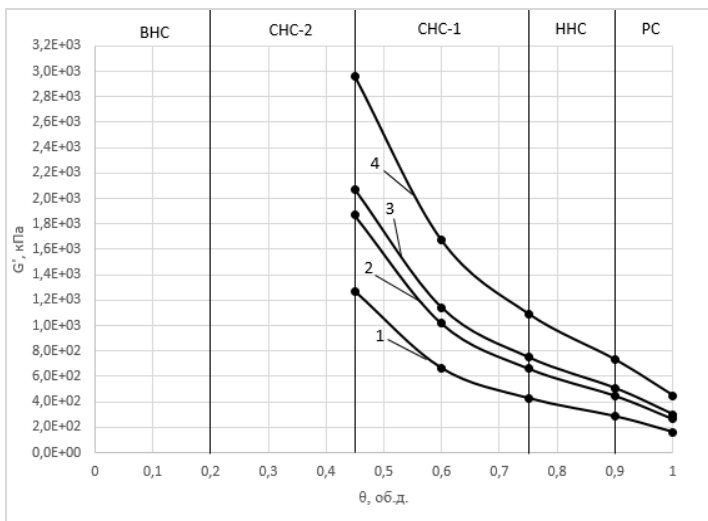


Рис. 3 Зависимость модуля упругости G' для ПКМ на основе каучука СКС-30 АРК и наполнителя БС-50 при частоте ν : 1 (1), 5 (2), 8 (3) и 50 Гц (4) от обобщенного параметра Θ об.д.

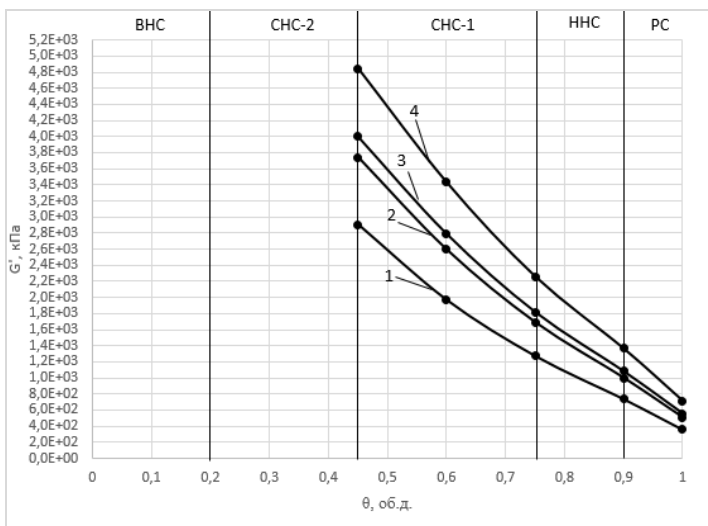


Рис. 4 Зависимость модуля упругости G' для ПКМ на основе каучука БКС-40 АН и наполнителя БС-50 при частоте ν : 1 (1), 5 (2), 8 (3) и 50 Гц (4) от обобщенного параметра Θ об.д.

Таким образом, полученные результаты зависимостей модуля упругости G' ДНПКМ возможно интерпретировать не только от содержания наполнителя, а также от обобщенного параметра Θ , который учитывают одновременно содержание дисперсной фазы, упаковку, форму и размер частиц.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Симонов-Емельянов И.Д. Построение структур в дисперсно-наполненных полимерах и свойства композиционных материалов // Пластические массы. 2015. №9-10. С. 29-36.

2. Симонов-Емельянов И.Д. Физико-химические основы построения структуры дисперсно-наполненных полимерных композиционных материалов и нанокмполитов / Новые полимерные композиционные материалы. Микитаевские чтения: сб. материалов конф. XVII Междунар. Науч.-практ. конф. // Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова (Нальчик): Издательство «Принт Центр» Нальчик, 2021. С. 209.

3. Симонов-Емельянов И.Д., Харламова К.И. Размер частиц наполнителя, упаковка и составы наполненных полимерных композитов с разным типом структуры и свойствами // Теоретические основы химической технологии. 2020. Т. 54. №6. С.1-7.

4. Нгуен Ч.Н., Саньярова М.В., Симонов-Емельянов И.Д. Расчет составов дисперсных наполненных полимерных композиционных материалов с разной структурой. // Тонкие химические технологии. 2020. Т. 15. №1. С.62-66.

5. Симонов-Емельянов И.Д. Расчет составов дисперсно-наполненных полимерных композиционных материалов с различными типами решеток и параметрами структур. // Пластические массы. 2020. №1-2. С.4-7.

УДК 66.017

Чуриков А.С., Левицкая К.М.

Научный руководитель: Алфимова Н.И., канд. техн. наук, доц.

Белгородский государственный технологический университет

им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ ВИСКЕРОВ СУЛЬФАТА КАЛЬЦИЯ

Вискеры – это нитевидные кристаллы с диаметром от 1 до 10 мкм и отношением длины к диаметру > 1000 . Благодаря их универсальному

комплексу свойств, как с точки зрения практики, так и фундаментальной науки вискеры можно считать одним из наиболее перспективных кристаллических материалов. Вискеры во много раз прочнее обычных кристаллов, обладают повышенной коррозионной стойкостью, гибкостью и обладают кристаллографической анизотропией свойств. Достигается это тем, что они, как правило, имеют почти идеальное без дислокационного строение, благодаря своему малому диаметру, что в свою очередь исключает обычные механизмы пластической деформации и приближает их прочность к теоретической для данного вещества порогу [1].

В настоящее время известен достаточно широкий спектр неорганических нитевидных кристаллов, которые могут использоваться для армирования композиционных материалов, например, титанат калия ($K_2Ti_6O_{13}$) [2], борид титана (TiBw) [3], карбид кремния (SiC), борат алюминия ($Al_{18}B_4O_{13}$) [4], карбонат кальция ($CaCO_3$) [5] и вискеры сульфата кальция ($CaSO_4$) [6]. По сравнению со стекловолокном и углеродным волокном, эти материалы является более эффективными, но из-за высокой стоимости некоторых вискерев, таких как карбид кремния, их использования может быть не целесообразно. Однако нитевидные кристаллы сульфата кальция, благодаря своей отличной химической стойкости, термостойкости и, что не мало важно, хорошей совместимости с пластмассами и резиной, могут обладать огромным потенциалом, в качестве армирующего материала в полимерных композитах, при общей стоимости ниже стоимости других вискерев [6].

В настоящее время нарастает количество научных публикаций на тему утилизации отходов промышленных производств [7–9] и, теоретически, большинство отходов, содержащих в себе кальций, можно использовать в качестве сырья для получения вискерев сульфата кальция, рационализировав производственную деятельность и шагнув по ступени нового технологического прогресса.

В прошлом десятилетии основными способами получения вискерев сульфата кальция являлись атмосферно-кислотный и гидротермальный, в которых большинство исследователей брали в качестве сырья природный гипс. В материалах данной статьи [10], приведен эксперимент, в котором получилось синтезировать вискеры сульфата кальция гидротермальным способом.

В нем использовались следующие материалы: сульфат натрия безводный (содержание 99 %), хлорид кальция безводный (содержание 96 %) и вода дистиллированная. В качестве инструментов исследования выступали: ацидометр ПСХ-2С, Микроскоп Leica DM1000,

Электротермическая струйная сушка HG101-2 и статический автоклав на 100 мл.

Суть метода заключалась в смешивании двух растворов, хлорида кальция и сульфата натрия при концентрации 6 моль/л, после чего раствор помещался в условия гидротермальной обработки при 140 °С на 4 часа.

В результате исследований было выяснено, что получение вискероов сульфата кальция при помощи раствора хлорида кальция и раствора сульфата натрия возможно в определенных гидротермальных условиях: температуры, подходящие для данного метода 140–160 °С, обратный путь подачи, при котором раствор сульфата натрия попадал в раствор хлорида кальция, концентрации растворов составляли 0,6 моль/л при сохранении молярного соотношения 1:1,8, оптимальным значением рН было 6,12.

В следующей статье [11], описывается способ получения вискероов сульфата кальция путем реактивной кристаллизации серной кислоты с отходами хлорида кальция, выпускаемого с заводов по производству карбоната натрия. Где, заданное количество раствора H_2SO_4 добавляют в реактор при требуемой температуре реакции, а затем эквимольный, предварительно подогретый раствор $CaCl_2$ при помощи перистальтического насоса с постоянной скоростью. Образцы берут в разное время реакции, для дальнейшего определения оптимальных условий, быстро сушат и центрифугируют для последующего анализа. Фильтрование проб проводят под вакуумом, а осадок промывают деионизированной, кипяченой водой до исчезновения из вещества SO_4 . На следующем этапе важно промыть оставшуюся воду и органические растворители безводным этанолом и высушить при 60 °С в течении 4 часов, для предотвращения кристаллофазового перехода.

Определение характеристики ионов кальция и ионов сульфата проводят объемным методом с ЭДТА, где образец растворяют в воде, а тем раствор гидроксида натрия используют для доведения рН раствора выше 12, после чего добавляют кальцинкарбоновую кислоту и используют стандартный раствор ЭДТА для титрования и окрашивания раствора. А ионы хлорида определяют при помощи метода определения содержания серебра, исходя из которого, нитрат серебра используют для титрования, а хромат калия используют как индикатор, титрование заканчивают, когда цвет раствора изменится с желтого на оранжевый.

После всех пройденных этапов определяется морфология вискероов при помощи электронного микроскопа. Перед исследованием вискероов после сушки необходимо разбавить безводным этанолом, нанести на стеклянную подложку и напылить на него золото. После чего и

производится измерение морфологических признаков, соотношение размеров рассчитывают статистическим методом.

По результатам данного исследования был сформулирован вывод со следующим содержанием, получение вискероов сульфата кальция путем реактивной кристаллизации возможно, для оптимизации условий реакции необходимо больше исследований. На данном этапе эксперименты показали, что существенное влияние на их формирование оказывает температура реакции и концентрация реагента. В конечном итоге, были выявлены условия формирования вискероов сульфата кальция: концентрация реагента 1 моль·л⁻¹, температура реакции 102 °С, скорость перемешивания 190 об/мин и время реакции 120 мин. В представленных условиях образуется полугидрат сульфата кальция, сами вискероы имеют одинаковый размер частиц и правильную морфологию со средним диаметром 4,73 и соотношением длины к диаметру 191.

Следующий метод будет описывать получение нано проволок сульфата кальция при помощи микроволновой печи, в данном эксперименте все закупленные вещества не подвергались обработке и использовались в том виде, в котором были получены, это диметилформамид, этиленгликоль, додецилсульфат натрия и хлорид кальция. При помощи смешивания насыщенных водных растворов хлорида кальция и додецилсульфат натрия был получен додецилсульфат кальция. Образовавшийся осадок убирали центрифугированием и несколько раз промывали деионизированной водой, с последующей сушкой при 60 градусах в вакууме. По ходу эксперимента было сделано 3 образца, в первом использовали 285 мг додецилсульфата кальция растворенного в 50 мг этиленгликоля, во втором образце вместо этиленгликоля использовали диметилформамид, 3 образец готовили на масляной бане при 100 °С в этиленгликоле, пока он не становился мутно-белым. Продукты отделяли центрифугированием, промывали абсолютным спиртом и сушили при 60 °С.

Используемая микроволновая печь представляла собой сфокусированную одномодовую систему микроволнового синтеза (2,45 ГГц, Discover, СЕМ, США). Рентгенофазовый анализ производился при помощи рентгеновского дифрактометра Rigaku D/max 2550 V с высокоинтенсивным Cu K α -излучением ($\lambda=1,54178 \text{ \AA}$) и графитовым монохроматором. Микрофотографии с помощью просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) были получены на автоэмиссионном приборе JEOL JEM-2100F.

На полученных рентгенограммах 3 образцов наблюдались незначительные различия, все видимые рефлексы можно отнести к монокристаллической фазе $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ с моноклинной структурой. В результате исследования морфологии было выявлено, что образцы под номером 1 и 2, приготовленные в микроволновой печи, в разных органических растворителях, имели схожую морфологию, что говорит о незначительном влиянии растворителей этиленгликоль и диметилформамида на морфологию вискероов. Диаметр изготовленных нанотрубок составлял около 130 нм и длину до 8 мкм.

Образцы 1 и 3, приготовленные в одном органическом растворителе, а именно этиленгликоль, но в разных способах нагрева по морфологическим признакам являются очень схожими, а время, затраченное на их получение, кардинально отличается, так, например, для формирования вискероов в микроволновой печи потребовалось 15 мин, а для получения вискероов на масляной бане 60 часов, это говорит о том, что время реакции напрямую зависит от способа нагревания [12].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Электронный ресурс
[<http://www.chem.msu.ru/rus/teaching/goodilin1/whiskers.pdf>]
2. Surendran R., Chinnakali K. Preparation of calcium sulfate whiskers using waste calcium chloride by reactive crystallization // *Cryst. Res. Technol.* 2011. Vol. 46. No. 2. 166–172. DOI 10.1002/crat.201000420
3. Tikekar N. M., Ravi Chandran K.S., Sanders A. Nature of growth of dual titanium boride layers with nanostructured titanium boride whiskers on the surface of titanium // *Scr. Mater.* 2007. Vol. 57. Pp. 273–276.
4. Lee H.K., Zerbetto S., Colombo P., Pantano, C.G. Glass-Ceramics and Composites Containing Aluminum Borate Whiskers // *Ceramics International.* 2010. 36. Pp. 1589–1596. DOI:10.1016/j.ceramint.2010.02.039
5. Lin Y-X, Gao C., Chen M. Thermomechanical properties and tribological behavior of CaCO_3 whisker-reinforced polyetheretherketone composites // *Proc. Inst. Mech. Engrns. Part D: J. Engg. Tribol.* 2009. Vol. 223. Pp. 1013–1018. DOI:10.1243/13506501JET590
6. Wang H.G., Mu B., Ren J.F., Jian L. Q., Zhang J. Y., Yang S.R. Mechanical and tribological behaviors of PA66/PVDF blends filled with calcium sulfate whiskers // *Polym. Compos.* 2009. 30(9). 1326. DOI:10.1002/pc.20699
7. Кожухова Н.И., Шураков И.М., Титенко А.А., Алфимова Н.И., Жерновская И.В., Буковцова А.И. Влияние условий твердения на

характеристики щелочеактивированных вяжущих с цитрогипсом // Строительные материалы и изделия. 2021. Т. 4. № 5. С. 24–34.

8. Алфимова Н.И., Пириева С.Ю., Елистраткин М.Ю., Кожухова Н.И., Титенко А.А. Обзорный анализ способов получения, вяжущих из гипсосодержащих отходов промышленных производств // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 11. С. 8–23. DOI:10.34031/2071-7318-2020-5-11-8-23

9. Antsiferov S.I., Karachevtseva A.V., Pirieva S.Y., Kozhukhova N.I., Alfimova N.I. Design of drying drum for use in processing gypsum-bearing waste // Russian Engineering Research. 2022. Т. 42. № 5. С. 526–529. DOI:10.3103/S1068798X22050045

10. Luo K., Li H., Tan Y. Study on the preparation of calcium sulfate whisker by hydrothermal method // Advanced Materials Research. 2013. Vol. 602–604. Pp. 1369–1372.

11. Song X., Zhang L., Zhao J., Xu Y., Sun Z., Li P., Yu J. Preparation of calcium sulfate whiskers using waste calcium chloride by reactive crystallization // Cryst. Res. Technol. 2011. Vol. 46. No. 2. Pp. 166–172. DOI:10.1002/crat.201000420

12. Li L., Zhu Y.-J., Ma M.-G. Microwave-assisted preparation of calcium sulfate nanowires // Materials Letters. 2008. Vol. 62. 4552–4554.

УДК 53.084.6

Шестерикова Д.А., Шестериков А.Е.

*Научный руководитель: Троян П.Е., д-р техн. наук, проф.
Томский государственный университет систем управления и
радиоэлектроники, г. Томск, Россия*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КЛЕЯ НА ДЕФОРМАЦИЮ ПЬЕЗОДОЗАТОРА

В химических процессах микро- и нанотехнологий существует проблема дозирования вещества, например, в фотолитографии при распылении фоторезиста на подложку [1]. Для этого используется пьезодозатор (рис. 1), который позволяет закрыть отверстия внутри подложки, чтобы не происходила химическая реакция травления металлизации [2]. На рис. 1 представлена конструкция пьезодозатора в разрезе (а) и результат моделирования, когда жидкость выталкивается через выпускное отверстие (б).

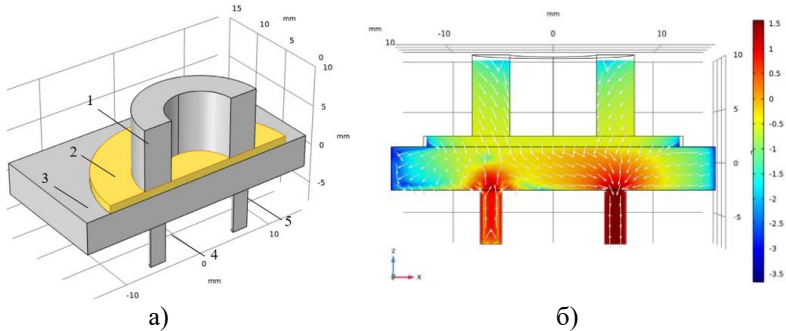


Рис. 1 Конструкция пьезодетектора в разрезе:

1 – пьезоэлемент (PbTiO₃), 2 – мембрана, 3 – емкость для жидкости, 4 – впускное отверстие, 5 – выпускное отверстие

На рис.1 пьезодетектор имеет напряжение 20 В. В таблице 1 представлены свойства пьезоматериала [3].

Таблица 1 – Характеристика пьезоэлектрического материала PbTiO₃

Коэф. Электрохимической связи d, пКл/Н	Коэф. Пуассона ν_p	Добротность Q_m	Температура Кюри T_c , °С	Отн. диэлек. проница-ть ϵ_r	Тангенс угла диэлек. потерь, $\text{tg}\delta$
68	<2	1100	255	240	0,02

В качестве распыляемого материала используется фоторезист марки ФП-307 с вязкостью $(6 \pm 1,0) \cdot 10^{-6}$ м²/с, с разрешающей способностью 500 линий/мм [4].

Для того, чтобы увеличить объем распыляемой дозы вещества, необходимо увеличить соприкосновение пьезоэлемента к мембране. Один из методов решения данной проблемы является применения клея между пьезоэлементом и мембраной. В качестве клея использовали Norland (NOA 61), который имеет высокую пластичность [5]. В таблице 2 представлены физические свойства клея.

Таблица 2 – Физические свойства клея (NOA 61)

Физические свойства	Значения
Вязкость при 25 °С, сП	300 сП
Показатель преломления, %	1,56
Модуль упругости,	150000

Па	
Плотность, кг/м ³	1261

Проведем исследование деформации системы пьезоэлектрик-мембрана для двух пьезодозаторов: с клеем (первый образец) и без клея (второй образец). На рис. 2 представлена зависимость деформации системы пьезоэлектрик-мембрана от времени.

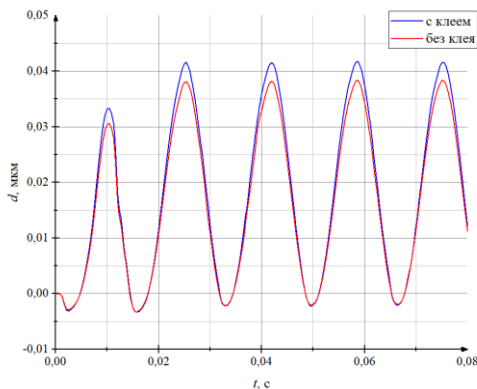


Рис. 2 Зависимость деформации системы пьезоэлектрик-мембрана от времени

По данной зависимости видно, что при применении клея между пьезоматериалом и мембраной амплитуда деформации больше, чем для образца без клея. Это связано с наличием упругого растяжения клея. Исходя из этого, поток впускающего и выпускающего вещества будет больше у пьезодозатора с клеем.

С позиции обеспечения наибольшей деформации и дозировки вещества для системы пьезоэлектрик-мембрана требуется при проектировании пьезодозатора с использованием клея.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. В.Н. Хмелев, А.В. Шалунов, А.В. Шалунова. Ультразвуковое распыление жидкостей: монография. Алт. гос. техн. унт, БТИ. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2010. 250 с.

2. J. Sateesh, K. Giriya Sravani, Akshay Kumar, Koushik Guha, K. Srinivasa Rao. Design and Flow Analysis of MEMS based Piezo-electric Micro Pump // Microsyst Technol. 2017. С. 1–6

3. Xiangyu Gao, Jikun Yang, Jingen Wu, Xudong Xin, Zhanmiao Li, Xiaoting Yuan, Xinyi Shen, and Shuxiang Dong Piezoelectric Actuators and

Motors: Materials, Designs, and Applications: Review // Advanced Materials Technologies. 2019. Vol. 5(1). P. 1 – 26.

4. Готра З.Ю. Технология микроэлектронных устройств: Справочник. М.: Изд-во Радио и связь, 1991. 528с.

5. Jian Wu, Wei Guo, Chunyan Wang, Kuanxin Yu, Ying Ma, Tao Chen, Yinghui Li. Research to Improve the Efficiency of Double Stereo PCR Microfluidic Chip by Passivating the Inner Surface of Steel Capillary with NOA61// Cell Biochem Biophys. 2015. С. 1–6.

УДК 666.189.32

Шрейдер И.В., Куликов Д.Е.

Научный руководитель: Анкарьян А.С., канд. техн. наук, проф.

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, г. Томск, Россия

ИССЛЕДОВАНИЕ ГРАНУЛИРОВАННОГО СТЕКЛОКЕРАМИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ

Негативное влияние жизнедеятельности человека выражается в воздействии на биосферу и на природу в целом. Отходы производства и потребления являются источниками загрязнения окружающей среды в глобальном масштабе. Это неизбежный результат потребительского отношения человека и непозволительно низкого коэффициента использования природных ресурсов. При этом следует отметить возрастающие объёмы бытовых отходов. Также, правильное использование сократит расходы на отопление, но и снизить стоимость строительства и повысить долговечность сооружений.

Существенную долю этих отходов составляют твёрдые бытовые отходы, которые предполагают серьёзную угрозу для здоровья населения.

Норматив накопления твердых бытовых отходов (ТБО) в среднем насчитывает 2, 1-2, 5 кубометров на 1 человека в год. Для объектов общественного значения они устанавливаются обособленно для каждой из категорий [1]. Одним из более распространённых видов ТБО подразумеваются сырьё из стекла и стеклобой. Утилизация ТБО, и стеклобоя представляет собой актуальную экологическую задачу, решение которой направлено на поддержание природной среды, безопасность и здоровье человека [2].

В настоящей работе рассмотрены вопросы, позволяющие не только утилизировать стеклобой, но и создавать из него на основе

вторичной переработки высокоэффективный строительный материал – гранулированный стеклокерамический материал.

Гранулированный стеклокерамический материал разработан совместно с сотрудниками ИФПМ СО РАН.

Материал обладает высокими теплоизоляционными свойствами, и может использоваться для изоляции тепловых агрегатов, инженерно-технических сетей и строителей.

Исследовательским путём был определён рациональный состав шихты, который позволил приобрести гранулы с весьма высокими теплофизическими свойствами. В процессе экспериментов исследовались гранулы диаметром от 5, 0 до 10, 0 мм (рисунок 1).

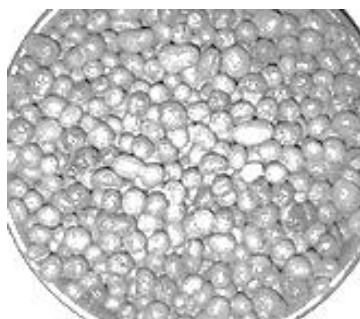


Рис. 1 Гранулы стеклокерамического материала

Классификации стеклокерамического материала в зависимости от рационального состава, которые были получены в процессе экспериментов приведены ниже, в (таблице 1).

Таблица 1 – Теплофизические характеристики гранул

№	Показатель	Параметры		
		1 состав	2 состав	3 состав
1	Плотность, кг/м ³	200	260	290
2	Горючесть	Не горит	Не горит	Не горит
3	Гигроскопичность, масс, %.	18	12	10
4	Коэффициент теплопроводности, Вт/мК	0,06	0,075	0,087
5	Предел прочности на сжатие, МПа	0,82	1,74	2,5
6	Водопоглощение, %.	4,8	2,6	1,7
7	Верхняя температура применения, °С	620		

Теплопроводность гранул стеклокерамического материала предопределяется теплопередачей пор и теплопередачей твёрдой фазы. Теплопередача зависит от конвективной передачи теплоты, проводимости газа в порах и теплоизлучения газа. Теплопроводность зависит от теплопередачи пор, то есть от значения пористости и специфичностей поровой структуры теплоизоляционного материала. Теплопроводность гранул меняется обратно пропорционально общему объёму пор.

Гранулированный стеклокерамический материал при температурах от 200 до 500 °С не изменяет свои характеристики. Наиболее важным свойством данного материала является устойчивость к воздействию влаги. На теплопроводность, как и на другие физико-технические особенности, сказывается структура стеклокерамического материала. Открытая пористость гранул способствует проникновению в поры газов и влаги. В итоге происходит физическое и химическое разрушение перегородок: увеличение размера пор, уменьшение количества закрытых пор, увеличение теплопроводности и понижение механической прочности.

Таким образом, у гранул с открытыми порами теплопроводность выше, чем у гранул с закрытыми порами. Как демонстрируют проведённые исследования, теплопроводность гранул зависит также от степени кристаллизации и состава шихты.

Эксперименты проводили с шихтой из 5 составов, в каждой из которой присутствовала легкоплавкая глина.

Таблица 2 – Влияние состава композиционного материала на теплопроводность гранулированного стеклокерамического материала

Состав	Бой стекла, %	Кокс, %	Опилки, %	Глина, %	Плотность, кг/м ³	Прочность на сжатие, МПа	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)
1	84,0	5,0	3,0	8,0	200	0,79	0,067
2	82,0			10,0	260	1,69	0,069
3	77,0			15,0	275	2,52	0,075
4	72,0			20,0	284	2,54	0,078
5	67,0			25,0	290	2,55	0,087

Увеличение глины до 25% увеличивает прочность и плотность, вследствие чего происходит увеличение теплопроводности.

В шихте высокий темп прироста теплопроводности наблюдается при содержании пластификатора (рис. 2).

Коэффициент теплопроводности гранул стеклокерамического материала идентифицировали методом стационарного теплового потока по ГОСТу 7076-99 с помощью электронного измерителя теплопроводности ИТП-МГ4 [3]. Следует отметить, что при выполнении испытаний содержание в составах шихты кокса и органических древесных опилок оставалось постоянным, менялось только соотношение глины и стеклобоя.

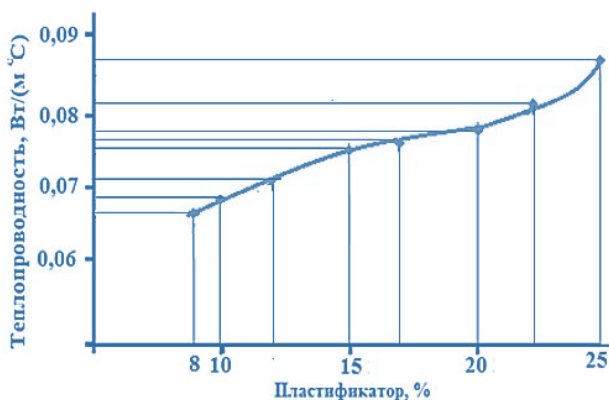


Рис. 2 Зависимость теплопроводности от содержания пластификатора в шихте

Применение гранул стеклокерамического материала позволит снизить затраты в строительстве. Также, материал с полученными теплофизическими характеристиками можно использовать и для теплоизоляции сводов промышленных печей, теплоэнергетических агрегатов, нагревательных установок, газовых и тепловых сетей.

Разработанная методика предусматривает способность получения из гранул блочной стеклокерамики различных геометрических форм – блоки, плиты, сегменты.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Норма накопления ТКО на 1 человека в 2022 году. ЖКХ. [Электронный ресурс]: электронная версия. URL:

<https://nedexpert.ru/kvartira/zhkh/norma-nakoplenija-tko> (дата обращения: 12.10.2022).

2. Махотлова, М. Ш. Твердые бытовые отходы и экология / М. Ш. Махотлова. — Текст: непосредственный // Молодой ученый. — 2015. — № 10 (90). — С. 95-96. — [Электронный ресурс]: электронная версия. URL: <https://moluch.ru/archive/90/18601/> (дата обращения: 16.10.2022).

3. ГОСТ 7076-99. Межгосударственный стандарт. Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме. [Электронный ресурс]: электронная версия. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200005006> (дата обращения: 07.10.2022).

4. Измеритель теплопроводности ИТП-МГ4. [Электронный ресурс]: электронная версия. URL: http://www.stroypribor.com/netcat_files/316/175/manual_itp.pdf (дата обращения: 07.10.2022).

5. Демидович Б.К. Производство и применение пеностекла. Наука и техника. 1975 г.

УДК 666.189.32

*Шрейдер И.В., Куликов Д.Е., Тупсина А.А.
Научный руководитель: Анкарьян А.С., д-р техн. наук, проф.
Томский Государственный университет систем управления и
радиоэлектроники, г. Томск, Россия*

КОМПОЗИЦИОННЫЙ ГРАНУЛИРОВАННЫЙ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ ПРОМЫШЛЕННОГО И БЫТОВОГО СТЕКЛОБОЯ

Наиболее быстро и эффективно снабжение промышленности эффективными теплоизоляционными материалами может быть решено разработкой и внедрением современных наукоёмких технологий производства пеностекла из алюмосиликатных соединений. Одним из таких материалов является пеностекло. Основное преимущество пеностекла, по сравнению с известными теплоизоляционными материалами, заключается в уникальном сочетании теплоизоляционных и конструктивных свойств, что даёт возможность использовать этот материал в различных отраслях промышленности. Известные виды этого материала, обладают несомненными достоинствами: низкой теплопроводностью, малой средней плотностью, высокой термостойкостью, низким аккумулярованием теплоты и устойчивостью к тепловым ударам.

В качестве объекта исследования, были выбраны гранулы пеностекла, изготовленные из шихты, в состав которой входят: бой оконного стекла с добавлением легкоплавких керамических добавок из минерального сырья, газообразователь и органические добавки (патент РФ № 2374191 «Способ получения гранулированной пеностеклокерамики») [1].

Целью работы является получение гранулированного пеностекла на основе отходов предприятий стекольной промышленности, производителей стеклопакетов и деревообрабатывающего производства с использованием алюмосиликатного минерального сырья Томской области.

Исследование характеристик глины проводятся нами совместно с учеными Института физики прочности и материаловедения Сибирского отделения академии наук (ИФПМ СО РАН).

Использование боя стекла вследствие неоднородности его химического состава создаёт существенные трудности для получения пеностеклокерамики со стабильными заданными свойствами. Высокими технологическими свойствами для производства пеностекла обладают стёкла, содержащие в своём составе; SiO₂ – 60-72,5%; Fe₂O₃ – 0-2,5%; CaO – 4-6,0%; MgO - 1,5-2,5%; Na₂O – 12,5-15,0%; Al₂O₃ – 1,2-1,57 [2].

Большим поставщиком боя оконного стекла являются предприятия, изготавливающие оконные стеклопакеты. Химический состав отходов стекла от изготовления стеклопакетов указан ниже (таблица 1).

Таблица 1 – Химический состав стекла использованием от стеклопакетов

Наименование	Состав отходов оконного стекла от стеклопакетов, %							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	R ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃
Стекло применяемое для стеклопакетов	73,0	0,9	0,12	8,7	3,6	13,6	-	0,53

Отличительной особенностью является низкое содержание Al₂O₃ по сравнению с другими видами стекла.

Немаловажным источником стеклобоя является бутылочное зелёное стекло. Химический состав наиболее популярного боя тарного (бутылочного зелёного) стекла указан в (таблице 2). Этот вид стекла обладает высоким содержанием Fe₂O₃, Al₂O₃, Na₂O, что является важным фактором для процесса пенообразования.

Таблица 2 - Химический состав бутылочного зелёного стекла

Наименование	Состав отходов оконного стекла от стеклопакетов, %							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	Cr ₂ O ₃	SO ₃
Стекло бутылочное зелёное	70,7	4,0	0,65	6,5	3,5	14,5	0,15	-

При выборе боя стекла исходили из того, что содержание в них оксидов щелочных металлов позволит интенсифицировать процессы плавления стекломассы и вспенивания пеностекла, а также понизить количество дополнительно вводимого с другими компонентами щелочного компонента.

Вторым важным составляющим шихты для предлагаемого пеностекла является глина. Глина придаёт пластичность массе и способствует формообразованию. Основная цель ввода глины – увеличение механической прочности перегородок пор.

Третьим компонентом, вводимый в состав шихты, является кокс. Так как, при использовании глины в шихте, существенно повышается вязкость силикатного расплава, увеличивается температура размягчения, вспенивания и кристаллизации, то при выборе типа газообразователей исходили из возможности сочетания температурного интервала, оптимального для вспенивания расплава, и наибольшего прироста парциального давления газообразных продуктов. Выделение газа внутри стеклообразной фазы и образование пены зависит исключительно от реакционной способности газообразователя.

Отличительной особенностью предлагаемого состава шихты для производства пеностеклокерамики, является ввод органических добавок. В настоящей работе четвёртым компонентом являются древесные опилки. В данной работе предлагается вводить древесные опилки в шихту в период тонкого помола стекла, что обеспечивает измельчение опилок до древесной муки с получением высокого значения коэффициента формы древесного волокна – 4 [3].

Помол дробленого стекла проводили до размера частиц с удельной поверхностью 4000 см²/г совместно с коксом, глиной и древесными опилками. Полученная шихта затворялась водой. После достижения требуемой пластичности, из шихтовой массы влажностью 10 - 15% формовались гранулы размером 5 -10 мм.

При максимальной температуре 830-850 °С средняя плотность гранул, независимо от типа печи, составила. 260 - 280 кг/м³. Установлено, совместное присутствие воды и углерода при

максимальных температурах ведёт к взаимной реакции с образованием водяного газа.

На (рисунке 1) изображена гистограмма распределения пор гранул пеностеклокерамики состава: бой стекла, кокс, глина красная, древесные опилки.

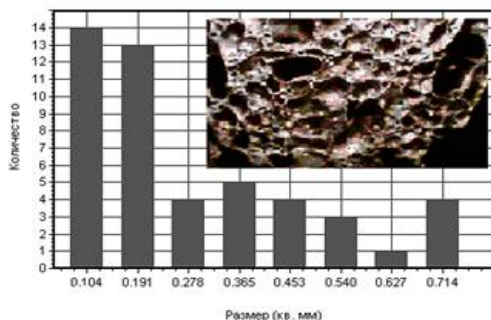


Рис. 1 Гистограмма распределения пор по количеству и размерам

В результате синтеза в гранулах данной композиции наблюдается наличие достаточно большого количества малых пор (31 пора на 1 мм^2) размером - $0,104 - 0,278 \text{ мм}^2$ и относительно больших пор размером $0,311 - 0,608 \text{ мм}^2$ (17 пор на 1 мм^2), но они разрознены и находятся в окружении малых пор. Перегородки в гранулах обладают высокой прочностью, так как они в большей степени насыщены легкоплавкой глиной и меньшим количеством углерода. В результате механическая прочность гранул на сжатие составила - $1,74 \text{ МПа}$. Увеличение количества пор и изменение их размеров способствовало увеличению насыпной плотности до $260-280 \text{ кг/м}^3$.

Коэффициент теплопроводности изделий составил $0,075 \text{ Вт/м} \cdot \text{°C}$. Образцы имеют внутри серый цвет и на поверхности серо-коричневый (рисунок 2).

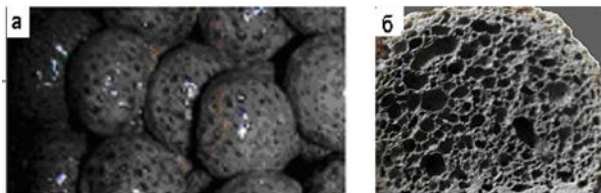


Рис. 2 Гранулы пеностеклокерамики: а – гранулы диаметром 8 – 10 мм; б – шлиф гранулы

Результаты исследования дают возможность предполагать, что гранулированную пеностеклокерамику можно применять как теплоизоляционный материал для утепления межэтажных и чердачных перекрытий, ограждающих конструкций, тепловых установок и сетей [4,5].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Способ изготовления пеностеклокерамики. Патент РФ № 2374191. [Электронный ресурс]: электронная версия. URL: <https://patents.google.com/patent/RU2374191C2/ru> (дата обращения: 20.10.2022).

2. Демидович Б.К.. Производство и применение пеностекла /Б.К. Демидович. – Минск: Наука и техника, 1972. – 304 с.: ил. – Библиогр.: с. 291-299.

3. В.Н.Соков. О потенциальных возможностях способа выгорающих добавок при производстве теплоизоляционных огнеупоров//Огнеупоры.-1994.-№7. С. 17—25. (дата обращения: 17.10.2022).

4. Технология переработки кремнезем и стеклосодержащего силикатного сырья с целью получения теплоизоляционно-конструкционного материала – пеностекла. [Электронный ресурс]: электронная версия. URL: <http://www.futurible.space/en/winners/85/> (дата обращения: 25.10.2022).

5. Пеностекло. Стеклобой. Теплоизоляционный материал - гранулированное пеностекло. [Электронный ресурс]: электронная версия. URL: <https://www.penosytal.com/pub16.html> (дата обращения: 11.10.2022).