

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»

*Национальная конференция с международным участием*  
**Международная научно-техническая  
конференция молодых ученых  
БГТУ им. В.Г. Шухова,  
посвященная 300-летию Российской академии наук**



*Сборник докладов*

*Часть 4*

***Проблемы строительного материаловедения.  
Наноматериалы и нанотехнологии***

Белгород  
18- 20 мая 2022 г.

УДК 005.745

ББК 72.5

М 43

М 43

**Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, посвященная 300-летию Российской академии наук: эл. сборник докладов [Электронный ресурс]: Белгород: БГТУ, 2022. – Ч. 4. – 186 с.**

ISBN 978-5-361-01020-2

В сборнике опубликованы доклады студентов, аспирантов и молодых ученых, представленные по результатам проведения Национальной конференции с международным участием «Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова», посвященная 300-летию Российской академии наук.

Материалы статей могут быть использованы студентами, магистрантами, аспирантами и молодыми учеными, занимающимися вопросами проблем строительного материаловедения, наноматериалами и нанотехнологиями, а также в учебном процессе университета.

УДК 005.745

ББК 72.5

**ISBN 978-5-361-01020-2**

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

## Оглавление

Андреева К.В., Бахаева Ю.В.

INCREDIBLE FUTURISTIC CITIES ..... 8

Бондаренко Д.О.

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СОЗДАНИЯ ЗАЩИТНО-  
ДЕКОРАТИВНЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ  
МАТЕРИАЛОВ ..... 13

Войтенко О.Н., Кукин А.С.

КОРРЕЛЯЦИЯ ФАКТОРА УСТОЙЧИВОСТИ БИТУМНОЙ  
ЭМУЛЬСИИ С ПОКАЗАТЕЛЯМИ ВОДНОЙ ФАЗЫ,  
ОЦЕНИВАЕМЫМИ НА СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ  
СОСТАВА ..... 17

Гасанова Т.П., Айыдов Д.Н., Мельник Е.И.

АРМИРУЮЩИЕ ДОБАВКИ ДЛЯ МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ  
КОМПОЗИТОВ ..... 24

Гетманов С.Н.

ИЗУЧЕНИЕ ЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ ЛАКОКРАСОЧНЫХ И  
ПРОПИТОЧНЫХ СОСТАВОВ НА ДЕРЕВЯННОЙ  
ПОВЕРХНОСТИ ..... 27

Голец А.А., Есина А.Ю., Потапов Д.Ю.

ВИДЫ АЛКИДНЫХ СМОЛ И ОБЛАСТИ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ..... 30

Домарев С.Н., Калатози Г.М.

ОЦЕНКА КОНСТРУКТИВНОЙ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ  
ЗАЩИЩЕННОСТИ ЗДАНИЙ ИЗ ПЕНОБЕТОНА ..... 35

Домарев С.Н., Калатози Г.М.

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА  
ЗВУКОПОГЛОЩЕНИЯ В ПЕНОБЕТОНЕ ..... 41

Дудченко В.А.<sup>1</sup>, Цаль-Цалко А.С.<sup>2</sup>

ПРОИЗВОДСТВО СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЛИНИСТЫХ СЛАНЦЕВ, АРГИЛЛИТОВЫХ ГЛИН, КРЕМНЕЗЕМИСТОГО И ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ .....	46
Дудченко В.А. <sup>1</sup> , Цаль-Цалко А.С. <sup>2</sup>	
ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ ФИЗИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ, КОНСТРУКЦИЙ, ЗДАНИЙ, СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ И ВЛИЯЮЩИХ НА НИХ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ .....	50
Ермакова Е.Г., Чалый А.В.	
АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ УКРЕПЛЕНИЯ ГРУНТОВ В СОВРЕМЕННОМ ФУНДАМЕНТОСТРОЕНИИ .....	55
Золотарева С.В.	
СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К РАЗРАБОТКЕ СОСТАВОВ СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ .....	60
Иванюк Д.М., Бабешко А.В.	
ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПЕНОБЕТОНА НА КГВ В ЗД-АДДИТИВНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ .....	67
Игнатова М.С., Игнатов Е.Н.	
БИОЦИДНЫЕ РАСТВОРЫ НА ОСНОВЕ СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ ДЛЯ СОХРАНЕНИЯ ДЕРЕВЯННЫХ ЗДАНИЙ.....	72
Кикалишвили Д.Г.	
АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА МИНЕРАЛЬНОЙ ВАТЫ .....	77
Кириченко Д.Е., Свинцова Т.В., Чуриков А.С., Охрименко С.А.	
ПРОБЛЕМЫ ХРАНЕНИЯ, ПЕРЕВОЗКИ И ЗАХОРОНЕНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ .....	81
Литовка В.А., Барашков И.А., Шахова А.В.	
ВТОРИЧНАЯ ПЕРЕРАБОТКА БУМАГИ .....	85
Мамедов Э.И., Сапп А.	

ИК-СПЕКТРОСКОПИЯ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ЦИТРУСОВОГО ПЕКТИНА И ИОНОВ МЕДИ И ЖЕЛЕЗА .....	89
Могутова А.А.	
РАДИАЦИОННО-ЗАЩИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ПОЛИМЕРНОЙ ОСНОВЕ .....	92
Могутова А.А., Пилавиду Е.О, Солгалов В.В. Матвеевко Д.С.	
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ГИДРИДА ТИТАНА В ПРИСУТСТВИИ ОЛЕИНОВОЙ КИСЛОТЫ .....	97
Моторыкин Д.А., Гуляев М.А., Ильин Р.О.	
РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУРЫ БЫСТРОТВЕРДЕЮЩЕГО ВЯЖУЩЕГО ДЛЯ ФАСАДНОЙ ПЛИТКИ .....	101
Нецвет Д.Д., Серенко Д.О., Сивальнев К.С.	
РЕГУЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МОДИФИЦИРОВАННЫХ ЦЕМЕНТНЫХ СИСТЕМ БЕЗВОДНЫМ СУЛЬФАТОМ КАЛЬЦИЯ .....	104
Омарова Л.А.	
ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ИСКУССТВЕННОЙ КЕРАМИЧЕСКОЙ ВЯЖУЩЕЙ СУСПЕНЗИИ НА ОСНОВЕ НЕФЕЛИНОВЫХ ХВОСТОВ.....	109
Отман Азми С.А, Коваленко Е.В., Шпаковская Д.В.	
РАЗРАБОТКА СОСТАВА КОМПОЗИЦИОННОГО ГИПСОВОГО ВЯЖУЩЕГО ДЛЯ СУХОЙ ШТУКАТУРНОЙ СМЕСИ .....	114
Полиенко И.А., Найман А.С.	
ТИТАН И ЕГО СОЕДИНЕНИЯ: ПРИМЕНЕНИЕ В СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛАХ .....	117
Примаков Д.Д.	
ПЕСОК КАК ОГРАНИЧЕННЫЙ ПРИРОДНЫЙ РЕСУРС .....	122
Присяжнюк А.П.	
МЕЛКОЗЕРНИСТЫЙ БЕТОН НА ОСНОВЕ СТЕКЛОЩЕЛОЧНОГО ВЯЖУЩЕГО .....	125

Присяжнюк А.П.	
РАЗРАБОТКА СОСТАВА И ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ СТЕКЛОЩЕЛОЧНОГО ВЯЖУЩЕГО .....	128
Сарр А., Мамедов Э.И.	
ОПТИЧЕСКАЯ МИКРОСКОПИЯ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ЦИТРУСОВОГО ПЕКТИНА И ИОНОВ ЖЕЛЕЗА.....	133
Свинцова Т.В., Кириченко Д.Е., Чуриков А.С.	
ПРЕССОВАННЫЕ БЕТОНЫ НА КОМПОЗИЦИОННЫХ ВЯЖУЩИХ ДЛЯ АРХИТЕКТУРНЫХ ИЗДЕЛИЙ.....	136
Себелева Н.Ю., Губарева Е.Н., Неровная С.В.	
К ВОПРОСУ О РАЗМЕРНОМ ФАКТОРЕ ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКИХ КОМПОЗИТОВ НА КАРБОНАТНОМ НОСИТЕЛЕ .....	140
Сироткина Е.А.	
ПРОБЛЕМЫ СТРОИТЕЛЬНОГО МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ. НАНОМАТЕРИАЛЫ И НАНОТЕХНОЛОГИИ.....	144
Сытов Г.А., Рыжих В.Д., Рыжих Д.А., Сумской Д.А.	
ШЛАКОЩЕЛОЧНЫЕ ВЯЖУЩИЕ С ДОБАВКАМИ МОЛОТОГО БОЯ КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА .....	148
Тесля А.Ю., Кожухова М.И., Мануйлова А.И., Левицкая К.М.	
ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ВИДА ФОРМ НА ФИЗИКО- МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГЕОПОЛИМЕРНОГО ВЯЖУЩЕГО .....	152
Фаустова С.А.	
ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ И СРАВНЕНИЕ ОПЫТА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НАНОМАТЕРИАЛОВ В РФ И ЗАРУБЕЖОМ .....	157
Фаустова С.А.	

СОВРЕМЕННЫЕ ВОПРОСЫ ОЦЕНКИ НЕГАТИВНОГО ВЛИЯНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НАНОТЕХНОЛОГИЙ В ПЕРСПЕКТИВНЫХ ОБЛАСТЯХ ИССЛЕДОВАНИИ .....	160
Холопов В.С.	
ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ ОСТАТОЧНОЙ ПОРИСТОСТИ АСФАЛЬТОБЕТОНА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕМПЕРАТУРОПОНИЖАЮЩЕЙ ДОБАВКИ ДАД ТА.....	163
Чернуха Д.Г.	
МЕТОДИКА ПРИГОТОВЛЕНИЯ И ИСПЫТАНИЯ ГРАНУЛИРОВАННОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА ИЛИ КОМПОЗИЦИОННОГО ВЯЖУЩЕГО .....	167
Шеремет А.А., Богун Н.В., Охрименко С.А.	
ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КРУПНОПОРИСТОГО КЕРАМЗИТОБЕТОНА В 3D-АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ	171
Шрейдер И.В., Куликов Д.Е., Верхошанский Я.Ю., Ткачев Д.А.	
ИССЛЕДОВАНИЕ ГЛИНЫ КОРНИЛОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ.....	176
Щекина Н.А.	
ФИБРОБЕТОНЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ .....	182

**УДК 693.98**

***Андреева К.В., Бахаева Ю.В.***

***Научный руководитель: Колосова Э.Р., ст. преп.***

*Белгородский государственный технологический университет*

*им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## **INCREDIBLE FUTURISTIC CITIES**

In recent years traditional and aging city designs are beginning to struggle to support everyone that relies on them, and this means planets are going back to the drawing board to develop urban spaces of the future by incorporating the latest technologies and reducing the overall environmental impact. Let's consider some incredible futuristic cities that are planned to be built by 2050 according to some investigations.

### **NET CITY IN CHINA**

Tencent is China's answer to Google, having dominated the country's online space for years. (Tencent Holdings Ltd., also known as Tencent (Chinese: 腾讯), is a Chinese multinational technology and entertainment conglomerate and holding company headquartered in Shenzhen. It is one of the highest grossing multimedia companies in the world based on revenue).



Fig. 1. Net City, China

Just like its American counterpart it has generated a huge fortune but is now being reinvested into developing technologies and ideas for the future. One of which is net City - a space that will begin as a futuristic city campus for the company's employees. Located on 320 acres of empty space in Shenzhen China work is already underway to build net city and the plan is for the first people to be able to move in by 2027.

The size of midtown Manhattan the company will of course benefit from having its employees so close to where they work. But the idea is far wider than just that, with the hope that it'll provide a blueprint for future urban designs around the world. At the center of the development there will be new corporate offices for the company. But surrounding these will be everything residents need for a fulfilled lifestyle. There will be homes schools, recreational areas and stores all of which will be arranged in a way that makes them easily accessible by foot or public transport with no need at all for personal transportation like cars [1].

The significantly reduced pollution will maintain a much higher air quality than any other urban environment and this will be taken a step further by the inclusion of grass-covered rooftops. On every building and systems that will collect water for use by residents while at the same time managing the runoff and preventing flooding. Green energy will make up the vast majority of the city's power requirements too with the intent being that the entire place will be carbon neutral. If this project proves to be successful, we could well see large companies following in their footsteps and building cities of their own which would completely change the way we see our work and home life balance.

#### WOVEN CITY IN JAPAN

With cities around the world looking for new technologies to help reduce pollution and increase efficiency and living conditions, companies are developing new ways to test their designs in a real-world setting. Toyota is currently building woven city which is being envisaged as a prototype city that will be used to prove the viability of new ideas before they are deployed elsewhere, covering an area of 175 acres on the former site of a car manufacturing facility and at the base of mount Fuji the city will be able to house up to 2000 people most of whom will be Toyota employees.



Fig. 2. Woven City, Japan

Everything will be powered by hydrogen fuel technology, and it'll be there that the company tests new autonomous vehicles smart home technologies robotics and other creations making it the most futuristic city in

the world. One of the cleverest parts of the city is that it will use three different types of street or pathway that are woven together [2]. The first type of street will be solely for fast vehicles, the second - will be for slower ones like mobility scooters bicycles scooters and pedestrians, while the third type will be like promenades which can only be used by pedestrians. Due to be ready within the next few years woven city will show how a changed view towards urban planning in combination with new advances with technology will completely change the way we look at cities and what life in them should be like.

#### ECO-ATLANTIC CITY IN NIGERIA

The city of Lagos in Nigeria is one of the fastest expanding urban areas in the world and planets have been looking for ways to redesign regions fit for the future, while at the same time helping to preserve what's already there. Eco Atlantic city is one of the most ambitious developments taking place anywhere on earth and will create an incredible space to supercharge the local economy for decades to come.

Covering an area of almost four-square miles the entire city is actually being built on a newly created peninsula attached to the Victoria Island district of Lagos, which has required millions of cubic yards worth of materials and tens of thousands of tons worth of rocks to be reclaimed from the Atlantic to form it surrounded by a five-mile wall. Designed to protect the land from being eroded by the ocean, its presence is also expected to slow down erosion further along the coast which will protect other parts of Lagos too.

Split into 10 separate districts once its complete eco-Atlantic city is expected to be home to a quarter of a million residents, most of whom will commute into Lagos each day for work. All structures will be built with environmental standards in mind with the plan being that the power usage will be provided by green sources on the peninsula itself. In fact, there are hopes that it will also become a tourist destination in its own right.

#### AKON CITY IN SENEGAL

It takes a visionary to get an ambitious project off the ground and in the case of acorn city in Senegal the man behind the plan is none other than acorn, the internationally renowned recording artist and entrepreneur. According to the man himself the idea for the city was inspired by the Black Panther movie. And this is his attempt to create a real life Wakanda plan to cover an area of 2000 acres around 62 miles from Dakar [4].



Fig. 3. Akon City, Senegal

Thus it'll be a mixed-use development comprised of huge skyscrapers, shopping malls, tourist resorts, entertainment venues, a technology hub, and a large music recording complex. With an estimated price tag of six billion dollars, all energy that's used will be derived from green sources, and the hope is that it'll massively stimulate the local economy. The buildings will all have an otherworldly aesthetic, with sketches showing they'll look like they've come straight out of a sci-fi movie.

#### STARBASE IN TEXAS

Cities of the past were built around sources of natural resources such as rivers or important structures like churches, and it's likely that the cities of the future will follow this principle too, although around more modern structures. Starbase in Texas will become one of the best-connected places in our solar system, because at the center will be the main launch facility being operated by SpaceX. The rocket launch base has already been constructed in Boca Chica village at the southern tip of Texas, and Elon Musk hopes that the presence of his company will encourage the place to regenerate and expand around it.



Fig. 4. Starbase, Texas

Creating the world's premier technology center with access to outer space as well as fast connections with elsewhere around the world. It goes without saying, that to do this will require a huge investment in infrastructure, thus Musk has already committed to developing a public water provision system and the development of a natural gas plant, as well as overcoming local resistance to his grand plans. While starbase may well be a pipe dream right now the billionaire visionary shouldn't ever be counted out and if anyone's able to create a spaceport city then it surely will be him.

#### NEOM IN SAUDI ARABIA

In fact, we normally think of cities as being huge developments based around a central point. But what if we completely rethought this idea and built them in a linear fashion instead. That's exactly what's happening with Neom. A 500 billion cross-border project that's underway in eastern Saudi Arabia at its core will be a 105-mile-long linear city that will become home to a million residents around which the rest of the city will be built [5].

Moreover, no cars will be used there with a green energy mass transit system being the main means of moving people around. And the plan is that every daily service needed by residents will be accessible within five minutes walking distance from where they live. It'll be powered by green hydrogen energy plants be designed to conserve energy as much as possible and will focus on being a hub for international companies to drive further investment in the region. To make this possible huge advance in technology is needed such as faster trains that will run underground and an artificial intelligence system that will be used to monitor what's happening in the city to react to developing issues and improve overall efficiency.

Finally, could you imagine yourself living in any of these cities within the next few decades and do you have any predictions of your own about what the future of urban spaces will be like? Nobody can accurately predict the future of urban space developments, but it is obviously clear that the world during the next 10-20 years will be radically transformed from our world today.

#### REFERENCES

1. Anderson, Paul F. "A Great Big Beautiful Tomorrow: Walt Disney & World's Fairs". *Persistence of Vision*. 6/7: 117–118.
2. ."2016-2017 Program Handbook | Future City Competition". [futurecity.org](http://futurecity.org). Archived from the original on 2016-07-25.
3. Лесовик В.С., Елистраткин М.Ю., Глаголев Е.С., Шаталова С.В., Старииков М.С. Формирование свойств композиций для строительной

печати // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2017. №10. С. 6-14.

4. <https://www.standard.co.uk/insider/alist/akon-has-started-building-akon-city-in-senegal-with-focus-on-cryptocurrency-and-renewable-energy-a4297966.html>

5. <https://www.nationalgeographic.co.uk/cities-of-the-future>

*УДК 691.3:620.197*

*Бондаренко Д.О., канд. техн. наук*

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

*Белгородский государственный технологический университет*

*им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## **ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СОЗДАНИЯ ЗАЩИТНО-ДЕКОРАТИВНЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

На сегодняшний день существует многообразие вариантов и технологических приёмов для создания защитно-декоративных покрытий на строительных материалах [1–3]. Технологии отделки строительных материалов можно разделить на ряд самостоятельных подгрупп (рисунок 1) [4, 5].

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. Кроме того, указанные покрытия требуют постоянного обновления ввиду низкой долговечности, а также в процессе эксплуатации и старения могут оказывать негативное воздействие на окружающую среду. Для решения указанных проблем представляет интерес использование плазменных технологий для формирования высококачественных полифункциональных покрытий, придающих изделиям несвойственные эксплуатационные свойства [6–9]. В качестве высокотемпературного источника тепла на современных предприятиях используют газопламенные горелки, различные виды плазмотронов и др. Являясь альтернативой менее долговечным и более дорогостоящим

лакокрасочным покрытиям, и декоративным штукатуркам, плазменные технологии развиваются в направлениях совершенствования оборудования для плазменной обработки, расширения спектра материалов, подвергаемых оплавлению, а также подбора рациональных составов поверхностных слоев композитов.



Рис. 1. Технологии отделки строительных материалов

Традиционные технологии получения защитно-декоративных покрытий на бетоне, керамике, композиционных и силикатных материалах предусматривают длительные во времени и энергоёмкие технологические операции подготовки и нанесения шликера, подстилочного слоя и термическую обработку в экранных, шелевых и туннельных печах.

Плазмохимическое модифицирование поверхности различных строительных материалов позволяет не только значительно сократить технологический цикл, но и снизить энергозатраты, что в конечном итоге позволяет получить конкурентоспособную продукцию. При плазменном оплавлении материалов и изделий образуется высококачественный лицевой слой, а стоимость такой отделки существенно ниже, чем при использовании традиционной технологии. Так, стоимость отделочных работ бетонных конструкций плазменной струёй в 7–9 раз ниже традиционный облицовки зданий и сооружений керамической плиткой [1, 2, 5].

Анализ средней стоимости отделки фасадов зданий за последнее десятилетие также подтверждает экономическую целесообразность применения плазменных технологий для повышения архитектурной выразительности строительных материалов (рисунок 2).



Рис. 2. Стоимость отделки фасадов зданий

Таким образом, адаптация различных высокотемпературных (2000–6000 °С) методов создания покрытий (плазмохимическое оплавление, детонационное напыление, металлизация) в технологии производства строительных материалов и изделий с учетом их состава, структурных особенностей и условий эксплуатации обеспечит разработку высокоэффективных функциональных композитов, использование которых при проектировании зданий и сооружений позволит повысить их архитектурную выразительность, надежность и долговечность при различных параметрах внешней среды. Всё это даст

возможность не только расширить спектр материалов строительного и специального назначения, но и создать условия для оптимального функционирования системы «человек – материал – среда обитания».

*Работа выполнена в рамках реализации Стипендии Президента РФ СП-3948.2021.1.*

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИ СПИСОК

1. Баженов Ю.М., Федосов С.В., Щепочкина Ю.А., Акулова М.В. Высокотемпературная отделка бетона стекловидными покрытиями. М.: Изд-во АСВ, 2005. 128 с.

2. Федосов С.В., Акулова М.В., Щепочкина Ю.А., Подлозный Э.Д., Науменко Н.Н. Плазменное оплавление строительных композитов. М.: Изд-во АСВ; Иваново: ИГАСУ, 2009. 228 с.

3. 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.

4. Бессмертный В.С., Бондаренко Н.И., Борисов И.Н., Бондаренко Д.О. Получение защитно-декоративных покрытий на стеновых материалах методом плазменного оплавления. Белгород: Изд-во БГТУ, 2014. 104 с.

5. Агапова Т.В., Ливинский А.М., Новацкий А.А. Индустриальные методы отделки зданий. М.: Стройиздат, 1979. 220 с.

6. 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.

7. 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.

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. Bondarenko D.O., Strokova 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. Article number 01214.

УДК 691.163

*Войтенко О.Н., Кукин А.С.*

*Научный руководитель: Коротков А.В., начальник управления разработки технологий и контроля качества*

*ООО «Газпромнефть - БМ», Санкт-Петербург, Россия*

## **КОРРЕЛЯЦИЯ ФАКТОРА УСТОЙЧИВОСТИ БИТУМНОЙ ЭМУЛЬСИИ С ПОКАЗАТЕЛЯМИ ВОДНОЙ ФАЗЫ, ОЦЕНИВАЕМЫМИ НА СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СОСТАВА**

Дорожная битумная эмульсия – это сложная коллоидная система, состоящая из дисперсной фазы, несмешивающейся и распределенной в дисперсионной среде, равновесие фаз в которой достигается посредством использования эмульгаторов или ПАВ.

Зачастую, битумные эмульсии являются лиофобными термодинамически (агрегативно) неустойчивыми [1] системами, для которых характерно ограниченное время существования с относительно высокими показателями межфазного натяжения. Неустойчивость битумной коллоидной системы проявляется в виде коалесценции с последующей сидементацией дисперсной фазы - битума.

Известно, что регулятором агрегативной устойчивости эмульсий является ПАВ [1]. В соответствии с правилом Банкрофта [2], в дорожном строительстве преобладает производство и использование прямых эмульсий, в которых вода выступает дисперсионной средой, так как является лучшим растворителем для ПАВ, чем битум. Таким образом, целенаправленно варьируя природой и концентрацией эмульгатора в водной среде, возможно понижение межфазного поверхностного натяжения в требуемом диапазоне за счёт адсорбции молекул ПАВ на межфазной границе системы «вода – битум» и, как следствие, формирование устойчивых и стабильных битумных эмульсий.

В соответствии с рекомендациями ГОСТ Р 58952.1 – 2020, содержание битума в битумной эмульсии в зависимости от её марки и области применения строго регламентируется и имеет незначительный вариативный интервал. Таким образом, основополагающим фактором при подборе состава устойчивых и стабильных битумных эмульсий, с рецептурной точки зрения, становится выбор эмульгатора и его эффективная концентрация в составе водной фазы. Можно предположить, что, выявив корреляционную зависимость между

характеристиками водной фазы и свойствами эмульсий, приготовленных на её основе, возможно сократить время лабораторных подборов, включающее работу оборудования и человеческий ресурс, а также получить инструмент для прогнозирования устойчивости и стабильности товарных битумных эмульсий.

В связи с чем, целью работы было установление корреляции между показателями свойств водной фазы с различным содержанием эмульгатора и устойчивостью получаемой битумной эмульсии.

За критерии оценки эффективности и оптимальности содержания эмульгатора в водной фазе принимались показатели: поверхностного натяжения систем и краевого угол смачивания.

Испытания по изучению влияния концентрации эмульгаторов на поверхностное натяжение выполнялись на приборе “Lauda TVT 2”. Суть метода заключается в измерении объёма капель при их падении с дозирующего капилляра. Измерение капель с точностью до микролитра обеспечивает высокую точность и воспроизводимость результатов измерения величин поверхностного или межфазного натяжения.

Изучение краевого угла смачивания выполнялось метод «растекающейся капли». На основе данных по высоте и ширине капли, полученных экспериментальным путём, рассчитывались углы смачивания водных фаз. Изображения капель фиксировалось при помощи цифровой фотокамеры.

На основе предварительно изученных водных фаз изготавливались битумные эмульсии, которые оценивались на предмет устойчивости сформированной структуры для выявления корреляции между характеристиками водных фаз и готовых эмульсий.

В качестве оценочного теста на устойчивость эмульсий использовалась методика, предложенная в работе [3], по определению фактора устойчивости битумных эмульсий. Смысл испытания сводится к определению отношения количества битума в подвижном слое коллоидной системы до и после центрифугирования. Определяется этот показатель по формуле:

$$\Phi = \frac{M_1}{M_2}, \quad (1)$$

где  $M_1$  - содержание битума в слое битумной эмульсии после центрифугирования, % мас;

$M_2$  - содержание битума в исходной эмульсии до центрифугирования, % мас.;

В качестве объектов исследования рассматривались катионные эмульгаторы производства Nouryon: REDICOTE E-11 и REDICOTE EM-44. REDICOTE EM-44 – жидкий эмульгатор для катионных битумных эмульсий с быстрой и средней скоростью распада, выполняет также функцию адгезионной добавки. Рекомендуемая производителем концентрация для быстрораспадающихся систем (0,12-0,25) %, для среднераспадающихся (0,25-0,6) %. REDICOTE E-11 - жидкий эмульгатор для катионных эмульсий с медленной скоростью распада. Рекомендуемая концентрация (0,6-1,5) %. В основу добавок REDICOTE положены полиамины [4].

Также в работе для подтверждения установленных зависимостей использовался отечественный эмульгатор компании Селена «Эмбит - БС». Это жидкий эмульгатор для катионных битумных эмульсий.

В соответствии с заявлениями производителя [5], на основе «Эмбит - БС», варьируя концентрацией (0,15-1,5) %, можно получить эмульсии различных классов устойчивых во времени. В работе был сделан акцент на получение эмульсии класса ЭБДК М с рекомендациями по содержанию эмульгатора (0,9-1,5) %. В качестве сырьевых компонентов в эмульгаторе используются производные алкилполиаминоамидов и имидазолинов, полученные на основе растительного сырья.

Для приготовления битумных эмульсий использовался битум марки БНД 100/130, с показателями, представленными в (таблице 1).

Таблица 1 – Показатели свойств битума

Наименование показателя	Требования ГОСТ 33133	Фактическое значение
Глубина проникания иглы, 0,1 мм: при 25 °С при 0 °С	101-130 не менее 30	110 30
Температура размягчения по кольцу и шару, °С	не ниже 45	45
Растяжимость, см: при 25 °С при 0 °С	не менее 70 не менее 4,0	96 5,0
Температура хрупкости, °С	не выше -20	-26
Температура вспышки, °С	не ниже 230	246
Изменение температуры размягчения после прогрева, °С	не более 7	5
Индекс пенетрации	от -1,0 до +1,0	0,8

На начальном этапе были приготовлены и изучены водные фазы с использованием указанных эмульгаторов в диапазоне рекомендуемых производителями концентраций. Результаты представлены в (таблице 2).

Полученные водные фазы в дальнейшем подверглись исследованию для выявления закономерностей влияния концентраций эмульгаторов в их составе на показатели поверхностного натяжения систем и краевого угла смачивания, (таблица 3). Также с их использованием были приготовлены образцы битумных эмульсий.

Краевой угол смачивания является характеристикой гидрофильности или гидрофобности поверхности, а также служит характеристикой адсорбции, протекающей при контакте водной фазы и минеральной подложки. Такой контакт может сопровождаться химическим взаимодействием жидкостей и минералов, ионным обменом, а также растворением и электрокинетическими явлениями [6]. Учитывая важность в оценке краевого угла смачивания характеристик и природы подложки, на которую осаждается капля водной фазы, было принято решение использовать стеклянную пластину.

Таблица 2 – Составы водной фазы для битумных эмульсий

Вид эмульгатора											
REDICOTE E-11			REDICOTE EM-44			Эмбит - БС					
№ состав	содержание, %		РН водной фазы	№ состав	содержание, %		РН водной фазы	№ состава	содержание, %		РН водной фазы
	эмульгатор	кислота			эмульгатор	кислота			эмульгатор	кислота	
1	0,15	0,07	4,21	9	0,10	0,13	2,08	17	0,75	0,08	2,20
2	0,20	0,07	4,19	10	0,15	0,16	2,08	18	0,90	0,09	2,21
3	0,25	0,08	4,14	11	0,25	0,20	2,05	19	1,00	0,09	2,16

4	0,60	0,10	4,04	12	0,30	0,21	2,07	20	1,15	0,10	2,14
5	0,80	0,08	4,16	13	0,40	0,48	2,05	21	1,30	0,07	2,16
6	1,00	0,08	4,15	14	0,50	0,60	2,00	22	1,40	0,08	2,18
7	1,30	0,08	4,10	15	0,60	0,69	1,90	23	1,51	0,09	2,15
8	1,51	0,09	4,19	16	0,80	0,91	1,93	24	1,60	0,09	2,17

Примечание: составы №1-12 и 17-24 приготовлены с использованием соляной кислоты (HCl) составы №13-16 – с использованием ортофосфорной кислоты(H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>)

Таблица 3 – Характеристики водных фаз

Вид эмульгатора								
REDICOTE E-11			REDICOTE EM-44			Эмбит - БС		
№ состав а	поверхностное натяжение, мН/м	угол смачивания	№ состав а	поверхностное натяжение, мН/м	угол смачивания	№ состав а	поверхностное натяжение, мН/м	угол смачивания
хол.ход	73,1	69	хол.ход	73,1	69	хол.ход	73,1	69
1	52,4	50	9	65,0	57	17	47,6	54
2	47,6	49	10	57,4	51	18	46,3	48
3	49,1	50	11	54,1	54	19	44,9	44
4	45,7	45	12	40,9	55	20	43,2	37
5	46,6	48	13	35,4	50	21	44,0	38
6	41,5	30	14	38,8	52	22	46,1	42
7	42,1	31	15	36,9	50	23	46,6	42
8	43,0	35	16	38,3	54	24	46,1	39

Полученные данные, (таблица 3), согласуются с результатами, полученными в исследованиях [7,8]. Как видно, эффективность смачивающего действия водной фазы в зависимости от концентрации

эмульгатора коррелирует с показателями поверхностного натяжения соответствующих растворов. Более того, изотермы поверхностного натяжения водной фазы при температуре 20 °С демонстрируют, что существуют интервалы концентраций ПАВ, для которых наблюдается выход показателя поверхностного натяжения на малое плато, которому соответствует минимум краевого угла смачивания водной фазы. Другими словами, по совокупности характеристик такие растворы можно назвать – эффективными. По Ребиндеру [9], наиболее универсальный фактор устойчивости дисперсных систем сводится к эмульгаторам, которые должны обладать одновременно поверхностной активностью и способностью образовывать устойчивые структурированные коллоидно-адсорбционные слои. Таким образом, можно предположить, что, используя водные фазы с минимальными показателями поверхностного натяжения и краевого угла смачивания, возможно получить устойчивые битумные эмульсии.

Согласно Пескову Н.П. [10], под агрегативной устойчивостью понимают способность коллоидной системы сохранять во времени дисперсный состав. Для подтверждения выдвинутого предположения были выборочно приготовлены битумные эмульсии и выполнено их тестирование по оценке фактора устойчивости. Результаты представлены в (таблице 4).

Таблица 4 - Фактор устойчивости полученных образцов эмульсий

Вид эмульгатора					
REDICOTE E-11		REDICOTE EM-44		Эмбит - БС	
№ состав	фактор устойчивост	№ состав	фактор устойчивост	№ состав	фактор устойчивост
а	и	а	и	а	и
3	0,72	11	0,79	18	0,77
4	0,88	12	0,84	19	0,85
5	0,88	13	0,98	20	0,99
6	0,98	14	0,73	21	0,98
7	0,97	15	0,98	22	0,82
8	0,86	16	0,87	-	-

Из исследований [3] следует, чем больше фактор устойчивости, тем более устойчивой считается эмульсия. Как видно, наибольшим фактором устойчивости систем характеризуются у образцов битумных эмульсий, приготовленных на водных фазах, отмеченных ранее как эффективные. Агрегативная устойчивость битумных эмульсий, прежде всего связана с протеканием в системе процессов флокуляции и коалесценции, очевидно, что эффективные растворы

«вода - эмульгатор» препятствуют запуску этих процессов, сохраняя структуру эмульсий стабильной.

Таким образом, выполненные исследования демонстрируют корреляцию фактора устойчивости битумных эмульсий с характеристиками водной фазы такими как поверхностное натяжение и краевой угол смачивания, а также возможность прогнозирования устойчивости и стабильности составов на стадии их проектирования по экспресс тестам водных фаз.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. The Shell Bitumen Handbook. - Chertsey, Surrey [England]: Shell Bitumen U.K. UK.1990. 344 p.
2. Зимон А.Д. Коллоидная химия. – М.: Агар, 2001. 320 с.
3. Гуреев А.А., Нгуен Х.А., Губенков А.А. Разработка экспресс-методики оценки устойчивости битумных эмульсий // Мир нефтепродуктов. № 2010. С. 8-11.
4. Эмульгаторы для ЭБК [Электронный ресурс] // "Эмульсионно-битумные технологии". URL: [http://emulbittech.ru/deystvie\\_emulgatora](http://emulbittech.ru/deystvie_emulgatora).
5. О Эмульгаторы битумных эмульсий «Эмбит» [Электронный ресурс] // ООО «Селена». URL: <https://www.npfselena.ru/>
6. Холмберг К., Йёнсон Б., Кронберг Б., Линдман Б. Поверхностно-активные вещества и полимеры в водных растворах. Пер. с англ. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. – 528 с.
7. Богданова Ю.Г., Должикова В.Д., Сумм Б.Д. Влияние химической природы компонентов на смачивающее действие растворов смесей ПАВ // Сер.2. Химия. 2004. Т. 45. №3. С. 186 – 194.
8. Vysotskaya M.A., Korotkov A.V. Optimization of provide compositions bitumen emulsions, for example the cationic emulsifier // Applied Mechanics and Materials. Vols. 725-726. P. 517-522.
9. Щукин Е.Д. Развитие учения П.А. Ребиндера о факторах сильной стабилизации дисперсных систем. Коллоидный журнал, 1997, Т.59, №2. – С. 270 -284.
10. Bibette J., Leal-Calderon F., Schmitt V., Poulin P. Emulsion Science. Basic Principles. An. Overview // S. Springer Tracts in modern physics. 2002. Vol. 181. 140 p.

*Гасанова Т.П., Айыдов Д.Н., Мельник Е.И.  
Научный руководитель: Богусевич Г.Г., канд. техн. наук, доц.  
Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## **АРМИРУЮЩИЕ ДОБАВКИ ДЛЯ МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ КОМПОЗИТОВ**

В современном строительстве расширяется использование мелкозернистых бетонов и растворов, ужесточаются условия их эксплуатации, что требует качественного улучшения технологических свойств бетонных и растворных смесей и надежного обеспечения физико-механических, деформационных и эксплуатационных показателей готовых композитов. Мировой опыт свидетельствует, что перспективным направлением в современном строительстве является микроармирование бетонов и композиционных материалов.

В Древнем Египте и азиатских странах широко использовали сырцовый кирпич из глины с добавлением резаной соломы, костры, мякны. Известно, что в Древнем Риме строительные растворы готовили с добавлением шерсти животных и конского волоса. Приоритет в области армирования бетона стальными волокнами принадлежит Жану Луи Ламбо (Франция), построившему в 1855 г. лодку из цементного раствора, армированного многослойной стальной сеткой. В настоящее время бетон, армированный дисперсными стальными волокнами, прочно утвердился при возведении мостовых конструкций, ответственных и уникальных сооружений.

При этом повышается долговечность материала (по долговечности бетон с фиброй равноценен бетону с воздухововлекающими добавками), обеспечивается высокая огнестойкость (бетон с базальтовой фиброй более устойчив к изгибу после воздействия температуры 600°C в течение 1 часа).

Ввод базальтовых волокон в различные растворы (гидроизоляционные, отделочные и др.) обеспечивают им высокое сцепление с основанием и высокую трещиностойкость при высыхании и твердении.

Волластонит – природный силикат кальция, подкласса цепочечных силикатов, растет как игольчатый кристалл и сохраняет эту игольчатую структуру при расщеплении. Игольчатая форма в природных кристаллах волластонита сохраняется при измельчении в конечные продукты. Природный волластонит, имея среднюю длину волокон от

200 мкм для длиноразмерных до 20 мкм – для микроигльчатых сортов обладает замечательным свойством микроармирования тонкослойных композитов, придавая им высокие физико-технические характеристики: улучшает водостойкость, гибкость, обеспечивает высокую абразивную стойкость, адгезию к поверхности, создает более микротекстурную поверхность с хорошей последующей связью с финишными покрытиями. В декоративных покрытиях 10–30 микронный волластонит используется для создания гладкой шелковистой поверхности. Синтетический волластонит имеет меньшую анизотропию кристаллов, более стабилен и имеет более высокую степень дисперсности химической чистоты, что определяет эффективность их использования для изготовления различных композиционных пигментов, создания лакокрасочных покрытий, нанесение покрытий специального назначения.

Самые распространенные и доступные сегодня полипропиленовые волокна западных производителей (Fibrin, Krenit, Crackstop), производства Adfil (Англия), Belgian fibers N. V.(Бельгия), PP EUROFIBER производства P. Baumhuter GmbH (Германия), предназначенные для использования в бетонных и растворных смесях. Фиброволокно EUROFIBER выпускается с различной длиной волокна от 6 до 20 мм с различным поперечным срезом (прямоугольным и круглым) различных марок (REF 310, REF 315, REF 506, REF 520) и обеспечивает высокую трещиностойкость и ударостойкость, улучшает качество поверхности бетона и раствора, благоприятно влияет на повышение водостойкости и устойчивости бетона к ударным и истирающим нагрузкам, повышается уплотняемость при вибрации, повышается адгезия к основанию, что особенно важно при бетонировании наклонных поверхностей, отсутствует необходимость установки штукатурной сетки.

Таким образом, использование дисперсного армирования предопределяет повышение физико-механических и эксплуатационных свойств строительных композитов различного назначения. Выбирая те или иные волокна для армирования или композицию из них, корректируя их соотношение можно целенаправленно регулировать свойства конкретного материала, повышая его трещиностойкость, коррозионную стойкость, атмосферостойкость и обеспечить требуемые эксплуатационные параметры и долговечность. Использование дисперсно-армированных волокон позволяет значительно уменьшить общую массу строительных конструкций за счет уменьшения сечения при неизменных прочностных показателях.

Армирующие волокна обеспечивают трехмерное упрочнение композиционных материалов по сравнению с традиционной арматурой, которая гарантирует лишь двухмерное упрочнение, увеличивает сопротивление цементного камня изгибающим нагрузкам. С применением синтетического волокна повышается долговечность материала, понижается усадочная деформация, значительно возрастает трещиностойкость и ударная вязкость. В настоящее время разработаны новые комбинированные армирующие волокна на основе минеральных и синтетических компонентов, что прогнозирует высокие физико-технические и эксплуатационные свойства. Выбор и использование армирующих волокон в каждом конкретном случае определяет их химические и физико-технические свойства, назначение и условия службы композиционного материала, их долговечность.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Богусевич Г.Г., Милькина А.С., Сопин Д.М., Богусевич В.А. Использование техногенного сырья для получения композиционных вяжущих // Инновационные методы проектирования строительных конструкций зданий и сооружений. Сборник научных трудов Всероссийской научно-практической конференции. Юго-Западный государственный университет. 2019. С. 38-41.

2. Богусевич Г.Г., Сопин Д.М., Милькина А.С., Богусевич В.А. К вопросу о возможности микроармирования мелкозернистого бетона // Проблемы и перспективы развития России: молодежный взгляд в будущее. Сборник научных статей 2-й Всероссийской научной конференции. Юго-Западный государственный университет; Московский политехнический университет; Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева. 2019. С. 217-220.

3. Lesovik R.V., Ageeva M.S., Lesovik G.A., Sopin D.M., Kazlitina O.V., Mitrokhin A.A. Fine-grain concrete from mining waste for monolithic construction // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. № 327(3): 032028. DOI:10.1088/1757-99X/327/3/03202.

4. Сопин Д.М., Богусевич В.А., Богусевич Г.Г., Хозин В.Г., Милькина А.С., Кирносенко Е.С. Особенности использования техногенного сырья при получении мелкозернистых бетонов // Природоподобные технологии строительных композитов для защиты среды обитания человека. II Международный онлайн-конгресс, посвященный 30-летию кафедры Строительного материаловедения, изделий и конструкций. Белгород, 2019. С. 139-144.

УДК 667

*Гетманов С.Н.*

*Научный руководитель: Наумова Л.Н., доц.*

*Белгородский государственный технологический университет*

*им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## **ИЗУЧЕНИЕ ЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ ЛАКОКРАСОЧНЫХ И ПРОПИТОЧНЫХ СОСТАВОВ НА ДЕРЕВЯННОЙ ПОВЕРХНОСТИ**

Полимерная или пластиковая краска представляет собой смесь на основе полимеров (пленкообразователей), красящих пигментов, отвердителей и пластификаторов. Дополнительные вещества влияют на основные качества покрытия — рассеивание, адгезию к поверхности объекта и другие. Производят эту краску в двух видах — сухой (порошковой) и жидкой, куда добавляется растворитель. Полимерные краски в порошковой форме существенно отличаются по своим свойствам от жидких видов: они не растворимы в воде, но средой для их растворения является воздух. Они относятся к приоритетным материалам, широко востребованным современной экономикой. Они определяют уровень научно-технического прогресса любой страны в различных сферах промышленности.

Полимерные лакокрасочные композиционные материалы — многокомпонентные, гетерофазные, которые имеют непрерывную фазу, называемую связующим и матрицей. В процессе эксплуатации, они принимают внешние нагрузки и передают их на усиливающую фазу (наполнитель). В армированных полимерных материалах в качестве матрицы применяются реактопласты и термопласты. Термопластичные полимеры — полимеры, макромолекулы которых имеют линейную или слабоветвленную форму с физическими связями между макромолекулами. Термореактивные полимеры под действием химически активных добавок и повышенной температуры приобретают пространственную структуру, параллельно чему происходит потеря текучести.

Полимерные лакокрасочные материалы на основе термореактивных полимеров широко применяются в машиностроении, судостроении и космической технике. В качестве электроизоляционных элементов они используются в электротехнике и радиоэлектронике. Термореактивная матрица взята за основу для получения покрытия функционального и защитно-декоративного назначения.

Для защитных покрытий различных поверхностей используют лакокрасочные материалы соответствующего спектра назначения. Представляет интерес, использовать в качестве защищаемой поверхности деревянную подложку. Прежде чем наносить защитное покрытие на подложку, её необходимо подготовить соответствующим образом. [1]

В первую очередь выполняется первоначальная подготовка образцов. Основными задачами подготовки поверхности древесины к отделке являются её выравнивание и образование твёрдого и тонкого грунтовочного слоя для обеспечения хорошей адгезии лака к древесине, экономного расхода и хорошего разлива. Исходя из этого, основными технологическими операциями на стадии подготовки являются шлифование, крашение, грунтование.

После этого образец шлифуют. Поверхность древесины под прозрачную отделку должна иметь не более  $R_m=16$  мкм, под непрозрачную отделку должна быть не более  $R_m = 32$  мкм (по ГОСТ 7016-82). В соответствии с этим шлифование следует проводить разное количество раз и с разными режимами шлифования.

Следующий этап, окрашивание. Крашение древесины производят с целью усиления её естественного цвета и получения различных оттенков. В качестве красителей используют преимущественно синтетические, водорастворимые красители для древесины.

Операция крашения состоит из следующих этапов:

- 1) приготовления красящего состава
- 2) нанесения его на поверхность
- 3) пропитка поверхности
- 4) сушка

Крашение может быть осуществлено методом окунания, пневматического распыления (сухим или полусухим), на станках вальцового типа, также вручную кистью или тампоном. Для разного способа крашения используется своя технология. [2]

Ещё одна операция, грунтование. Основным назначением этой операции является образование тонкой плёнки, обеспечивающий хороший разлив краски и адгезию. Операцию грунтования можно выполнить раздельно разными материалами и одновременно, одним.

Формирование защитных и декоративных покрытий. Процесс формирования защитно-декоративного покрытия заключается в нанесении жидкого слоя лака в различных количествах с последующей сушкой с промежуточным шлифованием. Количество покрытий зависит от цели, типа лака и эмали.

Улучшение лакокрасочных покрытий.

На поверхности покрытия имеются неровности, такие как волнистости, локальные дефекты, проколы, шагрень, пузыри и т.д.

Для выравнивания поверхности используются шлифовка, выравнивание и полировка.

Шлифование может производиться как "сухим", так и "мокрым" способами. "Сухое" шлифование используется для рафинирования необратимых покрытий, а "мокрое" – для рафинирования обратимых покрытий.

Поверхность покрытия после шлифования любым способом должна быть матовой и гладкой.

Целью выравнивания является выравнивание поверхности путем удаления как макро, так и микронеровностей, сохраняя при этом блеск покрытия. Выравнивание используется только для обратимых покрытий.

В результате выравнивания покрытия на поверхности остаются неровности в 1-2 микрона, поэтому для их удаления требуется полировка. Задача полировки состоит в том, чтобы уничтожить мельчайшие неровности после шлифования поверхности, чтобы придать зеркальную гладкость. Для полировки используются различные пасты, представляющие собой смесь абразивов, связующих и масляных добавок.

Шпаклевка на загрунтованной поверхности делается для заделки небольших дефектов и выравнивания ее для покраски с помощью материала покрытия в целом. [3]

Для изучения защитных свойств лакокрасочных и пропиточных составов, использовали в лабораторных условиях следующие образцы: декоративное масло, нц грунт, декоративная пропитка, лак алкидно-уретановый, водно-дисперсионная краска.

В начале провели опыт по определению адгезии, для этого использовали метод параллельных надрезов. На готовое лакокрасочное покрытие нанесли 5 параллельных надрезов на расстоянии 3мм друг от друга. Перпендикулярно надрезам наложили полоску липкой ленты, оставляя один конец ленты не приклеенным. Быстрым движением оторвали ленту. После данных операций визуально оценили адгезию по 3х бальной шкале, руководствуясь специальной таблицей. Данный метод выбрали в угоду его простоты.

Опыт по определению теплостойкости лакокрасочных материалов. На испытуемый образец наложили тонкий ватный тампон диаметром 7-8см и поставили на него стакан с водой, температура которой 60 С, на 15 мин. После снятия стакана на покрытии не осталось прилипших

волокон. Исходя из этого делаем вывод, что теплоёмкость образцов считается удовлетворительной.

Определение влагопоглощения лакокрасочного покрытия.

Образец полностью погрузили в дистиллированную воду при температуре 20 С. Затем через указанные промежутки времени образец извлекали из воды, высушивали фильтровальной бумагой, немедленно помещали в бак с герметичной крышкой и предварительно взвешивали. Бюкс с образцом взвешивали с той же точностью. Операцию извлечения образца из воды и взвешивания его с помощью бюкса повторяли до тех пор, пока во время последних 2 взвешиваний не было достигнуто такое же увеличение веса пленки. [2]

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Анализ физических свойств водорастворимых и масляных лакокрасочных материалов. Яремчук Л.А., Максимив Т.В.. Ответственные редакторы С. А. Угрюмов, Т.Н. Вахнина, А.А. Титунин. 2013. С. 74-76.

2. Водно-Дисперсионный лакокрасочный состав Потемина Т.Ф., Манеров В.Б., Покровская Н.А., Куколева. С. 41-43

3. Защитно-декоративные лакокрасочные акриловые составы для деревянных конструкций и изделий Славик Ю.Ю., Гусаров Е.Ф. Строительные материалы. 2003. № 5. С. 38-39.

4. Наумова Л.Н., Огрель Л.Ю., Володченко А.Н. Практикум по общей химии. Белгород: Изд-во, БГТУ, 2008. 113 с.

УДК 667.6

*Голец А.А., Есина А.Ю., Потапов Д.Ю.*

*Научный руководитель: Маркова И.Ю., канд. техн. наук  
Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## ВИДЫ АЛКИДНЫХ СМОЛ И ОБЛАСТИ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

Представленная работа посвящена изучению возможности, целесообразности, эффективности и условий применения основных видов алкида в различных отраслях. Изучение составов алкидных смол, обширность применения и широкий спектр решаемых вопросов в сфере строительства позволяет говорить о высокой перспективности в

будущем. Анализ публикаций научных групп, занимающихся разработками алкидных олигомеров и их применением в строительном материаловедении, показал, что в зависимости от состава и добавок могут сильно изменяться характеристики.

Алкидные смолы – это конечный продукт поликонденсации многоосновных кислот и многоатомных спиртов. В большинстве случаев они используются как самостоятельные пленкообразующие материалы, однако так же их добавляют в смеси или иные материалы, которым требуется образование защитной пленки [1]. Этот компонент является основой при получении промышленных объемов продукта в лакокрасочной промышленности, в число которых входят краски, лаки, эмульсии и т.д.

Лаки являются одной из разновидностей материалов, которые содержат подобные смолы. Зачастую они выглядят как прозрачные или полупрозрачные эмали, которые наносят на деревянные элементы для защиты от влаги или декоративного блеска. Выделяют множество видов подобных лаков в зависимости от состава [2]. Краска, содержащая в своем составе алкидную смолу, выделяется не только повышенными декоративными свойствами, но и достаточно повышенной влагостойкостью и прочностью. За счет способности замедлять коррозию, она может повышать долговечность покрытия [4]. В настоящее время данный вид является наиболее распространенным на рынке, за счет своих повышенных характеристик.

Эмульсии на основе алкида широко применимы в настоящий момент и пользуются спросом за счет своей цены и характеристик получаемых покрытий. Их применение возможно в тех ситуациях, когда необходимы недостижимые характеристики. Например, повышение эксплуатационных показателей, получение свойств пылеподавления [3], защита от образования бактерий или коррозии и так далее.

Получение алкидных смол на примере синтеза ГФ смолы (рисунок 1) заключается в протекании полимеризации по двойным связям одноосновных жирных кислот [5]. Степень этого процента зависит от характеристики связей: числа и расположения. Наибольшее значение наблюдается при применении кислот с тремя сопряжёнными двойными связями. При высоких температурах происходят побочные реакции, такие как деструкция полиолов и образование эфиров.

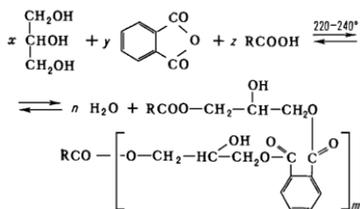
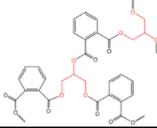


Рис.1 Синтез глифталевой алкидной смолы, где R – алкил; m>2.

В зависимости от состава алкидные лаки имеют следующие характеристики (таблица 1):

Таблица 1 – Характеристики алкидной смолы

Характеристика	Показатель
Структурная формула	
Цвет	От светло- до темно-желтого
Динамическая вязкость, мнсек/м	150-1000
Плотность, г/см <sup>3</sup>	0,9-1,05
Температура вспышки, °C	-40
Температура самовоспламенения, °C	250-500

Классификация алкидных смол разнообразна (рисунок 2). По способности к высыханию олигомеры делятся на два типа: высыхающие и не высыхающие. Все они обычно производятся из дикарбоновых кислот или ангидридов, таких как фталевый ангидрид или малеиновый ангидрид, и полиолов, таких как триметилолпропан, глицерин или пентаэритрит. Высыхающие примечательны получением триглицеридов из полиненасыщенных жирных кислот. Они затвердевают с помощью кислорода воздуха. Скорость высыхания зависит от состава. К не высыхающим относят масла, которые содержат насыщенные жирные кислоты. Они не затвердевают даже в условиях горячей сушки. Такие покрытия чаще всего используются для получения высокой адгезии и эластичности материала.

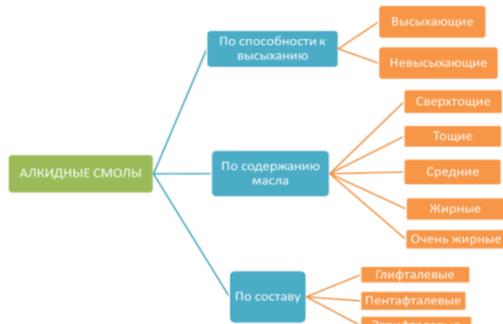


Рис. 2 Классификация алкидных олигомеров

По содержанию масла алкидные смолы делятся на 5 видов: сверхтощие (содержат в себе менее 34% масла по массе), тощие (35-45%), средние (46-55%), жирные (56-70%), очень жирные (более 70%). От количества в составе масла так же зависят конечные показатели продукта [6]. К примеру, сверхтонкие алкиды более твердые и светлостойкие, однако они довольно хрупкие, что является их основным минусом. По мере увеличения масла повышается эластичность и пигментированность окраски.

Помимо вышеперечисленных показателей так же отмечают три основные классификации олигомеров по составу. Глифталевые алкидные смолы – продукт поликонденсации, в содержании которого находится глицерин, фталевый ангидрид и триглицериды жирных кислот (растительных масел). К достоинствам данного вида олигомеров можно отнести следующие характеристики: довольно большая скорость высыхания, хороший материал для внутренних работ. К недостаткам обычно относят высокий показатель взаимодействия с окружающей средой [7]. Пентафталевые смолы отличаются от ранее рассмотренных повышенной твердостью, водостойкостью и механическими характеристиками [8].

Как и у многих продуктов лакокрасочной промышленности, алкидные смолы имеют как преимущества, так и существенные недостатки. Первоначально к плюсам можно отнести их низкую стоимость. Из-за того, что базовые составляющие в составе получаются из недорогих возобновляемых ресурсов, а именно жирных кислот и триглицеридных масел, их цена по сей день и остается достаточно не высокой [9]. Так же многие отмечают ее повышенную стойкость к каким-либо механическим воздействиям, преимущественно в сравнении с акриловой эмалью. Так же она надолго может сохранять свой первоначальный вид. При воздействии солнечных лучей алкидная

пленка не теряет свой изначальный цвет, не выгорает и не желтеет. Так же ее способность высыхать быстрее, чем многие подобные покрытия, является еще одним отмеченным преимуществом при эксплуатации.

Переходя к минусам, первое, что стоит отметить при использовании алкида, его резкий ядовитый запах, которые невозможно быстро выветрить. Поэтому при работе с данным покрытием есть некоторые техники безопасности, которые лучше использовать, чтобы не повредить своему здоровью. Например, работать в хорошо проветриваемом помещении или же пользоваться респиратором [10]. Существенный недостаток алкидного покрытия с точки зрения безопасности – низкая степень пожароопасности. Это так же является одной из причин, по которой стоит соблюдать технику безопасности или же не наносить данное покрытие в помещении с высокой степенью возгорания.

Подводя итог, на основании вышеизложенного, можно сделать вывод, что алкидсодержащие составы являются весьма перспективным материалом для изучения в настоящее время. Благодаря им уже решается множество вопросов в плане необходимых характеристик и изменении каких-либо свойств используемого материала. Если продолжить изучение алкидных олигомеров, то с большой вероятностью будет возможным открытие новых весьма примечательных свойств и отраслей применения для данного типа материалов.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

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

2. Алкиды, классификация алкидных олигомеров [Электронный ресурс]. URL:[https://studbooks.net/2405664/matematika\\_himiya\\_fizika/alkidy](https://studbooks.net/2405664/matematika_himiya_fizika/alkidy)

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

4. Никулина М. В. Проблемы применения существующих на рынке защитных покрытий для строительных материалов / М. В. Никулина, Э.

М. Ишмухаметов, А. Ю. Есина. – Текст: электронный // Природоподобные технологии строительных композитов для защиты среды обитания. - 2019. - С. 592-596.

5. Зиганшина М. Р. Алкидные смолы в лакокрасочных материалах / М. Р. Зиганшина, Е. М. Штейнберг – Текст: электронный // Путь науки. – 2016. – № 2 (24). – С. 22-23.

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

7. Алкиды [Электронный ресурс]. URL: <https://paint-media.com/stati/alkidi.html>.

8. Шинкарева Е. В. Водные эмульсии на основе модифицированного алкидного олигомера / Е. В. Шинкарева, В. Д. Кошевар, Н. Л. Будейко – Текст: электронный // Лакокрасочные материалы и их применение. – 2009. – № 6. – С. 18-21.

9. Дринберг А. С. Новый тип алкидных олигомеров / А. С. Дринберг – Текст: электронный // Новое слово в науке и практике: гипотезы и апробация результатов исследований. – 2013. – № 5. – 128-133 с.

10. Каверинский В. С. Новые проблемы и решения для производителей алкидных лакокрасочных материалов. антиоксиданты. противопленочные добавки (обзор литературы) / В. С. Каверинский, Д. В. Каверинский – Текст: электронный // Лакокрасочные материалы и их применение. – 2017. – № 4. – С. 37-39.

**УДК 691.328.34**

*Домарев С.Н., Калатоzi Г.М.*

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

## **ОЦЕНКА КОНСТРУКТИВНОЙ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ЗАЩИЩЕННОСТИ ЗДАНИЙ ИЗ ПЕНОБЕТОНА**

Обеспечение требований пожарной безопасности зданий и сооружений является необходимым условием при их проектировании, возведении и дальнейшей эксплуатации. На всех этапах существования строительного объекта определяется фактическая огнестойкость

конструктивных элементов зданий различного функционального назначения. Требуется также оценка возможных многофакторных сценариев с различной совокупностью условий, приводящих к возникновению пожара и определяющих его потенциальные масштабы, последствия и ущерб [1, 2].

Бетон – пожаробезопасный и огнестойкий строительный материал, однако воздействие на него устойчивого пламени приводит к структурным изменениям, способствующим его разрушению и разложению на составляющие компоненты цементного камня. Для анализа свойств бетона, подвергнутого воздействию высоких температур, использовались различные подходы. Тем не менее, испытание на сжатие является наиболее распространенным методом. Известно, что при температуре 250 °С прочность бетона снижается на 25 %, а при 500 °С наблюдается увеличение деструктивных процессов с дальнейшим полным разрушением [3–5].

Пенобетон имеет широкое распространение в строительных технологиях, что обусловлено наличием высоких значений эксплуатационных параметров, среди которых особенное значение имеет низкий удельный вес при достаточно большой прочности [6]. В традиционный состав ячеистых бетонов входят цемент, песок, пенообразователь, вода и модифицирующие компоненты.

На первом этапе выполнения данной работы был проведен вариативный выбор состава пенобетона из множества современных разновидностей, к которым можно отнести составы на основе гипсовых вяжущих, воздушной извести, известково-шлаковых и известково-пуццолановых вяжущих, магниезиальных вяжущих, жидкого стекла и кислотоупорного кварцевого цемента.

В настоящей работе выбран пенобетон на основе наноструктурированного вяжущего (НВ) кварцевого состава [7]. Основная цель использования такого материала – утепление строительных конструкций. Преимуществом данного материала по сравнению с другими утеплителями является отсутствие выделения токсичных веществ при воздействии высоких температур.

На втором этапе выполнения работ выполнялось имитирование нагревания экспериментальных образцов при пожаре с помощью муфельной печи (рисунок 1). Процесс нагрева образца проходил поэтапно, как при настоящем пожаре. Универсальная лабораторная электропечь SNOL 7,2/1200 с керамической камерой предназначена для нагрева, обжига, прокалики и других видов термической обработки различных материалов при температуре до +1200°С в воздушной среде.



Рис. 1 Электродпечь SNOL 7,2/1200

Процесс нагревания для образцов занял 210 минут, нагрев производился до 800 °С. После процесса нагрева 90 минут было потрачено на стабилизацию нагретых образцов (рисунок 2).

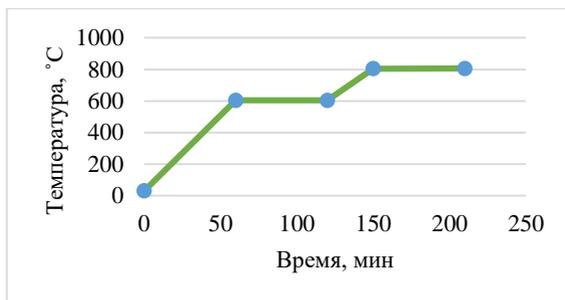


Рис. 2 Повышение температуры в электродпечи в зависимости от времени нагрева

Механические испытания образцов до и после обжига в электродпечи SNOL 7,2/1200 проводились на гидравлическом прессе (рисунок 3). Собранные данные с испытания на сжатие представляют собой прочность на сжатие. Полученные результаты сравниваем с прочностью на сжатие исходных (не подверженных обжигу) экспериментальных образцов. Также проведено сравнение полученных результатов с традиционным пенобетоном на цементной основе.

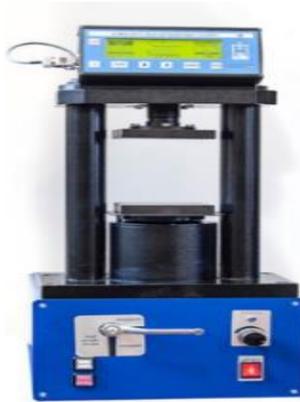


Рис. 3 Пресс испытательный гидравлический малогабаритный ПГМ-100МГ4

В процессе проведения термических испытаний установлено, что цементный пенобетон при повышении температуры до 350 °С покрывается мелкими трещинами, при дальнейшем нагревании до 600 и 800 °С трещины увеличиваться (рисунок 4) и материал соответственно теряет 50 и 70 % от своей прочности. Класс прочности данного материала в нормальных условиях В1, а при тепловом воздействии прочность материала становится равной нулю.



Рис. 4 Цементный пенобетон при повышении температуры:  
А) до 350° Б) 600 и 800 °С



Рис. 5 Пенобетон на НВ после обжига

Таким образом, результаты проведенных испытаний показывают, что изделие из пенобетона на цементной основе хуже переносят

высокие температуры по сравнению с пенобетоном на основе наноструктурированного вяжущего (рисунок 6). Пенобетон на НВ при таких же условиях нагрева повышает свои прочностные характеристики, класс прочности до испытаний составлял В1,5, а после теплового воздействия стал В5, что значительно выше чем у цементного (рисунок 7).

Пенобетон на основе НВ обладает повышенной огнестойкостью, что обусловлено его составом и типом твердения вяжущего, исключая гидратацию. При воздействии на материал температуры свыше 1000 °С, его прочность возрастает, что обусловлено протеканием кристаллизационных процессов с участием кремнеземистых и алюмосиликатных составляющих, упрочняющих межпортовую перегородку.

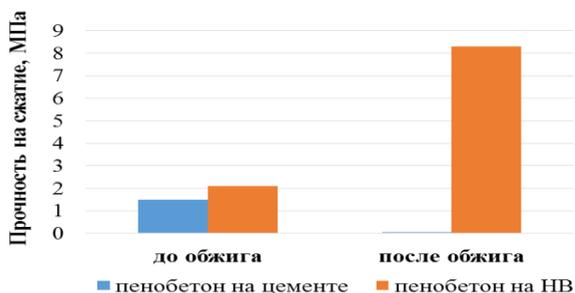


Рис. 6 Изменение прочности пенобетона при воздействии высоких температур в зависимости от состава

Согласно наблюдениям, негативное воздействие пожара на прочностные характеристики цементного пенобетона происходит уже при температуре нагрева около 350 °С – наблюдается начало трещинообразования. При дальнейшем нагреве до 800 °С потеря прочности достигает 78 %. Пенобетон на НВ показывает радикально другой результат: при нагревании около 350 °С упрочняется молекулярная связь, тем самым повышается прочность всего материала. При дальнейшем нагревании, до 800 °С материал продолжает набирать прочность, частично кристаллизуясь. Данный материал показывает устойчивость при высоких температурах пожара, не теряет своих свойств, а наоборот может принимать на себя большую нагрузку.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кондратьев Н.А., Часовских Ю.Ю. Анализ возможности применения дисперсно-армированных бетонов для обеспечения пожарной безопасности зданий // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. 2014. № 2 (15). С. 37-42.

2. Петров А.В., Орлов О.И., Гессе Ж.Ф., Сабитов И.Ш. Использование термического анализа при изучении пожарной безопасности строительных материалов на основе бетонов // Пожарная и аварийная безопасность. сборник материалов XIII Международной научно-практической конференции, посвященной Году культуры безопасности. 2018. С. 194-195.

3. Леденев А.А., Перцев В.Т., Калач А.В., Загоруйко Т.В., Донец С.А., Калач Е.В. Управление огнестойкостью железобетонных конструкций вариативной структуры // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2016. № 4. С. 16-22.

4. Пустыльник О.С., Величко Е.Г. Высококачественный и модифицированный пенобетон // Безопасность строительного фонда России. Проблемы и решения. 2017. № 1. С. 31-38.

5. Маличенко В.Г. Многослойные изделия из бетона для обеспечения огнестойкости металлоконструкций // Актуальные проблемы строительства, ЖКХ и техносферной безопасности. материалы VI Всероссийской (с международным участием) научно-технической конференции молодых исследователей. Под общей редакцией Н.Ю. Ермиловой, И.Е. Степановой. 2019. С. 247-248.

6. 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.

7. Павленко Н.В., Капуста М.Н., Мирошников Е.В. Особенности армирования ячеистых бетонов неавтоклавного твердения на основе наноструктурированного вяжущего особенности армирования ячеистых бетонов неавтоклавного твердения на основе наноструктурированного вяжущего // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2013. № 1. С. 33-36.

*Домарев С.Н., Калатоzi Г.М.*

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

## **КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЗВУКОПОГЛОЩЕНИЯ В ПЕНОБЕТОНЕ**

При принятии решения разработки новых материалов на этапе планирования повсеместно используются методы численного моделирования. Причиной этому является возможность предсказывать свойства материалов без необходимости проведения дорогостоящих исследований на ранних этапах разработки и более полное представление протекающих в материале процессов.

Применение ячеистых материалов является наиболее предпочтительным вариантом для внешней и внутренней отделки зданий и помещений. В этом отношении пенобетон является хорошей альтернативой различным видам штукатурок и других материалов ввиду его небольшой стоимости и простоты производства [1,2].

Пенобетон имеет ряд преимуществ по сравнению с другими строительными материалами: невысокая стоимость, низкая теплопроводность и наличие прочностных характеристик, позволяющих возводить из него различные несущие конструкции здания (перегородки, стены). Именно благодаря данным характеристикам пенобетон получил широкое распространение в современном частном и коммерческом строительстве [3-5].

Учитывая значительные эксплуатационные характеристики и специфику его применения (возведение несущих межкомнатных перегородок и стен) имеет смысл провести оценку его акустических характеристик. Ввиду небольшой плотности и наличия пор данный материал можно рассматривать именно как звукопоглощающий, так как для звукоизоляции важна масса одного метра перегородки, которая в данном случае будет невелика. Из основных параметров материала, важных для данного процесса можно выделить: коэффициент поглощения, коэффициент отражения и акустический импеданс (сопротивление распространению звука в упругой среде [6, 7].

Моделирование процесса звукопоглощения будет производиться в программе Comsol Multiphysics с применением модуля Pressure Acoustic (Скалярная акустика). В пределах данного модуля возможно

моделирование распространения звуковых волн в различных средах. Режим исследования – Frequency Domain (Частотная область).

Для упрощения расчёта моделирование производится в 2 измерениях (2D модель). За модель пористого тела принимается модель Johnson-Champoux-Allard. Входными данными для данной модели являются сопротивление течению через тело текучей среды (флюида), в нашем случае ей является воздух, пористость тела, извилистость каналов, образуемых порами, вязкостный и термический характерные размеры.

Источниками исходных данных являются параметры, полученные при исследовании опытных образцов. Изготовленные небольшие образцы пенобетона имеют пористость в пределах 0,7 – 0,8 единиц, с вязкостным и термическим характерными размерами 220 нм и 470 нм соответственно. Коэффициент извилистости принимается согласно теоретической формуле (1), представленной в работе J. Prieur Du Plessis и Jacob H. Masliyah [1,2]:

$$\tau = \frac{\phi}{1-(1-\phi)^{2/3}} \quad (1)$$

где  $\phi$  – пористость тела. Подставив имеющиеся данные получили коэффициент извилистости  $\tau = 1,2366$ . Модель текучей среды – воздуха, берется из материала «Air» пакета стандартных материалов, встроенного в программу.

Детализация расчётной сетки принимается как для общих акустических расчётов – 1/5 длины звуковой волны. Для данного исследования будет применена статическая сетка, детализация принимается для минимальной длины волны звука, в нашем случае на частоте 10 кГц. Форма звуковой волны – плоская, с шаговой итерацией угла наклона относительно поверхности в 5° (пределы изменения 0°–45°). Внешний вид созданной модели представлен на (рисунке 1):



Рис. 1 Геометрия модели.

Геометрия компьютерной модели представляет из себя слой идеального рассеивания (1), моделируемый объём воздуха (2) выемка в материале (3), моделируемый объём материала (4)

Для расчёта модели требуется около 8 минут. На выходе были получены следующие результаты, которые представлены в виде графиков на (рисунок 2).

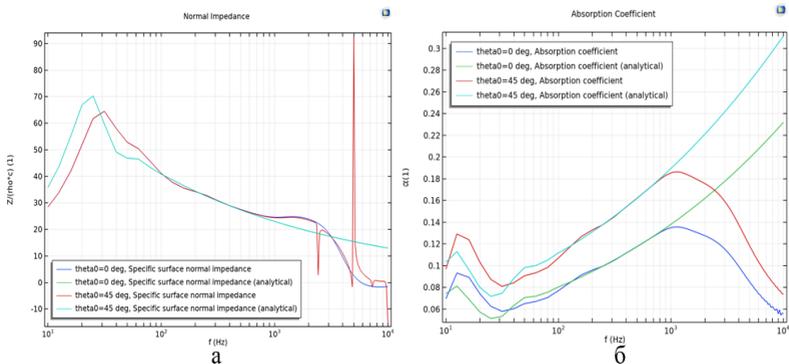


Рис. 2 Зависимость акустического сопротивления (а) и коэффициента поглощения (б) пенобетона на различных частотах

На обоих графиках представлены коэффициенты, полученные моделированием и применением аналитических формул (analytical) при разных значениях угла падения плоской волны звука ( $\theta$ ). Для проверки адекватности модели и сравнения приводятся данные полученные в данной программе поверенной моделью для материала Меламиновая пена на рис. 3. Проверка адекватности исходит из условия, что меламиновая пена лучше поглощает звук, и соответственно превышение её показателей говорит о ошибках в вычислениях.

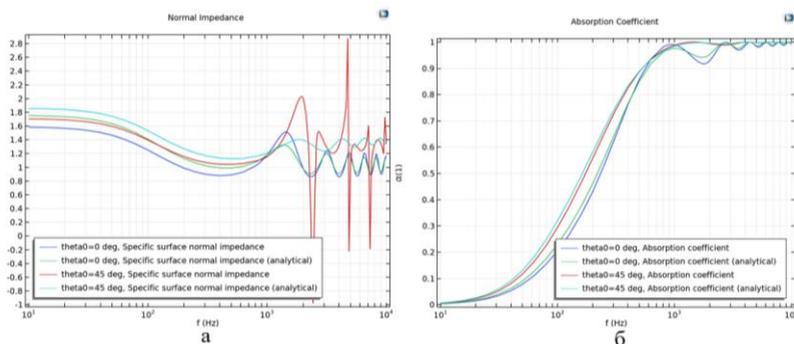


Рис. 3 Зависимость акустического сопротивления (а) и коэффициента поглощения (б) меламиновой пены на различных частотах

При рассмотрении полученных данных не было выявлено каких-либо значительных отклонений у модели пенобетона. Также данные коррелируют с эмпирическими данными, полученными лабораторией компании Acoustic Traffic [8] для аналогичных строительных материалов.

На обоих графиках представлены коэффициенты, полученные моделированием и применением аналитических формул (analytical) при разных значениях угла падения плоской волны звука (theta).

Анализ полученных данных показывает достаточно хорошие характеристики показателей звукопоглощения для относительно твёрдого материала, способного быть основой стеновых конструкций [5] и выступать в качестве финишного материала, не подвергаемого обязательной дальнейшей обработке.

Результаты моделирования коррелируют с эмпирическими данными, полученными лабораторией компании Acoustic Traffic [9-11]. Согласно данным аналогичными коэффициентами поглощения обладают гипсовые и АЦП штукатурки, которые могут использоваться только как покрытия существующих стен. Показатель поглощения звуковой энергии является большим относительно обычного бетона и в среднем превосходит его в 2 раза.

Данное исследование может являться отправной точкой в дальнейшем исследовании акустических параметров данного материала. Исходя из полученных данных можно утверждать, что есть определённые перспективы практического применения исследуемого материала для формирования нормальной акустической обстановки помещений и пространств.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Du Plessis, J.P., Masliyah, J.H. Flow through isotropic granular porous media / *Transp Porous Med* 6, 207–221 (1991). <https://doi.org/10.1007>
2. Jinlong Fu, Hywel R. Thomas, Chenfeng Li, Tortuosity of porous media: Image analysis and physical simulation / *Earth-Science Reviews*, Volume 212, 2021, 103439, <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103439>
3. Залаева С.Ш., Носатова Е.А., Рыбка О.А. Производственная санитария и гигиена труда. Ч. 2. Вредные вещества. Производственный шум. Белгород: Изд-во БГТУ, 2008. 310 с.
4. Мартыненко В.А. Теоретические и структурные свойства ячеистого бетона // *Збірник наук. праць ПДАБА і Варшавського техн. універ. «Theoretical Foundations of Civil Engineering» (Dnipropetrovsk-Warsaw)*. 2003. № 4. С. 177–186.
5. Довжиг В.Г. Факторы, влияющие на прочность и плотность полистиролбетона // *Бетон и железобетон*. 1997. № 3. С. 41–43.
6. Сахаров Г.П., Стрельбицкий В.П., Воронин В.А. Ограждающие конструкции зданий и проблема энергосбережения // *Жилищное строительство*. 1999. № 6. С. 56–64
7. Граник Ю.Г. Применение ячеистого бетона в строительстве Российской Федерации // *Строительный рынок*. 2006. № 10. С. 58–65
8. Спажнев Н.П. Производство ячеистобетонных изделий: теория и практика. Минск: Стринко, 1999. 284 с.
9. Коэффициенты звукопоглощения различных материалов [сайт]/ *Acoustic Traffic – URL: [http://www.akustik.ua/upload/file/Absorption\\_Data\\_calc\\_rt60.pdf](http://www.akustik.ua/upload/file/Absorption_Data_calc_rt60.pdf)* (дата обращения: 08.05.2021).
10. The Acoustics Module User's Guide [электронный документ]/ *COMSOL Documentation – URL: <https://doc.comsol.com/5.3/doc/com.comsol.help.aco/AcousticsModuleUserGuide.pdf>* (дата обращения: 08.05.2021)
11. Фанина Е.А. Эффективные акустические композиционные панели на основе графита // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*. 2021. № 4. С. 82-90.

*Дудченко В.А.<sup>1</sup>, Цаль-Цалко А.С.<sup>2</sup>*

*Научный руководитель: Загороднюк Л.Х., д-р техн. наук, проф.*

*<sup>1</sup>Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия*

*<sup>2</sup>Белгородский государственный технологический университет им В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## **ПРОИЗВОДСТВО СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЛИНИСТЫХ СЛАНЦЕВ, АРГИЛЛИТОВЫХ ГЛИН, КРЕМНЕЗЕМИСТОГО И ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ**

Аннотация. Отмечается актуальность разработки и внедрение инновационных наукоемких, энерго-ресурсосберегающих, экологически чистых, высоких технологий из минерального и техногенного сырья в различных отраслях промышленности. При этом важная роль в использовании сырьевых ресурсов в строительной отрасли принадлежит промышленности строительных материалов, особенно использования природного сырья и в этой связи разработка инновационных проектов, позволяющие комплексное освоение месторождений нерудного сырья, в том числе вскрышных пород, включая добычи, переработки и производство строительных материалов.

Практикой установлено, что производство строительных материалов из техногенного сырья обходиться намного дешевле, чем использование природного нерудного сырья, поскольку некоторые отходы производств можно применять без соответствующей обработки, то есть исключаются технологические операции добычи, обработки, транспортировки, хранения, контроля, являющиеся частью общего производственного процесса. Приводятся результаты теоретических и экспериментальных исследований, проведенных в Институте Геологии ДНЦ РАН с целью применения глинистых сланцев, аргиллитовых глин, кремнеземистого и техногенного сырья для изготовления вяжущих веществ, теплоизоляционных и стеновых материалов нового поколения получаемые по инновационной, наукоемкой, низкообжиговой и безобжиговой, следовательно, энерго-ресурсосберегающей технологии.

*Ключевые слова:* глинистые сланцы, аргиллитовые глины, кремнеземистое и техногенное сырье, вяжущее, инновационный, наукоемкий, низкообжиговой, безобжиговой, нанодисперсный, композиции.

По мере развития современного производства с его масштабностью и темпами роста все большую актуальность приобретают разработки и внедрение инновационных наукоемких, энерго-ресурсосберегающих, экологически чистых, высоких технологий из минерального и техногенного сырья в различных отраслях промышленности [2,3].

Скорейшее их решение в ряде стран, особенно обладающие высоким научно-техническим и промышленным потенциалом, когда в мире нарастает экологическая напряженность, рассматривается как стратегическое направление рационального использования природных ресурсов и охраны окружающей среды [1,3].

Одна из крупнейших наиболее материалоемких отраслей, относящаяся к крупным потребителям минерально-сырьевых ресурсов и в первую очередь нерудного сырья является строительная индустрия. При этом важная роль в использовании сырьевых ресурсов в строительной отрасли принадлежит промышленности строительных материалов, особенно использования природного сырья.

Российская Федерация располагает значительными объемами разведанных и оцененных запасов полезных ископаемых, пригодных для производства строительных материалов. Их прогнозные ресурсы являются надежным резервом для восполнения перспективных потребностей строительной индустрии. Добыча минерального строительного сырья в России составляет более 80 процентов общего объема добычи нерудных полезных ископаемых [2]. Эффективное их расходование при производстве строительных материалов и конструкций является одной из важнейших задач, так как, в России, и за рубежом, постепенно возникает дефицит ряда ресурсов, таких, как древесина, минеральное сырье и пр., что приводит к повышению стоимости строительных материалов.

Поэтому в строительной отрасли минерально-сырьевые ресурсы занимают особое место, именно сегодня, когда из-за необратимых изменений в природной среде в процессе техногенного воздействия нарастают экологические проблемы. Следовательно, рациональное использование и эффективное сбережение природных ресурсов – важнейшая задача жизнедеятельности любого государства.

Наилучшим решением может стать использование техногенного сырья (вторичные отходы), включающее комплекс самых разнообразных промышленных отходов и побочных продуктов: металлургических шлаков, бокситовых и других шламов, отходов горно-обогатительных комбинатов (ГОК), золу и золошлаковые отходы ТЭС, отходов углеобогащения, вторичных полимеров,

продуктов переработки древесины и пр.

Практика показала, что производства строительных материалов из техногенного сырья обходиться намного дешевле, чем использование природного нерудного сырья, поскольку некоторые отходы производств можно применять без соответствующей обработки, то есть исключаются технологические операции добычи, обработки, транспортировки, хранения, контроля, являющиеся частью общего производственного процесса [4]. Использование техногенного сырья в производстве строительных материалов с позиции экологии дает возможность: резко сократить объемы добычидефицитных природных строительных материалов; утилизации и осуществлении химически прочных связей огромного количества загрязняющих окружающую среду промышленных отходов.

Проводятся научные исследования комплексного использования ресурсов нерудного сырья для строительной индустрии, на базе современных наукоемких, энерго-и ресурсосберегающих и высоких технологий.

По результатам исследований разработаны инновационные проекты, позволяющие комплексное освоение месторождений нерудного сырья, в том числе вскрышных пород, включая добычи, переработки и производство строительных материалов.

Проведенные комплексные исследования аргиллитовых глин показали, что глина представлена в основном монтмориллонитами, гидрослюдами и другими минералами, принимающими участие во вспучивании массы оптимальной вязкости. По химическому составу общее содержание оксидов необходимых для производства керамзита в пределах нормы, и характеризуются более или менее постоянством состава.

Исходя из вышеизложенного, мы предположили возможность получения керамзитового песка по упрощенной технологии во вращающейся печи.

Известно, что на практике в предприятиях керамзитовый песок получают при обжиге глинистой породы во вращающихся и шахтных печах или же дроблением более крупных кусков керамзитового гравия, преимущественно в валковых дробилках.

Производство керамзитового песка по обычной технологии во вращающейся печи неэффективно. Некоторая примесь песчаной фракции получается при производстве керамзитового гравия за счет разрушения части гранул в процессе термообработки, однако он сравнительно тяжелый, так как мелкие частицы глинистого сырья практически не вспучиваются (резервы газообразования

исчерпываются раньше, чем глина переходит в пиропластическое состояние). Кроме того, в зоне высоких температур мелкие гранулы разогреваются сильнее крупных, при этом, возможно, их оплавление и налипание на зерна гравия. А себестоимость дробленого керамзитового песка высока не только в связи с дополнительными затратами на дробление, но главным образом потому, что выход песка всегда меньше объема дробимого гравия.

Зерновой состав полученного керамзитового песка составляет фракции 0,16-5,0 мм со следующими физико-механическими свойствами: средняя насыпная плотность 650 кг/м<sup>3</sup>, теплопроводность 0,13-0,15, прочность 33-45 кг/см<sup>2</sup> и водопоглощение до 10% [7].

Теоретически обоснована, возможность получения безобжигового пенодиатомитового теплоизоляционного материала из кремнистых пород с использованием в качестве связующего вещества нанодисперсной композиции.

Таким образом, разработка и внедрение строительных материалов нового поколения по вышеуказанным технологиям с использованием природного минерального и техногенного сырья, становится очевидной необходимой задачей для развития современной экономики в этой области.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Борталевич С.И. Управление энергобезопасностью регионов //Третий Международный форум «Россия в XXI веке: Глобальные вызовы и перспективы развития», Москва, 21-22 октября 2014 г. С. 599-607.

2. Воробьев А.Е., Джимиева Р.Б. Современные методы прогнозирования возможного развития технологий недропользования //VII Международная конференция «Ресурсовоспроизводящие, малоотходные и природоохранные технологии освоения недр», Москва, 15-19 сентября, 2008 г, с. 86-88.

3. Путин В.В. Минерально-сырьевые ресурсы в стратегии развития Российской экономики //Записки Горного института, 1999, Т.144 (1). С. 1-11.

4. Соколов И.В., Мадаева М.З. Оценка уровня экологической и промышленной безопасности горных ландшафтов Северного Кавказа //VII Международная конференция «Ресурсовоспроизводящие, малоотходные и природоохранные технологии освоения недр», Москва, 15-19 сентября, 2008 г. С. 276-278.

5. Мацапулин В.У., Тотурбиев А.Б., Черкашин В.И. Глинистые

сланцы – эффективное минеральное сырье для изготовления строительных материалов //Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2015; 38(3):119-127.

6. Лесовик, В.С. Сухие строительные смеси для ремонтных работ на композиционных вяжущих / В.С. Лесовик, Л.Х. Загороднюк, Г.Г. Ильинская, Д.А. Беликов // Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2013 – 147 с.

7. Лесовик, Р.В. Фибробетон на техногенном песке КМА и композиционных вяжущих для промышленного и гражданского строительства / Р.В. Лесовик, С.А. Ключев, А.В. Ключев, Н.В. Калашников, А.В. Гинзбург:. – Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2013. – 124 с.

8. Тотурбиев А.Б., Черкашин В.И., Тотурбиев Б.Д., Тотурбиева У.Д. Перлитовый теплоизоляционный материал на нанодисперсном полисиликатнатриевом вяжущем //Промышленное и гражданское строительство. 2016. №3. С. 59-61.

9. Тотурбиев Б.Д., Тотурбиев А.Б., Абдулаев М.Ш., Абдулганиева Т.И. Использование аргиллитовых глин для производства керамзита //Горный журнал: - Москва: 2018, № 3. С. 58-62.

*УДК 631*

*Дудченко В.А.<sup>1</sup>, Цаль-Цалко А.С.<sup>2</sup>*

*Научный руководитель: Загороднюк Л.Х., д-р техн. наук, проф.*

*<sup>1</sup>Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия*

*<sup>2</sup>Белгородский государственный технологический университет им В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## **ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ ФИЗИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ, КОНСТРУКЦИЙ, ЗДАНИЙ, СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ И ВЛИЯЮЩИХ НА НИХ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ**

Статья посвящена особенностям обследования и оценки физического состояния строительных материалов, конструкций и строительных объектов. Рассмотрены внешние факторы и их влияние на строительные материалы, конструкции и сооружения.

Ключевые слова: внешние факторы, физический износ, оценка, экспертиза, конструкции, прочность, долговечность, технологические процессы, грунтовая вода, агрессивность среды, пассивность среды,

отрицательные температуры.

Оценка физического состояния строительных конструкций, зданий и сооружений в первую очередь, необходима для получения показателей, которые характеризуют состояние объектов и дают основания для прогнозирования возможности или невозможности использования конструкций и всего объекта. В ходе оценки изучаются процессы, которые протекают во всех конструктивных элементах и узлах объекта; выявляются фактические эксплуатационные свойства строительных материалов, изделий и конструкций данного объекта и устанавливается их соответствие техническим требованиям. Процесс обследования строительных конструкций объекта включает методы контроля качества изготовления и монтажа элементов и узлов строительной конструкции, соответствие объекта проектным параметрам и исправной работе в процессе эксплуатации. Изучение состояния строительных конструкций, которые находятся в эксплуатации, производится такими же методами, какие применяются для контроля качества строительных изделий, узлов и конструкций в процессе их изготовления. Частым примером является необходимость оценки состояния эксплуатируемых объектов, которые находятся в реальных условиях работы под воздействием внешних факторов. Например, оценка работоспособности конструктивной или инженерной системы, учитывая отклонения ее параметров от расчетных значений.

Так же существуют ситуации, когда к методам обследования строительных материалов, узлов, конструкций и объектов предъявляются повышенные требования. В частности, при проведении экспертизы объектов, где произошли аварии из-за повреждения строительных конструкций при монтаже или в процессе эксплуатации. Особое внимание уделяется тщательной экспертизе объектов после катастроф и аварий, повлекших за собой человеческие травмы и жертвы. Здания и сооружения представляют собой системы, состоящие из большого числа элементов и узлов, которые работают в условиях сложных напряженно-деформируемых состояний. Поведение строительных материалов и конструкций характеризуется рядом факторов. Это относится к прочностным характеристикам материалов и нагрузкам, которые воздействуют на узлы и элементы здания, а также к воздействию факторов окружающей среды. В процессе расчета и проектирования конструктивных узлов и элементов, их транспортировки и монтажа строительных материалов, изделий и конструкций возможны отклонения параметров конструкций от заданных значений. Начисление физического износа предъявляет

повышенные требования к экспертам. Здесь необходимы знания по теории оценки недвижимости, владение информацией по строительной сфере, умение работать с нормативной строительной документацией, планами, чертежами. Точность расчетов при начислении физического износа зависит качества визуального экспертно-технического осмотра оцениваемого объекта недвижимости и корректного применения полученной при осмотре информации к существующим строительным и оценочным нормам и правилам.

Говоря о физическом износе здания – он проявляется в процессе его эксплуатации и воздействия на него природных условий, и характеризует постепенную утрату технико-эксплуатационных качеств (прочности, жесткости, устойчивости, теплоизоляции, внешнего вида) строительной конструкции и всего объекта в целом. В ряде случаев от проявления первоначальных признаков разрушения строительного материала, изделия или конструкции может пройти достаточно много времени. При этом если экспертиза вовремя выявит повреждение, будут проанализированы причины и факторы появления разрушений, разработаны и применены меры по восстановлению и дальнейшей защите строительного материала и конструкции, то возможна дальнейшая исправная эксплуатация строительного сооружения. Но существуют случаи, когда при воздействии особо агрессивных внешних факторов, несвоевременном выявлении повреждений, отсутствии профилактических мер и некачественном

техническом обслуживании материалов, узлов и конструктивных элементов сооружения разрушение происходит быстрыми темпами и временной отрезок до полного отказа конструкции очень мал. Физический износ определяется обследованием фактического технического состояния здания в целом или его отдельных конструктивных узлов и элементов и последующим сравнением нормативного срока службы с эффективным (фактическим) возрастом. К внешним факторам помимо климатических условий можно отнести следующие факторы: – неиспользование здания по назначению с отключением всех видов систем инженерного благоустройства; – объем и характер капитального ремонта; – уровень содержания и текущего ремонта, профилактические меры по поддержанию строительных конструкций, узлов и элементов объекта в рабочем состоянии; – санитарно-гигиенические факторы (инсоляция и аэрация); – плотность заселения. При эксплуатации зданий различают силовое воздействие нагрузок, которое вызывает напряженное состояние конструкций, и агрессивное воздействие окружающей среды, в результате чего элементы здания теряют свои

эксплуатационные качества, быстро изнашиваются и выходят из строя. В свою очередь агрессивность или пассивность среды не имеет универсального характера. Не стоит забывать, что в одних условиях определенная среда может быть агрессивна, в других – она же является пассивной, т. е. они могут меняться ролями. Например, теплый влажный воздух считается весьма агрессивным по отношению к стали, но бетон он упрочняет. Воздействие воздушной среды так же является существенным фактором. Загрязненный воздух, особенно его сочетание с влагой, приводит к преждевременному износу, коррозии, растрескиванию и разрушению элементов строительных конструкций, а впоследствии и всего строительного объекта. Наиболее сильными по разрушающей способности загрязнителями воздуха являются продукты сгорания различного топлива. Поэтому в городах и промышленных центрах металл корродирует в несколько раз быстрее, чем в сельской местности. К основным продуктам сгорания большинства видов топлива относятся углекислый (CO<sub>2</sub>) и сернистый (SO<sub>2</sub>) газы. При соединении их с водой образуются кислоты, которые разрушают бетон и другие строительные материалы. Кроме кислотных оснований в дыме обнаружено более 100 других вредных соединений.

Стоит отметить что, для строительных материалов, конструкций и зданий опасны три вида воздействия отрицательной температуры: – промерзание увлажненных материалов и конструкций и их разрушение; – промерзание ограждающих конструкций (стен) и нарушение в помещениях температурно-влажностного режима; – промерзание оснований, их пучение и вследствие этого разрушение вышележащих конструкций. Самыми опасными и трудноустраняемыми воздействиями являются промерзание оснований и их пучение. Это опасно для сооружений, находящихся над землей, поскольку на глубине примерно 1,5–2 м колебания дневной и ночной температуры незначительны, а на глубине 10–30 м практически не ощущается изменение зимних и летних температур. Необходимо знать, что повреждения зданий из-за промерзаний и выпучивания оснований могут происходить после многих лет эксплуатации, если допущены срезка грунта вблизи фундаментов, увлажнение основания или другие неблагоприятные воздействия внешних факторов. Воздействие технологических процессов также является внешним фактором существенного влияния на строительные материалы, конструкции и объекты. При проектировании и строительстве сооружений закладывается вероятность воздействия различных процессов, но так как стойкость и долговечность строительных материалов и конструкций разная, то под влиянием различных условий внешней

среды их износ будет неравномерен. Так, например, кислотостойкие материалы с большим содержанием кремния: кварц, гранит, диабаз.

Нестойкими к кислотам будут материалы, содержащие известь: доломит, известняк, мрамор. Зато они более стойки к щелочам. Обожженный кирпич будет стойким даже в среднекислой и среднещелочной средах. Но для него опасны плавиковая кислота и раствор едкого натра. Также он разрушается при солевой коррозии. Минеральные масла являются химически неактивными по отношению к бетонам, но тем не менее воздействуют на них негативно, так как их поверхностное натяжение в 2–3 раза меньше, чем у воды. Обладая наибольшей смачивающей способностью, они «расклинивают» бетон. Под воздействием внешних негативных факторов в первую очередь разрушаются защитные покрытия стен и полы, окна, двери, кровля; затем стены, каркас и фундаменты. Сжатые элементы и элементы больших сечений строительных конструкций при статических нагрузках изнашиваются медленнее, чем изгибаемые и растянутые тонкостенные элементы, а также элементы, которые работают под динамической нагрузкой, в условиях высокой влажности и высокой температуры.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Алимов Л. А. Строительные материалы: Учебник для студентов учреждений высшего профессионального образования / Л. А. Алимов, В. В. Воронин. – М. : ИЦ Академия, 2012. – 320 с.

2. Ануфриев Д. П. Новые строительные материалы и изделия. Региональные особенности производства / Д. П. Ануфриев. – М. : АСВ, 2014. – 200 с.

3. Алфимова Н.И. Повышение эффективности стеновых камней за счет использования техногенного сырья // Вестник Белгородского государственного технологического университета. В.Г. Шухова. 2011. No 2. С. 56 – 59.

4. Бондаренко Г. Г. Основы материаловедения: учебник / Г. Г. Бондаренко. – М. : Бином, 2014. – 760 с.

5. Дементьева М. Е. Техническая эксплуатация зданий: оценка и обеспечение эксплуатационных свойств кон-струкций зданий: учеб. пособие для студ. специальности 270105 «Городское строительство и хозяйство» / М. Е. Дементьева. – Моск. гос. строит.ун-т. – М. : МГСУ, 2008. – 227 с.

6. Клюев А. В., Нетребенко А.В. Армирующие материалы и их свойства для производства фибробетонов // Сборник Международной

научно-технической конференции молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова. Белгород, 2013. С.17 – 21.

7. Сироткин О. С. Основы инновационного материаловедения: монография / О. С. Сироткин. – М. : ИНФРА-М, 2011. – 158 с.

8. Соломатов В. И. Каркасная технология для изготовления эффективных строительных материалов и изделий / В. И. Соломатов, В. Т. Ерофеев // БСТ, 1999. – № 10. – С. 12 – 14.

**УДК 551.2:02**

*Ермакова Е.Г., Чалый А.В.*

*Научный руководитель: Сальникова О.Н., канд. филос. наук, доц.  
Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## **АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ УКРЕПЛЕНИЯ ГРУНТОВ В СОВРЕМЕННОМ ФУНДАМЕНТОСТРОЕНИИ**

Тенденции развития современного общества отчетливо демонстрируют процессы возрастания темпов и объемов строительных работ. В связи с тем, что строительство производится в различных районах и на разных грунтах, возникает необходимость обеспечить надежность и долговечность построек на этих грунтах. Возведение фундамента – один из важных этапов строительства, который требует проведения изыскательских работ по грунтам. По результатам инженерных и геологических изысканий производится выбор видов фундаментов, с учетом особенностей грунтов. Проблема укрепления грунтов является одной из актуальных и востребованных в фундаментостроении.

Основания и фундаменты имеют значительный удельный вес по трудоемкости и стоимости строительных работ. Как известно, большинство аварий зданий и сооружений обусловлено разрушением именно оснований и фундаментов. При этом исследователи выявили следующие причины нарушения их работы: недостаточная изученность инженерно-геологических условий места строительства; некачественное устройство оснований и фундаментов; значительное увеличение массы здания в результате реконструкции; возведение новых зданий вблизи существующих. Кроме того, некоторые реконструируемые здания находятся в условиях тесной городской застройки, что еще раз обуславливает актуальность усиления оснований.

Закрепление (усиление) оснований – это улучшение физических и механических свойств грунта в результате введения в грунт твердеющих растворов в режиме перемешивания или пропитки. Широко применяется при строительстве и реконструкции гражданских и промышленных зданий, в подземном, гидротехническом и дорожном строительстве [1]. Оно используется для: усиления оснований зданий и сооружений; укрепления стенок котлована и откосов выемок дорог; предупреждения деформаций склонов; борьбы с водопитоками в тоннелях и горных выработках и предупреждений деформаций в них; устройства противодиффузионных завес в основании гидротехнических сооружений; улучшения несущей способности свай, анкерных устройств, опор; удаления связанной воды из грунта; улучшения коэффициента уплотнения грунта; защиты от агрессивного воздействия бетонных и каменных сооружений; уменьшения пучинистости грунтов.

Необходимо подчеркнуть, что результатом закрепления грунтов является увеличение их несущей способности и устойчивости, увеличение прочности, водопрочности, водопроницаемости и сопротивления размыву. Выделяют несколько основных способов закрепления оснований зданий и сооружений: 1) физико-химические; 2) конструктивные; 3) механические; 4) специальные.

Важно отметить, что в закреплении оснований отсутствуют типовые решения и все проекты разрабатываются для конкретных случаев. Например, для решения проблемы просадочности грунтов необходимо правильно выбрать основной тип фундамента, который будут возводить, учесть все конструктивные схемы и варианты их исполнения в данных условиях. Современные исследователи проводят анализ причин деформации, просадочности грунтов и рекомендуют разного рода мероприятия по их устранению, а также по укреплению грунтов [2].

К физико-химическим способам усиления грунтов относят силикатизацию, цементацию, смолизацию, глинизацию, битумизацию, термический метод и электрохимическое закрепление. Следует учитывать, что для закрепления трещиноватых гравийно-галечниковых, скальных грунтов применяются цементация, глинизация и битумизация, а для лёссовых и песчаных грунтов – силикатизация и смолизация. В свою очередь, для глинистых водонасыщенных грунтов – способ электрохимического воздействия. Для пльвунов применяется электроплавление.

Силикатизация – способ, при котором под подошву фундамента погружают инъекторы, через которые производится нагнетание

раствора жидкого стекла под давлением 0,3-0,6 МПа. Для ленточных фундаментов инъекторы погружают с обеих сторон. Силикатизация применяется для закрепления песков пылеватых, мелких, средней крупности, крупных, а также плывунов, лессовидных и насыпных грунтов. Данный процесс реализуется тремя способами: однорастворным, двухрастворным и газовым.

Цементация – нагнетание цементного раствора под большим давлением. Применяется для увеличения прочности грунтов и уменьшения их водопроницаемости. Для цементации используют смесь цемента с водой, иногда к смеси добавляют мелкий песок.

Смолизация – метод, при котором нагнетается раствор синтетических смол, способных твердеть в грунте. В последнее время для укрепления супесей и суглинков применяют электросмолизацию.

Глинизация применяется для уменьшения водопроницаемости грунтов. Нагнетание глинистой суспензии приводит к заилению грунта. Во избежание уноса раствора из закрепляемой зоны глинизацию применяют только при небольших скоростях движения подземных вод.

Битумизация применяется в условиях, когда исключается применение цементации и глинизации, то есть при больших скоростях фильтрации и трещиноватых скальных породах. В случае применения битумизации фильтрация воды прекращается или сильно снижается, т.е. водопроницаемость уменьшается. Метод битумизации заключается в том, что расплавленный битум нагнетается в заранее пробуренные скважины.

Термический метод заключается в обжиге грунта. Для этого в пробуренных скважинах сжигают топливо (газообразное, жидкое или твердое). Обжиг происходит при температуре 400-800 °С [3].

Электрохимическое закрепление – при пропускании тока в грунтах развивается движение поровой воды от анода к катоду. Через перфорированный анод последовательно вводят химические вещества (растворы силиката натрия и хлористого кальция). Это позволяет закреплять пылеватые пески, супеси и легкие суглинки. Среди конструктивных способов усиления грунтов принято выделять устройство подушек (из местного связного грунта или песка); устройство шпунтового ограждения; армирование грунта и устройство противофильтрационных завес. Так, устройство грунтовых подушек заключается в замене слабого грунта в зоне возможных значительных уплотнений и зон сдвигов.

Такой способ как устройство шпунтовых ограждений заключается в том, что по периметру фундамента (ленточного, столбчатого) забиваются ограждающие стенки из шпунта, труб и свай. Стенки

должны располагаться на минимальном расстоянии от фундамента. Армирование грунта используют для устранения просадочности, увеличения прочности и устойчивости грунта. Метод заключается в введении в толщу грунта элементов повышенной прочности, которые работают на растяжение или сжатие, имеют трение и сцепление с окружающим грунтом. Армирование может быть выполнено путем винтового продавливания скважин спиралевидными снарядами. Противофильтрационные завесы применяются для исключения подъема подземных вод. При этом для устройства завесы разрабатывается траншея, которую заполняют глинистым грунтом.

Еще одной группой методов укрепления грунтов являются механические методы. К ним относится - поверхностное уплотнение грунтов, глубинное уплотнение грунтов, предварительное обжатие грунтов. Поверхностное уплотнение оснований может производиться несколькими методами: уплотнение трамбуемыми машинами и трамбовками; укатка грузоплотнящими машинами и катками; уплотнение площадочными вибраторами; вытрамбовывание траншей или котлованов под фундаменты.

Уплотнение трамбовками применяют при уплотнении просадочных лессовых, песчаных рыхлых и слабых пылевато-глинистых грунтов. Уплотнить можно ненасыщенные водой пылевато-глинистые грунты, и, независимо от степени водонасыщения, песчаные и крупнообломочные грунты. Уплотнение оснований легкими трамбовками и катками выполняют при оптимальной влажности, уплотнение ведут до определенной степени плотности. При вытрамбовывании вокруг котлована образуется уплотненная зона с повышенной плотностью грунта [4].

Глубинное уплотнение грунтов осуществляется такими методами как: устройство грунтовых, шлаковых, грунто-цементных известковых свай; глубинное виброуплотнение; предварительное замачивание; предварительное замачивание с подводными взрывами; глубинные взрывы после предварительного замачивания; глубинное глино-виброуплотнение взрывами. С помощью грунтовых или песчаных свай можно уплотнять насыпные грунты и лессовые просадочные грунты. Глубинное уплотнение оснований предварительным замачиванием применяется в просадочных грунтах. Сначала снимают растительный слой, лессовый грунт посыпают песком, подают воду, пока не будет замочена вся толща. При предварительном повышении влажности грунт доводится до состояния, близкого к полному водонасыщению. При взрыве происходит разрушение существующей структуры грунта и его дополнительное уплотнение.

Если песок находится в ненасыщенном водой состоянии, к месту вибрирования либо подают воду, либо применяют гидровибраторы. Гидровибратор – это глубинный вибратор для уплотнения несвязных грунтов, насыщаемых водой и подвергаемых одновременно вибрационному воздействию [5]. Предварительное обжатие грунтов осуществляется понижением уровня подземных вод; уплотнением внешней пригрузки; устройством вертикальных дренажей. Например, уплотнение грунта понижением уровня подземных вод применяется в слабых грунтах. Производят путем откачки воды через иглофильтры.

Уплотнение грунтов заключается с выдавливанием воды из пор грунта из слабых, насыщенных водой пылевато-глинистых грунтов, обладающих малой водопроницаемостью. Для уплотнения используют статическую нагрузку в виде насыпи. Вертикальные дренажи делают песчаными из специального пористого картона или из пластмассовой ленты в бумажном кожухе. Дренажи обычно вдавливают в грунт. Вертикальный дренаж не требует много места для его размещения и отличается маневренностью.

Таким образом, основные проблемы связаны с нестабильными грунтовыми условиями, просадками. Различные типы грунтов обуславливают разные способы их укрепления. Способ укрепления избирается, исходя из грунтовых условий объекта строительства, а в процессе выбора метода учитываются все его преимущества и недостатки. С целью повышения охвата диапазона различных ситуаций методы могут быть объединены.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Вильман Ю.А. Механизированная технология вертикальной планировки и возведение монолитных железобетонных фундаментов зданий. М.: Стройинформиздат. 2015. 816 с.

2. Калачук Т.Г., Ширина Н.В. Изучение метода уплотнения лессовых грунтов подводным взрывом // Вектор ГеоНаук. 2019. Т.2. №1. С. 5-8.

3. Игошева Л.А., Гришина А.С. Обзор основных методов укрепления грунтов основания // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. 2016. Т. 7. № 2 С. 5–21.

4. Крутов В.И., Ковалев А.С., Ковалев В.А. Проектирование и устройство оснований и фундаментов на просадочных грунтах. М.: Издательство АСВ, 2016. 544 с.

5. Машенко А.В., Пономарев А.Б. Анализ изменения прочностных

и деформационных свойств грунта, армированного геосинтетическими материалами при разной степени водонасыщения // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. 2014. № 4. С. 264–273.

**УДК 691.5**

***Золотарева С.В.***

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

## **СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К РАЗРАБОТКЕ СОСТАВОВ СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ**

В настоящее время методики определения и анализа сухих строительных смесей на основе отходов базальтового производства нет. Проводя изучение смесей строительного назначения необходимо стремиться к улучшению уже имеющихся рецептур. Рассматривая вопросы разработки составов сухих строительных смесей необходимо учитывать таких показатели как плотность, прочность, морозостойкость, отсутствие трещин на затвердевшем покрытии или слое раствора, особенности применения из волокон отходов базальтового производства [1].

В современном строительстве существует постоянная необходимость в совершенствовании технологий строительства, а также увеличения долговечности конструкций и их надежности. В связи с этим должны предъявляться высокие требования к качеству, изготавливаемых материалов. Поэтому в современном строительстве все больше предъявляется требований и внимания к внедрению и разработке новых материалов, которые отвечают требованиям эффективности и качеству, а также безопасности и дешевизне производства (экологичности и стоимости производства).

Современные методики применения и использования строительных материалов дают возможность снизить затратные значения не только в плане экономичности расхода самих материалов, но также человеческих ресурсов и общих время затрат. К такого вида материалам можно отнести сухие строительные смеси, являющиеся на текущее время современными продуктами науки. На заводах, при изготовлении данного рода материалов, применяемые требования и

свойства, происходит смена состава самих материалов, путем использования и применения различного рода добавок [2].

В таких материалах, в качестве вяжущего, применяются гипсовые, цементные и иные минераловяжущие компоненты. Как правило, наиболее часто используются различного рода цементы. Данные материалы на текущий момент времени принято считать наиболее эффективными, при сравнении с обычными цементно-песчаными растворами.

Обычно в строительстве СНГ и зарубежном, используются смеси разного применения. На строительные конструкции, как правило, воздействуют различного рода силы, в том числе они могут использоваться в агрессивных средах. Чтобы продлить долговечность материалов, а также самих конструкций, которые в том числе изготовленные из сухих строительных смесей, увеличивается внимание повышения долговечности [3].

К агрессивным средам, относящимся к химическим, физическим, относятся биологические. Данные среды оказывают негативное воздействие на строительные конструкции. При ведении ремонтных или восстановительных работ, в такого рода средах, целесообразно применять смеси с биоцидными добавками.

В настоящее время, исследования проблем биокоррозии, а также сопротивления материалов в области биологического воздействия, актуально[5].

Повреждения биологическими средами, как правило характерно для такого рода организмов как: грибы, бактерии, животные, растения. Но основной вред наносят микроскопического рода организмы.

Еще одним немаловажным требованием к разработке строительных материалов, является экологичность. К самому понятию экологичности могут относиться такие аспекты как:

- не токсичность;
- перерабатываемость;
- долговечность;
- взаимозаменяемость.

Также сухие строительные смеси крайне желательно производить из компонентов, расположенных на территориях в относительной близости. Например, при строительстве современных небоскребов или нередко микрорайонов, создают мини заводы по производству бетона.

В Российской Федерации, начиная с 80-х годов начало производство такого рода строительных смесей как:

- известково-песчаные (накрывные слои);
- известково-глинопесчаные (накрывные слои);

- цементно-песчаные (штукатурные и плиточные работы);
- терразитовые (для фасадов поверхности зданий);
- гипсовые с замедленным действием (штукатурные работы).

Повсеместное внедрение сухих строительных смесей началось в 90-х годах, но, тогда как правило это была продукция стран Европы, например: Knauf, Vetonit, Atlas [4].

Позднее в России стали появляться заводы известных компаний, но само производство все равно оставалось привязано к строительному рынку в целом. Поэтому неблагоприятные факторы, по-прежнему оказывают влияние на рынок строительных смесей.

В состав строительных смесей, как правило, входят следующие компоненты: органические вяжущие, минеральные вяжущие, заполнители и различные добавки.

На данный момент наиболее применяемыми нормативными документами по строительным материалам и смесям можно отнести ГОСТы (Таблица 1):

Таблица 1 - Нормативные документы по строительным материалам и смесям.

ГОСТ 31189-2015	“Смеси сухие строительные. Классификация”
ГОСТ 31356-2007	“Смеси сухие строительные на цементном вяжущем. Методы испытаний**”
ГОСТ 31357-2007	“Смеси сухие строительные на цементном вяжущем. Общие технические условия”
ГОСТ 31376-2008	“Смеси сухие строительные на гипсовом вяжущем. Методы испытаний**”

Разработка с применением современных технологий, в строительных смесях, по сравнению традиционными составами, дают следующие преимущества и подходы:

- широкая номенклатура;
- стабильность составов, в условиях заводского изготовления;
- всесезонность;
- утилизируемость;
- негорючесть;
- низкий химический вред;
- транспортировка на любые расстояния;
- хранения при низких температурах.

В доли состава сухих строительных смесей, если речь идет о минераловяжущих, как правило, приходится 90-95% самого наполнителя, остальную часть занимают органические или неорганические добавки, придающие такие параметры как:

- прочность;
- морозостойкость;
- пластичность;
- гидрофобность.

В качестве вяжущих обычно используются такого рода компоненты как:

- гипс;
- известь;
- различного рода цементы.

Последующие испытания проводятся под контролем специалистов метрологии. При разработке и проверке качества материалов, современные технологии позволяют применять такие приборы как спектрометры, которые хорошо зарекомендовали себя в ювелирной промышленности и археологических исследованиях.

Все современные подходы к производству и разработке, позволяют увеличить качество продукции, а также снизить затраты экономические и трудовые. Повышение качества продукции само собой дает толчок к развитию самой строительной индустрии [6].

В мире набирают все большую популярность программы по планомерной оптимизации всех составляющих сухих строительных смесей. В качестве решения данной проблемы рассмотрим систематизированную информацию, определения этапов проектирования современных составов сухих строительных смесей, представленную на (рисунке 1).

Данная модель модификации сухих строительных смесей добавками химического происхождения, позволяет корректировать и улучшать строительно-технические свойства минеральных составов. Данная информация подтверждается двумя крайними этапами 6 и 7.

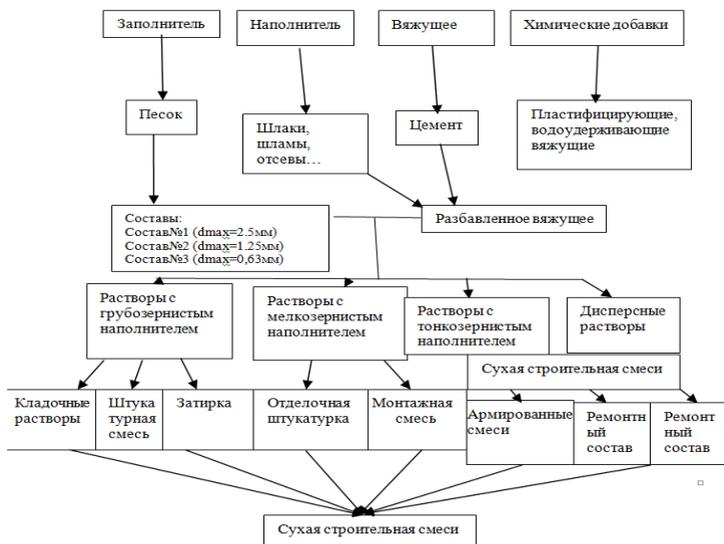


Рис 1. Этапы проектирования сухих строительных смесей. Рассмотрим подробнее каждый из этапов.

1-й этап: определение качественных характеристик сырьевых материалов основывается на таких факторах как доступность материала по расположению месторождений, мощности производственных предприятий; запасы, содержащиеся в отвалах с учетом ежегодных изменений и с учетом развития производственных предприятий [7].

2-й этап на базе выбранного месторождения, производится изучение гранулометрии и подбор составленных песков на основе разработок составленных песков для смесей различного назначения.

3-й этап характерен изучением структуры и формы зёрен минеральных наполнителей, а также последующим изучением их влияния на свойства разбавленного вяжущего [8].

4-й этап подбор составов минеральной части сухих смесей проводят при помощи метода математического планирования. В качестве переменных факторов выступают соотношения: наполнитель/вяжущее отправной точкой для которого стали исследования, проведенные на этапе №3, наполнитель/вяжущее – этап №2. После обработки результатов эксперимента с помощью специализированных программ на ЭВМ строятся ряд зависимостей влияния составов, минеральных частей сухих смесей на их свойства.

5-й этап связан с расчётом составов минеральной части определённых марок и характеристик, которыми они обладают. Для определения рационального содержания составляющих минеральной части с целью получения смеси с заданными характеристиками анализируются уравнения влияния компонентов на свойства смеси, полученные ранее [9].

6-й этап связан с выбором добавок для смесей. Производится выбор определённых марок исходя из рекомендаций фирм производителей или распространителей. Предварительное оптимальное содержание добавок пластификаторов и водоудерживающих реагентов подбирают исходя из изменений характеристик смесей. Именно рациональное соотношение между этими модификаторами позволяет получить смесь со значительной водоудерживающей способностью и требуемой подвижностью.

7-й этап по ранее построенным зависимостям рассчитываются составы комплексных добавок-премиксов и определяется оптимальное их содержание в сухих строительных смесях различных марок и назначения. Полученные модифицированные сухие смеси и характеристики, которыми они обладают, сравниваются с существующими аналогами.

Основные преимущества сухих строительных смесей:

Соблюдение технологии процесса позволяет изготавливать продукцию в заводских условиях уровня, указанного в нормативных документах, таких как ГОСТ, СНИП и др.

Применение пластификаторов, спец.добавок улучшает свойства сухих строительных смесей, позволяя достигать максимального качества и эффективность использования материалов.

Простота в приготовлении раствора на строительной площадке и в его логистике с момента выпуска с завода[10].

Снижение требований к качеству персонала за счет простоты технологии изготовления смеси в условиях строительной площадки.

Современное поколение и потребительские предпочтения при выборе сухих строительных смесей основываются на экологичности и инновационности. Данные направления должны стать приоритетами развития современного рынка индустрии сухих строительных материалов.

*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. Т. 974. С. 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. Ключев С.В. К вопросу фибрового армирования бетонов // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2018. №3-4 (230231). С. 42 – 47.
9. Ключев С.В., Ключев 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.
10. Лесовик Р.В., Ключев С.В. Фибробетон на композиционных вяжущих и техногенных песках курской магнитной аномалии для изгибаемых конструкций // Инженерно-строительный журнал. 2012. №3(29). С. 41 – 47.

*Иванюк Д.М., Бабешко А.В.*

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

## **ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПЕНОБЕТОНА НА КГВ В 3Д-АДДИТИВНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

В настоящее время в строительной отрасли отмечается снижение производительности, недостаток квалифицированных специалистов, замедленные темпы строительства, высокая себестоимость и недостаточная экологическая безопасность. В связи с этим развиваются новые революционные подходы в сфере способов возведения зданий и сооружений и разработке строительных композитов, в частности, 3Д-аддитивные технологии печати строительных объектов эффективными материалами, позволяющие поддерживать взаимосвязь трех структурных элементов «человек-материал-среда обитания», а также сокращать расходы, и воплощать различные архитектурные формы зданий и сооружений [1].

Основы аддитивного производства были заложен далеко в прошлом. Сущность 3Д-печати в создании детали способом наложения последовательно экструдированных слоев друг на друга. При этом процесс можно контролировать с помощью компьютера, в котором заложена трехмерная модель будущей детали, разделенная на слоисечения. Устройство, подающее материал движется по траектории, заданной этим компьютером, поэтапно проектируя создаваемое изделие.

Если исходить из информации в опубликованных источниках, касающихся этой темы, можно сказать, что наибольшее внимание разработчиков систем строительной печати сконцентрировано на способе экструдирования пластичных смесей. Привлекательным в данном способе является простота его технической реализации и лёгкость создания объектов сложной формы.

В тоже время можно отметить ряд важных моментов, на которые нужно обратить внимание, требующих доработки. Во-первых, сложные требования к реологии формовочных смесей и кинетике набора прочности. Масса одновременно, должна быть пластична для экструдирования и сохранять форму после укладки, а также быстро набирать первоначальную прочность для восприятия нагрузки от

последующих наносимых слоёв. Данную проблему предлагается решить за счёт применения комплекса минеральных добавок [2].

Из всего вышесказанного, особое внимание следует уделить адаптации технологий традиционных материалов, имеющих наибольшую эффективность и достаточно широкое применение, и экологический аспект. Разрабатываемые составы, по объединению своих показателей должны быть конструктивно новыми, то есть значительно отличаться от предыдущих устоявшихся, чтобы полностью соответствовать духу и требованиям новых способом производства. Проектирование и применение таких строительных композитов со свойствами, адаптированными под требования строительной 3д-печати и формирование правил их получения, обуславливает актуальность, теоретическую и практическую ценность исследований в данной сфере [3].

Одним из таких материалов является ячеистый бетон на композиционном гипсовом вяжущем с использованием активных минеральных добавок. Под композиционным вяжущим (КВ), в данном случае, понимается продукт, полученный совместным помолом или простым смешением вяжущей основы и комплекса минеральных и химических добавок. Важной особенностью КГВ является адаптированность его свойств под решение определённой задачи, что отличает его от портландцемента и его разновидностей, имеющих универсальное назначение. В качестве вяжущей основы КВ может выступать портландцемент, гипс и др., а также их смесь. В качестве активных минеральных добавок могут применять – разнообразные порошкообразные материалы или отходы от разрушенных зданий и сооружений. В качестве химических добавок – любые известные модификаторы.

Функции минеральной добавки более разнообразные:

- прямое или опосредованное влияние на формирование специфических свойств композиции, обусловленных решаемой задачей (физико-механических, микроструктурных, реологических и т.п.);

- создание заданных условий для протекания и управление процессами гидратации вяжущей основы КВ, в том числе обеспечение совместимости различных компонентов;

- оптимизация экономических показателей, в частности повышение активности при снижении содержания вяжущей составляющей; понижение активности с целью приведения её в соответствие с текущими потребностями и т.п.

Из существующих разновидностей ячеистых бетонов для 3д-аддитивных технологий потенциально применимы его неавтоклавные

виды. Пено- и газотехнологии имеют свои сильные и слабые стороны, однако в данной работе акцент сделан именно на неавтоклавном пенобетоне. Выявлено, что в зарубежной и отечественной практике наблюдается тенденция более широкого применения пенобетона по сравнению с газобетоном неавтоклавного твердения. При этом технология производства теплоизоляционных неавтоклавных пенобетонов не претерпела существенного изменения.

Главным аспектом акклиматизации технологии пенобетона к особенностям строительной печати, является разделение формовочной массы на две составляющих:

- основную – вяжущее, минеральные и химические добавки, наполнители;
- активирующую – комплекс добавок, обеспечивающий устойчивую поризацию и фиксацию полученной пористой структуры.

Смешивание данных двух частей должно происходить непосредственно в формирующем устройстве перед укладкой массы, непосредственно на строительной площадке. Такой подход позволяет согласовать технические требования работы устройств послыоного формования и физико-химические процессы, протекающие в формовочной массе, без существенного усложнения технологии и излишних затрат.

Получение композиционных вяжущих производилось совместным помолом портландцемента и гипса с минеральной добавкой бетонный лом до удельной поверхности 490...520 м<sup>2</sup>/кг. Химический состав активной минеральной добавки представлен в (таблице 1) ниже.

Таблица 1 – Химический состав бетонного лома

Содержание оксидов, %											
Si O <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ca O	Mg O	S O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Ti O <sub>2</sub>	Mn O <sub>2</sub>	Cl O <sub>2</sub>	Σ
51, 4	5,01	3,72	35, 23	1,2 5	0,6	1,5	0,5 1	0,3 1	0,08 7	0,2 9	99, 91

Положительные свойства гипсовых композиционных материалов: невысокая стоимость, экологическая чистота, быстрый набор прочности, хорошие тепло- и звукоизолирующие свойства, отсутствие усадочных деформаций, хорошая термозоляционная и звукопоглощающая способность, огнестойкость, положительное влияние на здоровье людей путем создания в помещениях благоприятного микроклимата и др. Все эти свойства позволяют

сохранять и повышать эксплуатационные качества зданий и комфорт их внутренней среды для обитания человека.

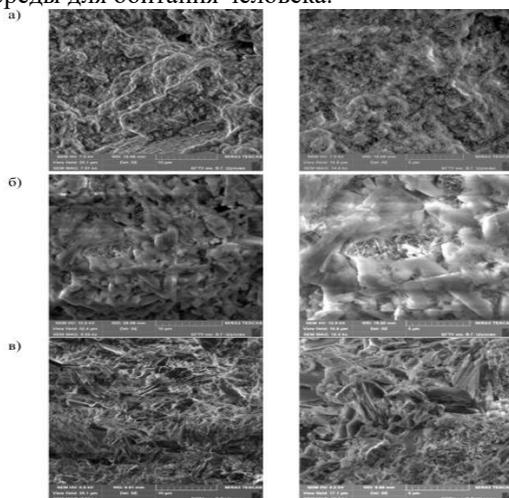


Рис. 1 Микроструктура затвердевшего КГВ с минеральной добавкой БЛ: а) через 2 час; б) через 7 сут.; в) через 28 сут.

Анализ микроструктуры КГВ показал, что в вяжущем, которое содержит в своем составе тонкомолотый бетонный лом, образуются гидросиликаты кальция, хорошо видны на (рисунке 1). Имеющиеся поры почти полностью зарастают мелкими кристаллами гидросиликатов кальция, при обретающих морфологию дендритоподобных образований и создающих уплотненную оболочку вокруг частиц гипса. За счет гидросиликатов такой морфологии затвердевшее КГВ упрочняется. К 28 суткам оболочка гидросиликатов стано вится достаточно плотной, частицы объединяются в непрерывную мелкокристаллическую структуру с упрочненными связями, предположительно гидросиликатов, гидроалюмосиликатов, гидроалюмо-ферритов кальция и двуводного сульфата кальция, как результат твердения портландцемента и полуводного гипса.

Таблица 2 – Физико-механические свойства композиционного гипсового вяжущего

Вид вяжущего	В/В	Сроки схватывания, мин		Прочность на сжатие, МПа		
		Начало	Конец	2 ч.	7 сут.	28 сут.
КГВ (ТБ)	0,42	10	11	5,8	12,6	15,7

На 28 сутки твердения частицы гидросиликатов объединяются в непрерывную структуру, упрочняются связи между кристаллами гипса. Таким образом, введение в состав КГВ тонкомолотого бетонного лома позволяет получить более плотную микроструктуру за счёт создания химических связей между элементами затвердевшего камня.

КГВ при твердении приобретает в 2-3 раза большую прочность, чем гипс, при одинаковой средней плотности. Использование его в производстве пенобетонных блоков может оказаться эффективным, так как при этом обеспечивается результат требований свойств готового изделия. В соответствии с этим целесообразна разработка составов и исследование свойств пенобетонов на основе композиционного гипсового вяжущего [4].

Таким образом, разработка составов строительных композитов, в том числе и порошковых, а также организация их производства для аддитивных технологий позволит:

- обеспечить строительную отрасль промышленности изделиями сложной формы, с высокими эксплуатационными характеристиками;
- исключить технологическую зависимость от зарубежных компаний - поставщиков изделий для отечественного производства;
- снизить себестоимость изготовления изделий сложной формы за счет отказа от дорогостоящих операций механической обработки; - повысить конкурентоспособность высоко-технологичных изделий на международном и отечественном рынках;
- многократно сократит сроки строительства и др.

У гипсовых композиционных материалов большое будущее. Темпы прироста их производства и применения будут значительно больше, чем у всех остальных строительных материалов и позволит не только улучшить экологическую обстановку, снизить энергоёмкость стройиндустрии, но и создать комфортные условия для существования человека.

Благодаря составу вяжущего можно эффективно управлять процессами структурообразования пенобетона на основе КГВ для использования в 3D аддитивном строительстве. Рациональный подбор состава композиционных вяжущих позволит заложить основы требуемого характера реологических характеристик формовочных смесей с минимальными затратами.

Исследование технологии строительной печати поризованными составами позволит наращивать её возможности, подстроив их под существующие потребности, а именно формирования полнотельных конструкций с необходимыми теплотехническими показателями и прочностными характеристиками.

Применение технологии аддитивного производства для возведения зданий и сооружений позволит существенно сократить затраты за счет снижения расходов материалов и повышения уровня производительности, откроет новые творческие подходы для развития строительной индустрии.

*Исследование выполнено в рамках Плана фундаментальных научных исследований Минстроя России и РААСН, тема 3.1.2.6.*

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Лесовик В.С. Архитектурная Геоника. Взгляд в будущее // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2013. №31-1 (50). С. 131–136.

2. Ивасюта А.В., Иванов Н.А. Перспективы использования технологии 3d-печати при строительстве зданий и сооружений // Научное обозрение. 2016. № 9. С. 52–55.

3. Руднев И.В., Жаданов В.И., Соболев М.М. Аддитивные технологии в строительстве. Проблемы и перспективы // В сборнике: Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры материалы Всероссийской научно-методической конференции. Оренбургский государственный университет. 2017. С. 932–935.

4. Чернышева Н.В., Шаталова С.В., Евсюкова А.С., Фишер Ханц-Бертрам. Особенности подбора рационального состава композиционного гипсового вяжущего // Строительные материалы и изделия. 2018. Том 1. №2. С. 45–52.

**УДК 666.94:621.926**

***Игнатова М.С., Игнатов Е.Н.***

***Научный руководитель: Загороднюк Л.Х., д-р техн. наук, проф.***

***Белгородский государственный технологический университет***

***им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия***

## **БИОЦИДНЫЕ РАСТВОРЫ НА ОСНОВЕ СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ ДЛЯ СОХРАНЕНИЯ ДЕРЕВЯННЫХ ЗДАНИЙ**

Одна из наиболее распространенных причин преждевременного выхода деревянных изделий из эксплуатации – это биологическая

деструкция древесины. От 30 до 60% древесины подвергается отрицательному воздействию дереворазрушающих микроорганизмов, таких как грибов, насекомых (личинок) и водорослей. Данный процесс разрушения деревянных зданий можно предотвратить, обрабатывая их биоцидными растворами. Многообразие микроорганизмов биологического разрушения, широкий диапазон технологических и экологических требований к средствам химической защиты древесины приводят к большому разнообразию рецептур и композиций биоцидных сухих строительных смесей. В настоящее время вырос интерес к поиску и изучению свойств новых биоцидных растворов для древесины. Это связано с существенным ужесточением требований к безопасности защитных средств, а также с многочисленными исследованиями, связанными с влиянием биоцидных растворов на здоровье человека и окружающую среду.

Конструкции из дерева служат десятилетиями. Это абсолютно экологически чистый, радиопрозрачный, химически стойкий материал, который не влияет негативно на здоровье человека и окружающую среду. В строительстве древесину можно использовать как самостоятельно, так и в сочетании с другими материалами [1]. Очень важна биологическая и химическая стойкость сухих деревянных конструкций, не укрепленных металлом. Но существуют отрицательные качества в эксплуатации древесины (очень высокая влажность, закупорка влаги, увлажнение из-за отсутствия постоянного ее проветривания и просушивания) при возведении и эксплуатации деревянных конструкций. Соответственно, если вовремя не принять меры по исключению этих факторов, которые способствуют развитию грибов и, тем самым, разрушают древесину, деревянные здания и конструкции могут стать непригодными для жилья [2].

Самыми опасными врагами древесины являются тепло, влага, грибы, насекомые и огонь, от которых ее необходимо надежно защищать. При использовании древесины в строительстве, а также при непосредственной ее эксплуатации, необходимо исключить на начальном этапе, еще в процессе проекта или в период строительства и эксплуатации деревянных зданий благоприятные условия для развития дереворазрушающих грибов. Для этого древесину необходимо обрабатывать биоцидными растворами, чтобы впоследствии защитить от разрушения, а в будущем предостеречь от неблагоприятных для нее условий. Это существенно увеличит срок службы деревянных зданий и снизит возникающие затраты на ремонт.

Защиту древесины от гниения проводят различными методами: поверхностная обработка, пропитка, также используется диффузный

метод, химическое консервирование, которое основано на непосредственном введении в древесину, а именно в клеточную оболочку и, соответственно, в саму клетку.

Биоцидные растворы должны обладать высокой токсичностью против дереворазрушающих грибов, быть нелетучими, не вымываемыми из пропитанной древесины, но при этом легко проникать на большую глубину, а также допускать в дальнейшем последующую обработку древесины. Но главное, обладать малой токсичностью и безопасностью для здоровья человека [2].

В настоящее время жестким экологическим требованиям отвечают: борсодержащие вещества, карбаматы, неорганические соединения меди, нафтенаты и цитраты меди, модифицированные крезотные масла, которые не содержат в своем составе сульфамиды, четвертичные аммониевые соединения металлов, изотиозолонны. Борсодержащие неорганические фунгициды, к которым относятся борная кислота, бораты цинкаоктаборат натрия, тетраборат натрия, преимущественно используют для защиты древесины внутри помещений. Они не только защищают от повреждения дереворазрушающими грибами и насекомыми, но и снижают горючесть древесины. Бораты, в большинстве, применяются в виде водных растворов. Они низкотоксичны для здоровья человека. Недостаток их состоит, в том, что они легко вымываемы из древесины и обладают невысокой эффективностью к плесневым грибам. Неорганические бораты, защищают древесину снаружи помещений, в их состав входят фиксативы (поливиниловый спирт) и водоотталкивающие добавки, которые снижают вымываемость из древесины. Эффективным веществом, которое обладает фунгицидными свойствами, является дидецилдиметиламмонийтетрафтороборат. У него высокая эффективность к дереворазрушающим грибам и низкая вымываемость.

Наиболее эффективным из класса фунгицидных карбонатов является йодопронилбутилкарбамат. Его применяют в растворах и органических растворителях, таких, как ацетон, ксилен и в водных эмульсиях. Он обладает широким спектром действия и наиболее эффективен против разнообразных групп грибов. Но самую большую эффективность он показывает при защите влажной древесины от поражения плесневыми и деревоокрашивающими грибами. Токсичность его умеренная.

В настоящее время широкое распространение получили четвертичные аммониевые соединения, которые используют для защиты древесины. Они обладают максимальной эффективностью по

отношению к деревоокрашивающим и плесневым грибам и значительно меньшей - к грибам дереворазрушающим. Данные соединения хорошо растворимы в воде и могут смешиваться со спиртом. В древесине они закрепляются путем ионной реакции с карбонильными группами лигнина и гемицеллюлоз. Их не используют для защиты сортиментов, которые в дальнейшем будут эксплуатироваться с грунтом, потому что обладают низкой стабильностью, быстрой фиксацией вблизи от поверхности древесины и способностью повышать ее водопоглощение. Их применяют в обработке древесины, которая эксплуатируется как внутри, так и снаружи деревянных конструкций, но без контакта с грунтом. Соответственно используются комбинированные защитные средства, в состав которых входят медь и борсодержащие вещества, триазолы. Наиболее известными фунгицидными сульфамидами являются дихлофлуанид и толилфлуанид. Сульфамиды обладают наибольшей эффективностью при защите от плесневых и деревоокрашивающих грибов. Отрицательные их свойства состоят в том, что в высоких концентрациях они способны достаточно активно ингибировать и провоцировать рост дереворазрушающих грибов. Сульфамиды применяются в виде органических растворов и водных эмульсий. В основном, они используются в качестве добавок для защитно-декоративных покрытий древесины, которые предназначены для защиты деревянных конструкций, не контактирующих с почвой.

Следующим классом органических фунгицидов, получивших широчайшее распространение в составе современных биоцидов, являются триазолы. К этой группе относятся: пропиконазол, тебуконазол, азаконазол. Триазолы обладают стабильностью в окружающей среде и практически не токсичны для человека. Применяются в виде растворов и водных эмульсий. Они ингибируют рост всех типов деревоповреждающих грибов, но в качестве самостоятельных не обладают достаточной эффективностью против базидиомицетов. Ингибирующий эффект триазолов по отношению к базидиомицетам повышается введением в раствор антиоксидантов или хелаторов металлов. Например, натуральным антиоксидантом является кофеин, обладающий фунгицидными свойствами и способностью вызывать изменения в структуре клеточных оболочек грибов. Комбинированные составы на основе пропиконазола с кофеином имеют ярко выраженный синергетический эффект и обладают способностью эффективно ингибировать развитие базидиальных дереворазрушающих грибов.

Для консервирования древесины в самых тяжелых условиях эксплуатации широко используются металл-азольные комплексы. К

ним относятся препараты, состоящие из пропиконазола или тебуконазола в сочетании с ацетатом меди. Они обладают более высокой ингибирующей способностью по сравнению с изначальными компонентами по отдельности.

Вещества группы триазолов наименее опасны для человека и окружающей среды, но их широкое применение ограничивается возможностью снижения защитных свойств, ввиду биодеструкции в процессе эксплуатации пропитанной древесины. Т.к. способность отдельных разновидностей протеобактерий разлагает органические фунгицидные соединения, такие как пропиконазол и хлороталонил.

Лучшими среди средств, предназначенных для долгосрочной защиты древесины в процессе ее эксплуатации являются консерванты на основе меди. Обладают высокой эффективностью медьсодержащих защитных средств против грибов древесины.

В настоящее время наибольшее внимание уделяется исследованиям использования нанотехнологий в сфере защитной обработки древесины. Исследуются противогрибковые свойства веществ на основе наночастиц: алюминия, серебра, цинка, меди. В данное время доказано, что фунгицидные свойства нанобиоцидов со средним размером частиц 150–250 нм очень отличаются от свойств соответствующих металлов. Они с легкостью проникают в древесину через поры клеточных оболочек, это обеспечивает сквозную пропитку и высокую равномерность распределения по объему сортимента. Особенно перспективным выглядит применение составов на основе микрочастиц меди размером от 10 до 700 нм. Карбонат меди закрепляется в древесине, образуя октаэдральный комплекс с шестью атомами кислорода и атомом меди в центре. Одновременно происходит окисление ионами меди  $\text{Cu}^{2+}$  структурных элементов таких как целлюлоза и гемицеллюлоза, лигнин. В процессе медь устойчиво связывается со всеми компонентами древесины. Наименьшие частицы получают химическим делением либо путем тонкого механического измельчения и в дальнейшем используют в виде водных дисперсий. Возникает необходимость в применении аммиака (аммония), который в традиционных медных консервантах используется для образования растворимых медных комплексов. В итоге у древесины, пропитанной биоцидными растворами, отсутствует запах аммиака, соответственно снижается ее коррозионная агрессивность, уменьшается вымываемость меди в процессе эксплуатации древесины. Помимо биоцидных растворов на основе микрочастиц, эффективны и натуральные фунгициды, а именно, это - хитозан и эфирные масла. Хитозан также экологичен, но обладает легкой вымываемостью из древесины [3].

В настоящее время, в связи с ужесточением требований к экологической безопасности средств химической защиты древесины, все больше требуется поиск и разработка новых высокоэффективных и безопасных биоцидных растворов, и их композиций.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Строганов В.Ф. Биоповреждение древесных материалов и конструкций / В.Ф. Строганов, В.А. Бойчук, Е.В. Сагадеев // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2014, № 2 (28). С. 185–193

2. Антонов Б.В. Влияние биоповреждений зданий и сооружений на здоровье человека // Биоповреждения и биокоррозия в строительстве: материалы III Междунар. науч.-техн. конф. Саранск, 2006. С. 238-242.

3. Гридчин А.М., Ю.М. Баженов, В.С. Лесовик, Л.Х. Загороднюк, А.С. Пушкаренко, А.В. Васильченко Строительные материалы для эксплуатации в экстремальных условиях. – Белгород:Изд-во БГТУ, 2008. - 595 с.

4. Микробиологическое разрушение материалов: учебное пособие / В.Т. Ерофеев [и др.]; под редакцией В.Т. Ерофеева и В.Ф. Смирнова. - М.: Изд-во Ассоц. строит. вузов, 2008. – 128 с.

**УДК 666.94:621.926**

***Кикалишвили Д.Г.***

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

## **АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА МИНЕРАЛЬНОЙ ВАТЫ**

Согласно проведенному анализу в мировой научной литературе отмечается возрастание количества работ по использованию отходов волокнистых теплоизоляционных материалов в строительном материаловедении. Это обусловлено не достаточной изученностью данного отхода в сравнении с известным техногенным сырьем. Мировой масштаб накопления отходов минеральной ваты составляет 2,54 миллиона тонн в год [1]. В России при объемах производства, например, базальтовых волокнистых утеплителей в количестве 50 тыс.

т / год, образуется до 4 т / год отходов. Из-за сравнительно невысокой насыпной плотности ( $\rho = 200\text{-}220 \text{ кг/м}^3$ ), территории под складирование занимают большую долю площадей на заводских складах и полигонах, что вызывает экологические проблемы.

В решении этой проблемы большая часть исследований проводится Китайскими учеными [1]. Известны работы по использованию отходов в вяжущих на основе цемента [2], гипсовых и геопалимерных вяжущих [3].

Отмечается, что добавление 10% по объему минеральной ваты позволяет повысить прочность на сжатие цементного бетона на 20% и предел прочности на разрыв на 30%, а волокнистая составляющая отхода действует как фибра, препятствующая распространению трещин [4]. В общем случае на эффективность действия отхода минеральной ваты зависит от химического состава, на который влияет тип исходного минерального сырья.

Технология получения минерального волокна включает плавку горных пород при температурах свыше 1500 С, что отражается на полиморфных преобразованиях кварца и увеличении степени его дефектности, а, следовательно, активности. Как правило, изоляционные материалы получают из горных пород таких как, базальт, анортзит, доломит, диабаз, оливиновый песок, шлак.

Химический состав переработанного волокнистого отхода отличается высоким содержанием  $\text{SiO}_2$  (до 70%) (при наличии активных высокотемпературных модификаций кварца) и  $\text{CaO}$  (до 20%), таким образом, аналогичен пуццолановым материалам, таким как зола-унос, молотый гранулированный доменный шлак и микрокремнезем. Кремнезем в данном виде техногенного сырья находится в аморфном высокодисперсном состоянии, что обуславливает высокую растворимость в насыщенных щелочных растворах гидратируемого вяжущего и активное взаимодействие с  $\text{Ca(OH)}_2$ , выделяющимся в результате гидратации клинкерных минералов. Эти процессы позволяют направлено синтезировать низкоосновные гидросиликаты кальция при гидратации отвечающие за прочностные свойства готового строительного изделия.

Результаты анализа литературы и патентозащищенных составов и способов получения смесей с использованием отходов минераловатного производства в России показали, что в зависимости от химического состава и размера частиц, отходы минеральной ваты могут использоваться как активная минеральная добавка, компонент композиционного вяжущего или как наполнитель в композитах на основе цемента. В особой степени это относится к направленному

снижению использования в композиционных материалах самых энергоемких и неэкологичных, по способам производства, минеральных высококальциевых вяжущих, в частности – портландцемента, инициирующих основной объем техногенных выбросов.

Так в работе [5] показана возможность использования "королька" или его смеси с кварцевым песком в качестве мелкого заполнителя фракции 0,15-5 мм при производстве ограждающих конструкции из легкого бетона, а также в качестве активной минеральной добавки при помол "королька" до удельной поверхности 150-200 м<sup>2</sup>/кг в работе [6].

Также предлагается способ получения газобетона с возможностью полного отказа от использования цемента, упрощения технологии его производства, повышения прочности, при котором часть цемента и высококальциевой золы заменяют на «корольки» [7].

Возможно использование рассеянного отхода минеральной ваты для производства вяжущего, т.к. "корольки" можно отнести к высококальциевым отходам, содержащим стеклофазу, и в тонкоизмельченном виде обладающим вяжущими свойствами, при условии активации известью и гипсом [8]. Также отходы производства минеральной ваты фракции менее 2,5 мм, размолотые до удельной поверхности 350-400 м<sup>2</sup>/кг, используют для получения шлакощелочного вяжущего для растворов и бетонов различного назначения. Вяжущее, включает и щелочной активатор-6-11%-ный водный раствор гидроксида натрия [9].

В работе [10] также показана возможность получения шлакощелочных вяжущих из отходов производства минеральной ваты и композитов на их основе, стойких в условиях агрессивного воздействия биологических сред.

Для получения стеклокремнезита отходы производства минеральной ваты предварительно термически обрабатывают при температуре 700-750 °С, затем следует помол, прессование и спекание при температуре 1160-1180 °С [11]. Для получения шихты при производстве керамического кирпича используют смесь, содержащую древесные опилки, гранулированный шлак, отходы производства минераловатных плит, а также суглинок и/или глина – остальное [12].

Одной из важных задач переработки вторичного базальтового волокна, в насыпном или уплотненном состояниях, является значительное снижение его объёма; придание свойств сыпучести; возможность получения товарной продукции. Поэтому целесообразно использовать постадийный процесс комплексной переработки базальтовых волокнистых отходов.

Таким образом, устойчивое развитие промышленности строительных материалов сопровождается возрастающими экологическими ограничениями, требующими разработки научно-технических решений с использованием нетрадиционного техногенного сырья, к которому можно отнести отходы производства волокнистых теплоизоляционных материалов, что позволит за счет проектирования многокомпонентных полидисперсных составов получать строительные изделия с улучшенными физико-механическими свойствами.

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. Cheng A.; Lin W.T.; Huang R. Application of rock wool waste in cement-based composites. *Mater. Des.* 2011, 32, 636–642.

2. Sharif A.; Arshian R.; Najmi A.; Tseng M.-L.; Lim, M.K. Dynamic and causality interrelationships from municipal solid waste recycling to economic growth, carbon emissions and energy efficiency using a novel bootstrapping autoregressive distributed lag. *Resour. Conserv. Recycl.* 2021, 166, 105372.

3. Yliniemi J.; Kinnunen P.; Karinkanta P.; Illikainen M. Utilization of Mineral Wools as Alkali-Activated Material Precursor. *Materials* 2016, 9, 312.

4. Lin W.T.; Han T.Y.; Huang C.C.; Cheng A.; Huang R. Using rock wool wastes as partial replacement of cement in cement-based composites. *Adv. Sci. Lett.* 2012, 8, 489–4947.

5. Патент № RU2116273 С1 Ограждающая конструкция из легкого бетона и бетонная смесь, дата подачи заявки: 20.09.1994г., дата опубликования: 27.07.1998г.

6. Патент № RU2439018 С2 Смесь для получения строительного материала. Дата подачи заявки: 19.10.2009г., дата опубликования патента: 10.01.2012г.

7. Патент № RU 214890 С1 «Легкий бетон неавтоклавного твердения» / Белан В.И., Костин В.В., Никитина И.А., Сошкина Г.Н. дата подачи заявки: 14.05.1996г., дата опубликования патента: 10.11.1999г. Бюл. № 12.

8. Патент № RU2720044 С1 Способ получения стеклокремнезита на основе отходов производства минеральной ваты / Минько Н.И.,

Бондаренко Н.И., Бессмертный В.С., Добринская О.А., Бондаренко М.А., Кочурин Д.В. Дата подачи заявки: 11.12.2019г., дата опубликования: 23.04.2020г. Бюл. № 12.

9. Патент № RU 2234473 С1 Шихта для производства минеральной ваты/ Нефедова И.Н., Крашенинникова Н.С., Косинцев В.И., Лотова Л.Г., Эрдман С.В. Дата подачи заявки: 10.02.2003г., дата опубликования: 20.08.2004г. Бюл. № 23.

10. Ерофеев В.Т., Родин А.И., Якунин В.В., Богатов А.Д., Бочкин В.С., Чегодайкин А.М. Шлакощелочные вяжущие из отходов производства минеральной ваты // Инженерно-строительный журнал. 2018. № 6(82). С. 219–227.

11. Патент № RU 2 691 798 С1 Вяжущее /Родин А.И., Якунин В.В., Чегодайкин А.М., Богатов А.Д., Казначеев С.В., Бочкин В.С., Цой В.М., Адылходжаев А.И., Ерофеев В.Т. Дата подачи заявки: 05.02.2018г., дата опубликования: 18.06.2019г. Бюл. № 17.

12. Патент № RU2 412 131 С1 Шихта для изготовления керамического кирпича. Дата подачи заявки: 2009.11.23, дата опубликования патента: 2011.02.20. Бюл. № 5.

#### **УДК 691.328.5**

*Кириченко Д.Е., Свинцова Т.В., Чуриков А.С., Охрименко С.А.  
Научный руководитель: Загороднюк Л.Х., д-р техн. наук, проф.  
Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

### **ПРОБЛЕМЫ ХРАНЕНИЯ, ПЕРЕВОЗКИ И ЗАХОРОНЕНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ**

В результате стремления человечества находить все более эффективное и дешевое энергетическое топливо, Советским Союзом была построена первая в мире атомная электростанция в 1948 году. Но время показало, что производство данного вида энергии имеет множество недостатков. И речь не только о страшных трагедиях, вызванных халатным отношением людей, которые произошли с подобными сооружениями. В настоящее время, ключевой проблемой любых ядерных отходов и применения радиоактивных материалов является вопрос об их последующей переработке и захоронении, чтобы они не смогли причинить вред всему человечеству.

Но негативное влияние подобных веществ не вечно. Сроки, по прошествии которых радиоактивные отходы и отработанное ядерное топливо станут безопасны как для человека, так и для и окружающей

среды, могут зависеть от многих факторов. Этот процесс может длиться как несколько месяцев, так и многие годы, и столетия, а отходы высокого уровня активности могут оставаться опасными для окружающей среды на целые тысячи и сотни тысяч лет (например, отработавшее топливо). Поэтому обеспокоенность человечества данными проблемами вполне обоснована, и подобные процессы должны контролироваться правительствами стран на самом высоком уровне.

Ученые ежедневно бьются над тем, чтобы минимизировать негативное влияние отходов на окружающую среду и людей. Так, новейшие разработки предполагают переработку отходов, для поэтапного снижения их пагубного влияния. Но даже после прохождения множества ступеней очистки, радиоактивные и экологически опасные отходы все еще представляют немалую угрозу для окружающей среды. И, чтобы свести эту угрозу к минимуму, безопасность в долгосрочной перспективе достигается посредством захоронения отходов. А в период, когда необходимо ожидать создания соответствующей установки для захоронения, или требуется перевезти отходы к точке захоронения, безопасность окружающей среды обеспечивается путем грамотного временного хранения [1].

Подобная необходимость возникает из-за того, что каждые отходы уникальны, и для каждого вида этих отходов необходимо свое решение по захоронению. А для разработки и создания подобного решения может потребоваться много времени. Потому и существует потребность грамотного временного хранения ядерных отходов.

Процессом хранения экологически опасных отходов называют содержание радиоактивных источников, отработавшего топлива, иных радиоактивных и не только отходов в установке, которая способна обеспечить изоляцию этих веществ и подразумевает последующее их извлечение. Из этого определения следует, что хранение – это лишь промежуточная операция [2].

Для обеспечения необходимого уровня безопасности и возможности удобного хранения и извлечения отходов, с соблюдением всех требований и гарантий безопасности рабочих, гражданского населения и минимизации негативного влияния на окружающую среду, требуется система хранения, состоящая из двух компонентов – контейнера, непосредственного содержащего отходы и помещения для их хранения.

Помещение должно обеспечивать необходимую рабочую среду, чтобы за период хранения не происходило преждевременного разрушения контейнеров и сохранялась возможность безопасного

извлечения, перемещения и складирования отходов. Поэтому конструкция такого помещения непосредственно связано с типом хранящихся в них отходов.

В свою очередь, упаковка для отходов состоит из непосредственно отходов (чаще всего в твердой форме) и контейнера. Он обеспечивает безопасное хранение экологически опасных отходов в течение требуемого времени, и имеет отличительные особенности, необходимые для каждого конкретного типа отходов. При этом, контейнер должен содержать необходимые конструктивные особенности для удобного перемещения, хранения и выполнения прочих операций по складированию в помещениях [3].

Такие контейнеры могут служить для двух целей: для перевозки и для хранения. В зависимости от цели, различаются и их конструктивные особенности.

В Российской Федерации в качестве основного материала для длительного хранения и захоронения экологически опасных материалов применяется армированный бетон. Контейнеры на его основе отличаются повышенной прочностью к механическим воздействиям и большей радиационной защитой, в сравнении с обычным бетоном [4].

Такие контейнеры представляют собой модули с одной или несколькими полостями для хранения. Прочность и радиационная защита обеспечивается благодаря применению высокопрочного плотного прессованного бетона.

Так же, внутри железобетонных контейнеров могут размещаться герметичные металлические конструкции. Делается это для дополнительной защиты от радиационного излучения, укрепления конструкции и сокращения расхода бетонной смеси, ведь при одинаковой толщине стенок, металлические конструкции будут сильнее препятствовать прохождению вредного излучения.

В отдельных случаях, для железобетонных контейнеров может создаваться дополнительный внешний уровень защиты из металла, особенно у полости для хранения внутреннего контейнера. Так же, возможен вариант с герметизацией хранилища контейнера [5].

Чаще всего, железобетонные контейнеры используются как невозвратные, не предусматривающие их открытия и предназначенные для окончательного захоронения вредных отходов. Это обусловлено прекрасными защитными свойствами бетонов и высокой устойчивостью к негативному воздействию окружающей среды (устойчивость к радиации, коррозии, высокая морозостойкость).

Стандарты ГОСТ предъявляют к железобетонным контейнерам высокие требования по прочности и плотности бетона, коррозионной

стойкости и стойкости к агрессивному воздействию факторов окружающей среды. Помимо этого, такой бетон должен хорошо себя проявлять и в вопросах поглощения радиоактивного излучения [6].

Необходимо, чтобы бетон для контейнера обладал повышенной плотностью и прочностью. Его прочность на сжатие должна превышать 65 МПа. А марка морозостойкости должна быть не ниже F300 [7].

В настоящее время ученые все еще бьются над вопросом грамотной переработки радиоактивных и экологически опасных отходов. А до тех пор, человечеству не остается иного выбора, кроме как подвергать захоронению эти отходы, которые могут представлять опасность для человека и окружающей среды многие сотни лет. Поэтому контейнеры, в которых происходит захоронение этих отходов, должны исправно служить не менее 300 лет и даже больше. А помещения, в которых будут находиться эти контейнеры, должны проектироваться так, чтобы никакие внешние воздействия не смогли допустить выброса негативных веществ в окружающую среду. Только так человечество сможет гарантировать безопасность для будущих поколений.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Алфимова Н.И. Современные тенденции развития радиационно-защитного материаловедения / Н.И. Алфимова, С.Ю. Пириева, А.В. Федоренко, М.С. Шейченко, Я.Ю. Вишневская // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2017. № 4. С. 20–25

2. Володченко А.А. Решение экологических проблем за счет использования техногенного сырья / А.А. Володченко, Аль-Машрафи Али Нассер Али, Н.Ю. Гуторов // Международная научно-техническая конференция молодых ученых. – Белгород: 2017. – с. 5-6.

3. Радиоактивные отходы АЭС и методы обращения с ними / А.А. Ключников [и др.]; под ред. Шигеры Ю.М. – Чернобыль: ИПБ АЭС НАН Украины, 2005. – 238с.

4. Гордон С.С. Прогноз долговечности железобетонных конструкций. – Бетон и железобетон – №6. 1992 – с. 23-25.

5. Бабушкин В.И. Физико-механические процессы коррозии бетона и железобетона. М.: Стройиздат, 1968. - 186с.

6. ГОСТ 51824-2001. Контейнеры защитные невозвратные для радиоактивных отходов из конструкционных материалов на основе бетона.

7. Смоликов А.А., Павленко В.И., Колесников Д.А. Тяжелый радиационнозащитный бетон. - Бетон и железобетон – №4. 2009 – с. 6-

*УДК 676.2.038.22.024.5*

*Литовка В.А., Бараишков И.А., Шахова А.В.  
Научный руководитель: Кравченко В.М., асс.*

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

## **ВТОРИЧНАЯ ПЕРЕРАБОТКА БУМАГИ**

В последние годы прошлого века вопрос переработки макулатуры стал актуальным вследствие ряда причин. Увеличение общего количества отходов населения планеты ведет к поискам путей их переработки. Проблема энергосбережения напрямую связана с использованием вторичного сырья. Себестоимость некоторой продукции снижается при замещении составляющих вторсырьем. Экологические вопросы также занимают умы людей, проблема сбережения лесов как никогда актуальна сегодня. Эти и другие нюансы привели к тому, что макулатура и ее переработка заняли важное место в жизни многих городов и предприятий [1,2].

Бумага занимает исключительное место в жизни людей. Её открытие, как и изобретение колеса, - чудо, одно из величайших завоеваний человеческого разума. Появившись однажды, бумага прочно утвердилась на Земле и, не зная конкурентов, победно идет через столетия. Дружба, начавшаяся с бумагой в детстве, не прекращается всю жизнь, дома, в школе, на улице, в магазине, на работе у родителей мы рады этой встрече. Бумага входит к нам в квартиру свежей газетой, новым номером журнала, письмом. В школе на парте лежат учебники, тетради по которым мы учимся. Большая часть предметов домашней обстановки связана с бумагой, полки с книгами, обои на стенах, коробки из-под обуви и т.д. Макулатура представляет собой традиционное вторичное сырье, используемое для производства бумаги и картона. Количество макулатуры, используемой в традиционных видах картонно-бумажной продукции, зависит от уровня цен на первичное сырье и спроса на эту продукцию. Кроме того, малые предприятия также могут использовать макулатуру в качестве вторичного сырья для производства изоляционных материалов, клубневых вкладышей, туалетной бумаги и строительных материалов [2,3].

Считается, что фактическое начало истории бумаги приходится на 105 год нашей эры, когда ее родиной был Китай. Хотя это не совсем так, ведь бумага в Китае появилась гораздо раньше. Тем не менее, Цай Лунь расширил и усовершенствовал известные способы изготовления бумаги и предложил технический принцип изготовления бумаги - путем обезвоживания предварительно разбавленной волокнистой суспензии на сетке отдельные волокна превращаются в листы. Происхождение бумаги во многом связано с тем, что для производства бумаги пригодны почти все растительные материалы и отходы: лубяные волокна тутового дерева, побеги бамбука, солома, трава, мох, водоросли и т.д. Нет никаких сомнений в том, что изобретение печатного станка оказало большое влияние на историю бумаги. В пятнадцатом и шестнадцатом веках темпы производства бумаги увеличились, и были введены новые технологии производства. История бумаги продолжилась, и во второй половине XVII века были изобретены точилки для карандашей. Трудно представить себе более важную веху в истории изобретения бумаги, так как использование такого оборудования могло значительно увеличить производство. К концу 18 века гораздо больше целлюлозы производилось с использованием полотна, но ручное волочение (зачерпывание) сильно тормозило рост производства. Поэтому еще одно важное событие в истории производства бумаги произошло в 1799 г. - француз Н. Л. Робер изобрел бумагоделательную машину и механизировал прилив и отлив бумаги непрерывно движущейся сеткой [1,2]. История бумагоделания и производства бумаги продолжается, и в 1806 г. братья Г. и С. Фурдринье, получившие патент Робера и продолжавшие работать над литейными машинами в Англии, запатентовали свою бумагоделательную машину.

К середине 19 века с некоторыми модификациями машина превратилась в довольно сложную машину, которая работала непрерывно и в основном автоматически. Бумажное производство в 20 веке представляло собой крупную, высокомеханизированную отрасль с технологическими решениями производства, крупными тепловыми электростанциями и достаточно сложными химическими цехами по производству волокнистых полуфабрикатов. Сегодняшняя бумага на 98% состоит из дерева, что приводит к массовой вырубке лесов. Кроме того, бумажные фабрики сильно загрязняют окружающую среду, потому что для изготовления бумаги из дерева используется слишком много химикатов. Большую часть бумаги, которую мы используем сегодня, можно назвать «химической бумагой». Переработка макулатуры снижает потребность в вырубке лесов для производства различных видов бумаги и картона. Ведь бумага и картон — это

спрессованные и сухие вещества, состоящие из целлюлозы и клея, которые связывают волокна вместе в единое целое.

Действия, выполняющие при переработке макулатуры, представлены на (рисунке 1).

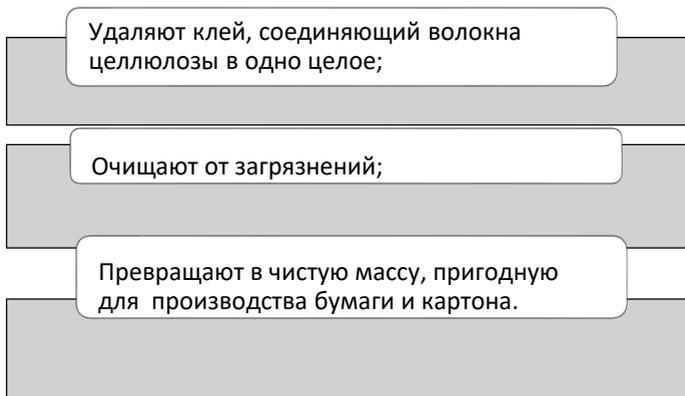


Рис.1 последовательность переработки макулатуры.

Переработка макулатуры в бумагу, картон и другие изделия требует нескольких этапов:

1. Первая стадия (сортировка, измельчение, первичное растворение, очистка от примесей)

2. Второй этап (вторичное растворение, тонкая очистка, глубокая переработка)

После завершения второй стадии получают очищенный водный раствор, из которого изготавливают различные сорта бумаги. Вот что производят из макулатуры в нашей стране и на Западе:

1. Одноразовые столовые приборы;
2. Изоляционный материал;
3. Творческий набор;
4. Средства личной гигиены;
5. Белая книга;
6. картон;
7. Ткани на заказ;
8. Печать;
9. Целлюлозное творчество;
10. Эко-шерсть;

Спрос на бумагу растет с каждым годом, а запасы древесины, используемой для изготовления бумаги, уменьшаются. Поэтому использование переработанной бумаги для производства бумаги является одним из наиболее важных решений этой проблемы.

Современная промышленность предлагает большое разнообразие оборудования для переработки макулатуры, которые представлены на (рисунке 2).

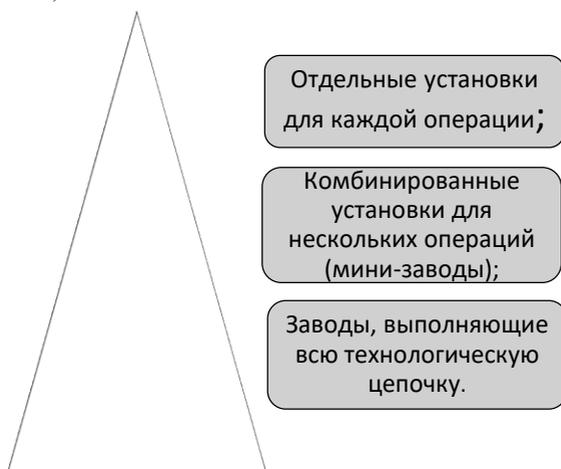


Рис.2 Оборудование для переработки макулатуры

Таким образом, переработка макулатуры является очень ярким примером защиты окружающей среды при одновременной экономии ценного природного сырья. Тщательный сбор макулатуры и ее разумное использование не только не позволяют остаткам бумаги загрязнять нашу окружающую среду, но и сохраняют ценную древесину. В Германии, например, значительная часть бумаги и картона производится из макулатуры, что позволяет ежегодно экономить 1500 гектаров леса. Следует отметить, что переработка макулатуры становится очень актуальной в 21 веке. Это помогает предотвратить развитие парникового эффекта. Наконец, наличие огромного количества картона и бумаги на свалках способствует выбросу в воздух значительного количества метана. При использовании вторичного сырья значительно снижается расход древесины. Вода, используемая целлюлозно-бумажной промышленностью, становится чище и потребляется меньше. Именно поэтому макулатура сегодня является перспективным сырьем.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Слаутин Д.В., Теплоухова М.В., Андраковский Р.Э. Повышение прочности бумаги, изготовленной из макулатурной массы // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология. 2018. № 1. С. 113-135.
2. Попов А.А., Секретарев Е.А., Лозовая С.Ю. Оборудование для тонкого и сверхтонкого измельчения // Сб. докладов IX международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежь и научно-технический прогресс» г. Белгород, 2018. С. 60-63.
3. Сиваченко Л.А., Богданов В.С., Фадин Ю.М. Новые технологические задачи в области процессов измельчения и пути их решения // В сборнике: НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ И ИННОВАЦИИ электронный сборник научных докладов Международной научно-практической конференции. 2016. С. 172-178.
4. Костин В.А., Осипов П.В., Куров В.С., Мидуков Н.П. Оценка структуры волокон макулатуры при производстве санитарно-гигиенической бумаги // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4: Промышленные технологии. 2021. № 4. С. 59-65.
5. Охлопков А.Н. Бумага, пластмасса. Их вторичное использование. Твердые бытовые отходы // В мире научных открытий. 2010. № 6-1 (12). С. 336-339.

*УДК 543.421/424*

*Мамедов Э.И., Сарр А.*

*Научный руководитель: Калмыкова Е.Н., канд. хим. наук, доц.  
Липецкий государственный технический университет  
г. Липецк, Россия*

## **ИК-СПЕКТРОСКОПИЯ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ЦИТРУСОВОГО ПЕКТИНА И ИОНОВ МЕДИ И ЖЕЛЕЗА**

Комплексы полисахаридов с неорганическими веществами, анионами и катионами привлекают внимание исследователей для создания медицинских препаратов с контролируемым

высвобождением, более низкой токсичностью и сохранением антимикробных свойств [1].

На основе пектиновых полисахаридов все более активно синтезируются модифицированные макромолекулы, наночастицы, нанокompозитные биосовместимые материалы различного состава, создаются эмульсии, гели, липосомы, пленки, капсулы и прочие комплексы на их основе для более широкого практического использования.

Целью настоящего исследования являлось получение металлокомплексов на основе цитрусового пектина с ионами меди и железа, и их характеристика методом ИК-спектроскопии.

Синтез полисахаридных металлокомплексов с  $\text{Cu}^{2+}$  и  $\text{Fe}^{2+}$  осуществлен по методике, описанной в работе [2]. ИК-спектры полученных комплексов регистрировались с помощью ИК-Фурье спектрометра IRAffinity-1 в диапазоне длин волн 4000-400  $\text{cm}^{-1}$ .

В качестве исходного лиганда для получения комплексов использована натриевая соль дезэтерифицированного пектина – пектат натрия со 100 % степенью солеобразования. Для этого цитрусовый пектин обрабатывали раствором щелочи при контролируемых значениях pH, а именно при титриметрическом переходе из слабокислой (pH 3,8) в слабощелочную область (pH 8,5-9,0). Такой подход позволил получить натриевую соль пектовой кислоты с точно известным содержанием ионов натрия в полимере и провести аналитические количественные расчеты для получения металлокомплекса пектовой кислоты с фиксированной степенью превращения полимерной молекулы при замене ионов натрия на катионы меди [2].

Для снятия спектра в виде тонких пленок пробы высушивали непосредственно на монокристалле кремния в потоке теплого воздуха. Затем пластинку кремния с нанесенным образцом помещали в прибор и регистрировали полученный спектр.

В таблице приведено сравнение основных характеристических частот ИК-спектров цитрусового пектина, пектата натрия, комплекса на основе полисахарида и ионов меди, ионов железа.

Таблица – Положение максимумов основных характеристических полос (в  $\text{cm}^{-1}$ ) ИК-спектров пектина, пектата натрия, комплексов пектин- $\text{Cu}^{2+}$ , пектин- $\text{Fe}^{2+}$

Преимущественные типы колебаний	Цитрусовый пектин	Пектат натрия	Комплекс пектин- $\text{Fe}^{2+}$	Комплекс пектин- $\text{Cu}^{2+}$
$\nu(\text{OH})_{\text{с}}$ , $\nu(\text{H}_2\text{O})$	3429	3437	3438	3438
$\nu(\text{CH})_{\text{е}}$ , $\nu(\text{CH})_{\text{к}}$	2928	-	-	-

$\nu$ (C=O) <sub>E</sub> , $\nu$ (C=O) <sub>A</sub>	1747	-	-	-
$\nu$ (COO <sup>-</sup> )	-	1639	1639	1637
$\delta$ (H <sub>2</sub> O)	1634	-	-	-
$\nu$ , $\delta$ (C-OH) <sub>A</sub>	-	1417	1406	1419
$\delta_{as}$ (CH <sub>3</sub> ) <sub>E</sub>	1444	-	-	-
$\delta_s$ (CH <sub>3</sub> ) <sub>E</sub>	1371	-	-	-
$\delta$ (CH <sub>3</sub> ) <sub>K</sub>	1331	1338	1327	1328-1331
$\nu$ (C-O-C)	1147	1148	1149	1151
$\nu$ (C-C) (C-O) <sub>K</sub>	1074	1082	1083	1082
Пульсационные колебания пиранозных колец	920,831,773, 631,586, 534	953,894,836, 773,639,538, 426	877,705, 517,425	877,775,661, 580,442

ИК-спектр цитрусового пектина показывает наличие функциональных групп (ОН, СН, COO<sup>-</sup>, пиранозный цикл), характерных для пектина. В ИК-спектре пектата натрия, полученного обработкой цитрусового пектина раствором NaOH исчезновение полос поглощения в области 1700-1750 см<sup>-1</sup>, относящихся к валентным колебаниям карбониллов карбоксильных и сложноэфирных групп, наличие ионной формы карбоксильных групп в области 1639 см<sup>-1</sup> свидетельствует об образовании солевой формы пектина [3].

В ИК-спектрах пектата натрия и металлокомплексов пектин-Fe<sup>2+</sup>, пектин-Cu<sup>2+</sup>, полученных по реакции лигандного обмена ионов Na<sup>+</sup> на катионы железа и меди (степень замещения ионов натрия ионами железа и ионами меди 20 %), присутствуют характерные полосы поглощения карбоксианиона в области 1600-1700 см<sup>-1</sup>, что свидетельствует о солеобразовании (комплексобразовании).

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мударисова, Р.Х., Куковинец, О.С., Сагитова, А.Ф. Комплексообразование яблочного пектина с органическими и неорганическими низкомолекулярными биорегуляторами и получение на их основе новых материалов, обладающих антимикробной активностью // Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность, 2019. С. 1097-1103.

2. Дойникова, А.И. Выделение свекловичного пектина. Получение пектиновых металлокомплексов с ионами железа: выпускная квалификационная работа. Казань, 2020. 122 с.

3. Минзанова, С.Т., Дойникова, А.И., Ахмадуллина, Ф.Ю., Милоков, В.А. Пектиновые металлокомплексы с ионами железа //

**УДК 678:614.876**

*Мозутова А.А.*

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

## **РАДИАЦИОННО-ЗАЩИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ПОЛИМЕРНОЙ ОСНОВЕ**

Ионизирующие излучения альфа- и бета-частиц, рентгеновских лучей, гамма-лучей и нейтронов часто используются в широком спектре отраслей промышленности, включая атомную энергетику, здравоохранение и аэрокосмическую промышленность. Последствия воздействий излучения связаны с рядом факторов, которые включают тип, энергию излучения, величину поглощенной дозы, период воздействия и т.п. Опасность воздействия радиации для здоровья включает канцерогенез, сердечные заболевания, катаракту и др. Повреждение нервной системы является потенциальной проблемой, связанной с тяжелыми ионами.

На сегодняшний день в области радиационно-защитного материаловедения многими учеными разрабатываются радиационно-защитные материалы на различных основах (матрицах) и с различными наполнителями (добавками) [1-21].

Одним из интересных направлений является разработка радиационно-защитных материалов на полимерной основе. Радиационная стойкость полимера зависит, прежде всего, от его природы и отражает его физическую и химическую стойкость, с одной стороны, а также технические и эксплуатационные возможности в условиях ионизирующих излучений, т.е. при эксплуатации ядерных и термоядерных реакторов, ускорителей электронов и радиоизотопных установок, а также в космической среде и т.п. Оценка радиационной стойкости полимеров также учитывает их элементный состав, который имеет первостепенное значение с точки зрения нейтронного излучения, фазового состава и дефектности. Процессы структурной деструкции в полимерах ускоряются с повышением температуры и комбинированным воздействием ионизирующего излучения, ультрафиолетового излучения, видимого света и ИК-излучения. Не только радиационная стойкость, но и направление основных

химических процессов, связанных с радиацией, в значительной степени зависят от микроструктуры полимера, в соответствии с которой все материалы делятся на преимущественно связующие и разрушающие [22].

Одним из наиболее радиационно стойких классов полимеров являются полиимиды. Этот полимер выдерживает воздействие ионизирующих излучений, эквивалентных поглощающим дозам до 107 Гр [23].

Однако при эксплуатации в условиях повышенной радиации, особенно при воздействии высоких температур и окислительных воздействий, полимеры подвержены существенному разрушению. Эти структурные изменения могут быть предотвращены несколькими способами: пассивной защитой (экранированием), физической и химической модификацией материала, а также радиационной и термической обработкой. К примеру, волокна из полистирола и полиэтилентерефталата становятся непригодными для использования после поглощения дозы 5 мГр. Кремнийорганические полимеры лестничного типа и ароматические полиамиды немного более стабильны, однако они демонстрируют значительные изменения в своем инфракрасном спектре после поглощения дозы 30 мГр [23].

Радиационно-защитные материалы на полимерной основе могут быть выполнены в виде облицовки. Вспомогательные факторы, определяющие выбор материала для эффективной облицовки, включают совместимость материалов, их экономическую эффективность, вес, токсичность, прочность и тому подобное. В этом отношении полимерные композиты обладают рядом преимуществ по сравнению с обычными материалами. Полимеры, армированные микро- и наноструктурами, обладают огромным эксплуатационным потенциалом в качестве радиационно-защитных материалов в атомной энергетике, здравоохранении и аэрокосмической промышленности. Существует новая тенденция к разработке новых многофункциональных полимерных нанокompозитов, в которых в большей степени используются свойства нанонаполнителя [23].

В данной статье дан обзор современных композиционных радиационно-защитных материалов, имеющие различную матричную основу и наполнители. Для строительной радиационной отрасли актуальным вопросом является использование радиационно-защитных материалов, способных нести значительные нагрузки, которые можно использовать в качестве несущих конструкций.

Разнообразие полимерных и армирующих материалов позволяет целенаправленно регулировать прочность, твердость, уровень рабочей

температуры, радиационную защиту и другие свойства путем выбора содержания, изменения соотношения компонентов и микро- и наноструктур композита. Полимерно-матричные композиты позволяют добиться такого эффекта, сохраняя при этом стабильность материала.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Матюхин П.В., Павленко В.И., Ястребинский Р.Н., Бондаренко Ю.М., Перспективы создания современных высококонструкционных радиационно-защитных металлокомпозитов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2011. № 2. С. 27-29.

2. Matyukhin P.V. Theoretical preconditions of new kinds of nuclear protective metal composite materials development based on ferric and bismuth oxides capsulated into metallic aluminum matrix / P.V. Matyukhin // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2011. - № 2. - С. 42.

3. Павленко В.И. Радиационно-защитные транспортные контейнеры отработавшего ядерного топлива на основе высоконаполненной полимерной матрицы и железорудного сырья КМА / В.И. Павленко, Р.Н. Ястребинский, П.В. Матюхин, А.В. Ястребинская, О.В. Куприева, Ю.М. Самойлова // Региональная научно-техническая конференция по итогам конкурса ориентированных фундаментальных исследований по междисциплинарным темам, проводимого Российским фондом фундаментальных исследований и Правительством Белгородской области. Белгородский государственный технологический университет им. В.В. Шухова.: сб. статей. – Белгород, 2015. - С. 320-330

4. Матюхин П.В. Основные физико-механические характеристики гематита, подвергнутого воздействию высоких давлений прессования / Матюхин П.В., Ястребинский Р.Н., Широков А.В. // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2016. - № 8. - С. 23-28.

5. Павленко В.И. Теплоизоляционный бесцементный бетон из вторичных минеральных ресурсов: строительные материалы / Павленко В.И., Матюхин П.В. Белгород: Изд-во БГТУ, 2012. - № 6. – 137 с.

6. Matyukhin P.V. The choice of iron-containing filling for composite radioprotective material / P.V. Matyukhin // : IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. - С. 32-36.

7. Клочков Е.П. Модифицирование природных минеральных систем для очистки воды от радионуклидов: современные проблемы

науки и образования / Клочков Е.П., Павленко В.И., Матюхин П.В., Ястребинская А.В. Белгород: Изд-во БГТУ, 2012. - № 6. - С. 137

8. Матюхин П.В. Изучение влияния высоких давлений прессования на изменение фазового состава гематита и его поведение при высоких температурах: региональная архитектура и строительство / Матюхин П.В., Павленко В.И., Широков А.В. // Региональная архитектура и строительство. 2018. - № 4 (37). - С. 89-97.

9. Matyukhin P.V. Studies of structural changes in surface and deep layers in magnetite crystals after high pressure pressing / P.V. Matyukhin // 14th International Congress for Applied Mineralogy (ICAM2019). Ser. "Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences". – Белгород, 2019. - С. 239-243.

10. Матюхин П.В. Композиционные материалы для защиты от космической радиации / Матюхин П.В., Ястребинский Р.Н., Косов А.В. // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. 2016. - С. 583-58.

11. Соколенко И.В. Моделирование прохождения высокоэнергетических электронов в высоконаполненном полимерном композите / Соколенко И.В., Ястребинский Р.Н., Крайний А.А., Матюхин П.В., Тарасов Д.Г. // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2013. - № 6. - С. 145-148.

12. Матюхин П.В. Исследование микроструктуры поверхности композиционного материала на основе алюминиевой матрицы / Матюхин П.В., Бондаренко Ю.М., Павленко В.И. // Перспективные материалы. . 2013. - № 6. - С. 22-26.

13. Matyukhin P.V. The choice of iron-containing filling for composite radioprotective material / P.V. Matyukhin // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. - С. 32.

14. Ястребинский Р.Н. Конструкционные радиационно-защитные композиционные материалы на основе модифицированных железорудных пород КМА / Р.Н. Ястребинский, В. И., П.В. Матюхин, Д.В. Воронов, З.В. Павленко, Ю.М. Самойлова // Региональная научно-техническая конференция по итогам конкурса ориентированных фундаментальных исследований по междисциплинарным темам, проводимого Российским фондом фундаментальных исследований и Правительством Белгородской области. Белгородский государственный технологический университет им. В.В. Шухова.: сб. статей. – Белгород, 2015. - С. 491-499.

15. Ястребинский Р.Н. Жаростойкий радиационно-защитный композиционный материал матрицы / Ястребинский Р.Н., Дороганов В.А., Павленко В.И., Ястребинская А.В., Матюхин П.В., Евтушенко Е.И. // Огнеупоры и техническая керамика. 2014. - № 7-8. - С. 19-22.

16. Matyukhin P.V. Reaction of spot radioactive source with the energy of 661.7 keV on the modification in the structure of surface layer of metal composite material / Matyukhin P.V. // Solid State Phenomena. 2020. - Т. 299. - С. 107-111.

17. Матюхин П.В. Спектральный анализ наполнителя на основе оксида висмута радиационно-защитного металлокомпозиционного материала / Матюхин П.В., Бондаренко Ю.М., Павленко В.И. // Фундаментальные исследования. 2013. - № 1-1. - С. 148-152.

18. Павленко В.И. Взаимодействие быстрых электронов и гамма-квантов с радиационно-защитными железоксидными композитами / Павленко В.И., Ястребинский Р.Н., Матюхин П.В., Воронов Д.В. // Известия высших учебных заведений. Физика. 2008. - № 11. - С. 66-71.

19. Matyukhin P.V. Modification of the hematite filling surface of new composition material during high pressure testing / P.V. Matyukhin // Solid State Phenomena. 2018. - Т. 284. - С. 109-114.

20. Матюхин П.В. Термические свойства алюмосодержащего композиционного материала, обладающего радиационно-защитными свойствами / Матюхин П.В., Павленко В.И., Ястребинский Р.Н., Дороганов В.А., Евтушенко Е.И. // Огнеупоры и техническая керамика. 2015. - № 9. - С. 27-29.

21. Бондаренко Ю.М. Конструкционный радиационно-защитный металлокомпозиционный материал на основе алюмосодержащей матрицы и высокодисперсных оксидов тяжелых металлов / Бондаренко Ю.М., Матюхин П.В., Павленко В.И., Ястребинский Р.Н. // Современные проблемы науки и образования. 2013. - № 1. - С. 120

22. Соколенко И.В. Стеклокомпозит, армированный гидросиликатными нанотрубками, для комплексной радиационной защиты: технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов: 2016 / Павленко В.И. – БГТУ им. В.Г. Шухова. – 147 с.

23. Wozniak A. I. Modern Approaches to Polymer Materials Protecting from Ionizing Radiation material / Wozniak A. I., Ivanov V. S., Zhdanovich O. A., Nazarov V.I., Yegorov A.S. // Oriental Journal of Chemistry. 2017. - №33(5). - С. 16-42.

*Мозутова А.А., Пилавиду Е.О, Солгалов В.В. Матвеевко Д.С.  
Научный руководитель: Городов А.И., канд. техн. наук, доц.  
Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ГИДРИДА ТИТАНА В ПРИСУТСТВИИ ОЛЕИНОВОЙ КИСЛОТЫ**

Применение материалов для радиационной защиты обуславливается его способностью ослаблять мощность потока ионизирующего излучения. Известно, что  $\alpha$ - и  $\beta$ -излучение могут быть практически полностью экранированы соответственно листом бумаги и листом алюминия толщиной несколько мм, от нейтронного и  $\gamma$ -излучения защититься гораздо сложнее. Более перспективны в этом отношении гидриды переходных металлов, в частности титана, циркония и др., имеющие плотность упаковки атомов водорода в единице объема даже выше, чем в некоторых полимерах [1-5].

В современных ЯЭУ для радиационной защиты широко применяется гидрид титана. Данный материал обладает высокими нейтронно-защитными свойствами и используется для поглощения нейтронных потоков в ядерной энергетике в качестве замедлителя в регулирующих стержнях ядерного реактора на быстрых нейтронах, а также в качестве наполнителя композиционных материалов для защиты от ионизирующего излучения [6].

Перспективным является разработка составов и технологии и получения радиационно-защитных композиционных материалов с металлгидридными наполнителями для защиты исследовательских реакторов на быстрых нейтронах. Для создания дисперсно-упрочненных радиационно-защитных материалов необходимо в первую очередь обеспечить максимальную диспергаию частиц гидрида титана.

Для получения ультрадисперсных частиц гидрида титана эффективно измельчение в шаровой вибрационной мельнице в присутствии этанола [7-8]. Данный метод имеет такие преимущества, как низкая стоимость и простота в эксплуатации для крупномасштабного производства. Однако ультрадисперсный гидрид титана способен окисляться в присутствии воды, содержащейся в этаноле, с образованием оксидов титана. Адсорбция органических молекул, например олеиновой кислоты, может предотвратить окисление тонкодисперсных частиц.

Олеиновая кислота представляет собой тип ненасыщенных жирных кислот, обычно содержащимися в растительном масле в форме глицеридов. Особенное строение молекул олеиновой кислоты способствуют лучшей сорбции на поверхности дисперсных частиц [9].

В данной работе исследовано влияние адсорбционного взаимодействия олеиновой кислоты на процесс измельчения гидрида титана. Объектом исследования в работе является дробь гидрида титана. В качестве ПАВ использовали олеиновую кислоту марки «ч».

Навеску гидрида титана массой 10 г помещали в 100 мл раствора олеиновой кислоты в этаноле. Массовая доля олеиновой кислоты варьировали от 0% до 3,5%. Помол проводился в шаровой вибрационной мельнице. Продукт помола фильтровали через мембрану с диаметром пор 0,2 мкм для удаления раствора этанола. После чего, осадок высушивали в сушильной посуде при комнатной температуре.

Степень помола оценивали по распределению частиц по размерам, полученному методом статического рассеяния лазерного излучения, с помощью прибора Analysette 22 NanoTec plus. Прибор позволяет определить размер частиц в широком диапазоне измерений 0,01 - 2000 мкм. Высокая точность измерений обеспечивается за счет использования трех лазеров для прямого и обратного рассеяния.

В (таблице 1) представлены результаты гранулометрических исследований после измельчения гидрида титана в шаровой вибрационной мельнице при разном времени помола (1-10 мин, 2 – 15, 3- 30 мин).

Таблица 1 -Результаты гранулометрии после измельчения гидрида титана при разном времени помола

Время помола, мин	Средний диаметр частиц, мкм	Удельная поверхность, см <sup>2</sup> /см <sup>3</sup>
10	10,8	14323
15	9,3	14346
30	9,7	16348

Результаты, представленные в (аблице 1) свидетельствуют о том, что постепенное увеличение времени помола приводит к увеличению степени дисперсности, однако частицы менее 9,3 мкм не получаются. По результатам гранулометрии, для дальнейших исследований был выбран образец 2 с удельной поверхностью 14346 см<sup>2</sup>/см<sup>3</sup> и диаметром частиц 9,3 мкм.

Изучено влияние массовой доли олеиновой кислоты на получение ультрадисперсных частиц гидрида титана. Все эксперименты по

влиянию массовой доли олеиновой кислоты проводились при фиксированном времени помола 15 мин, результаты экспериментов приведены на (рисунке 1).

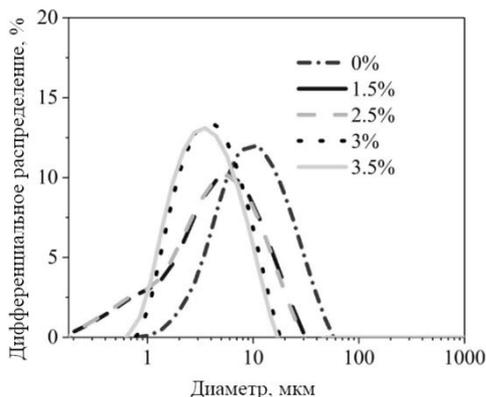


Рис. 1. Распределение частиц по размерам ZrH<sub>2</sub> после измельчения с различными массовыми долями олеиновой кислоты

Экспериментальные данные показали, что добавление олеиновой кислоты повышает эффективность измельчения частиц гидроксида титана при мокром шаровом измельчении в этаноле. Выход фракции ~3 мкм постепенно увеличивался с увеличением массовой доли олеиновой кислоты. Уменьшение размера частиц наблюдалось с увеличением накопленной массовой доли олеиновой кислоты. Таким образом, добавленная олеиновая кислота сыграла роль вспомогательного средства для эффективного измельчения гидроксида титана. Аналогичные явления известны в процессах шарового измельчения минералов, измельчения цементного сырья и при получении ультрадисперсных функциональных материалов шаровым измельчением, в котором поверхностно-активные вещества использовались в качестве вспомогательных средств для измельчения для повышения эффективности измельчения и снижения производственных затрат. Средний размер частиц образца, с содержанием добавки 3,5% составлял 3,21 мкм, что было значительно меньше, чем у образца без добавки -0% (9,3 мкм).

В целом, оптимальные условия для приготовления тонкодисперсного гидроксида титана являются добавление массовой доли олеиновой кислоты 3,5%.

*Работа выполнена в рамках реализации федеральной программы поддержки университетов «Приоритет 2030» с использованием*

*оборудования на базе Центра высоких технологий БГТУ им. В. Г. Шухов.*

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Павленко В.И. Радиационная экология: учеб. пособие / Павленко В.И., Черкашина Н.И., Едаменко О.Д., Городов А.И. Белгород: Изд-во БГТУ, 2020. - 114 с.

2. Yastrebinsky R.N. Radiation resistance of a structural material based on modified titanium hydride / Yastrebinsky R.N., Pavlenko V.I., Karnauhov A.A., Cherkashina N.I., Yastrebinskaya A.V., Gorodov A.I. // Science and Technology of Nuclear Installations. 2021. - С. 66-79.

3. Gorodov A.I., Regulation of the surface microrelief of titanium hydride by solutions of sulfuric acid salts / Gorodov A.I., Yastrebinsky R.N., Karnauhov A.A., Yastrebinskaya A.V. // Lecture Notes in Civil Engineering. 2021. - Т. 160 LNCE. - С. 51-58.

4. Соколенко И.В. Моделирование прохождения высокоэнергетических электронов в высоконаполненном полимерном композите / Соколенко И.В., Ястребинский Р.Н., Крайний А.А., Матюхин П.В., Тарасов Д.Г. // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2013. - № 6. - С. 145-148.

5. Матюхин П.В. Композиционные материалы для защиты от космической радиации / Матюхин П.В., Ястребинский Р.Н., Косов А.В. // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. 2016. - С. 583-58.

6. Соколенко И.В. Стеклокомпозит, армированный гидросиликатными нанотрубками, для комплексной радиационной защиты: технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов: 2016 / Павленко В.И. – БГТУ им. В.Г. Шухова. – 147 с.

7. Ястребинская А.В., Карнаухов А.А. Физико-технические свойства диспергированной дроби гидрида титана // Вестник БГТУ имени В. Г. Шухова. 2016. №12.

8. Матюхин П.В. Спектральный анализ наполнителя на основе оксида висмута радиационно-защитного металлокомпозиционного материала / Матюхин П.В., Бондаренко Ю.М., Павленко В.И. // Фундаментальные исследования. 2013. - № 1-1. - С. 148-152.

9. Городов А.И. Исследование сорбционных свойств композиционного собирателя на поверхности различных минералов /

**УДК 666.914:666.913**

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

## **РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУРЫ БЫСТРОТВЕРДЕЮЩЕГО ВЯЖУЩЕГО ДЛЯ ФАСАДНОЙ ПЛИТКИ**

Одной из важнейших задач промышленности строительных материалов является развитие отечественного производства эффективных, современных по дизайну материалов и изделий для отделки фасадов зданий любого функционального назначения с максимальной экономией материальных и топливно-энергетических ресурсов и, конечно, с учетом экологической безопасности их производства и применения [1-9].

Требования к фасадной плитке для наружной отделки зданий определяются в соответствии с действующими строительными нормами и правилами, а также государственными стандартами.

Основными задачами фасадной облицовки являются защита внутренних слоев от воздействия окружающей среды и придание эстетичного вида зданию, то есть фасадная плитка должна обладать влаго-, термо- и морозостойкостью, высокой прочностью и долговечностью, а также приемлемой стоимостью [3].

Среди огромного выбора материалов, начиная от минеральных штукатурок и кончая фасадными обоями, самым популярным отделочным материалом является облицовочная плитка, так как данный материал прост в применении и позволяет воплотит самые разнообразные задумки.

В качестве фасадной плитки может использоваться искусственный камень, производимый на основе вяжущего, мелкого заполнителя и различных добавок, а также натуральный камень. Однако, натуральный камень, несмотря на экологичность и эстетичность, обладает высокой стоимостью.

Большая часть современной фасадной плитки производится на основе поргланландцемента, обеспечивающего ей высокие показатели прочности, водостойкости и морозостойкости. Но экологические

показатели данного вида фасадной плитки находятся на среднем уровне.

Эффективным является производство фасадной плитки на основе композиционного гипсового вяжущего (КГВ), обладающего быстрым набором прочности, что позволит ускорить ее производство, снизить дефицит отделочных стеновых материалов и расширить их ассортимент, а также создать архитектурно-художественный образ зданий и сооружений, соответствующий природному окружению с учетом особенностей их эксплуатаций и т.п. [4-9].

Для разработки состава бетонной смеси на основе КГВ для производства фасадной плитки были использованы: портландцемент ЦЕМ I 42,5 производства АО «Евроцемент груп»; высокопрочный гипс ГВВС-16 производства ЗАО «Самарский гипсовый комбинат»; метакаолин ВМК-45; суперпластификатор MELFLUX 1641F.

На первом этапе исследований было установлено необходимое количество активной минеральной добавки в составе КГВ (по ТУ 21–31–62–89), обеспечивающее снижение концентрации СаО в твердеющей системе соответственно, на 5-е и 7-е сутки (таблица 1).

Таблица 1 – Кинетика поглощения гидроксида кальция

№	Материалы, г			Концентрация СаО в р-ре, г/л, через:	
	Гипс	ПЦ	ВМК	5 сут	7 сут
1	4	2,5	0,125	0,5	0,46
2	4	2,5	0,25	0,85	0,78
3	4	2,5	1,25	0,05	0,029
4	4	2,5	2,5	0,028	0,024
5	4	2,5	3,75	0,022	0,016
6	4	2,5	5	0,020	0,016

В результате анализа полученных результатов было установлено, что метакаолин уже в количестве 0,5% от массы цемента снижает концентрацию СаО до требуемых пределов: менее 1.1 г/л на 5-е сутки и менее 0.85 г/л на 7-е сутки, что позволит обеспечить стабильность гипсоцементной композиции.

На основе полученных результатов определено рациональное соотношение компонентов КГВ: Г-16-70%, ПЦ -30%, метакаолин ВМК-45-0,15% (сверх 100% вяжущего)

Для изучения основных характеристик затвердевших КГВ с комплексом минеральных и органических добавок были заформованы образцы – кубики размером 30х30х30 мм. С целью снижения водопотребности смеси применяли СП MELFLUX 1641F.

Исследуемые составы КГВ и их свойства представлены в таблице 1.

В результате анализа полученных данных было установлено: при введении в состав гипсоцементного вяжущего СП MELFLUX 1641F в количестве от 0,5 до 1% происходит снижение водопотребности смеси на 46 %, по сравнению с бездобавочным вяжущим, а также увеличиваются сроки схватывания, особенно конец схватывания – с 6-45 мин до 15 мин.

Таблица 1 –Состав и свойства свойства КГВ

№.	СП %	ВМК %	В/В	нач. схв мин.с	кон. схв. мин.с	R сж, МПа			Kp	W %
						2 ч.	7 сут.	28 сут.		
1	-	0,15	0,43	5-15	6-45	8,7	13,1	14,9	0,83	6
2	0,5	0,15	0,2	5-20	14-00	27,7	49,3	52,0	0,87	4
3	1	0,15	0,2	5-25	15-00	20,2	34,2	53,4	0,93	2

Примечание: исходный состав КГВ: Г-16-70%; ПЦ -30%.

Было установлено, что введение метакаолина и СП позволило повысить прочность образцов практически в 2 раза для 2 часов и в 3,5 раза в возрасте 28 суток в сравнении с бездобавочными образцами затвердевших КГВ. Уменьшение дозировки СП на 0,5%, оказывает положительное влияние на прочностные характеристики в начальные сроки твердения – в возрасте 2 часов и 7 суток.

Полученные образцы затвердевших КГВ характеризуются высокими показателями водостойкости:  $K_p = 0.88 \dots 0.93$ .

Таким образом, для производства фасадной отделочной плитки был разработан состав КГВ с комплексом добавок – СП MELFLUX и активной минеральной добавки метакаолина, обладающий высокой прочностью и коэффициентом водостойкости.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сергеева С. Ю., Ерина А. П. Распространенные материалы в отечественном строительстве, применяемые для архитектурной отделки фасада // Вопросы науки и образования. 2019. №29. —С. 40-44.

2. Чумадова Л.И., Гуреев К.Н., Азнабаев А.А., Султеев Т.М., Давыдов О.И. Оптимизация состава смеси на основе ГЦПВ при производстве интерьерных отделочных материалов // Современное строительство и архитектура. 2017. №2 (06). —С. 12-14.

3. Федотов А. С. Анализ существующих материалов для облицовки фасадов в малоэтажном домостроении // Региональное развитие. 2017. №3. —С. 17

4. Зырянов М.С., Потапова Е.Н. Разработка композиционных гипсовых вяжущих с различными активными минеральными добавками // Успехи в химии и химической технологии. 2018. №2. —С. 80-82.

5. Локтионова М.Д., Потапова Е. Н. Свойства композиционных гипсовых вяжущих // Успехи в химии и химической технологии. 2020. №5 (228). —С. 50-52.

6. Нечаева Е. Ю., Тугушев Р. А., Уруев В. М. Модификация свойств строительного гипса // Известия ТулГУ. Технические науки. 2009. №1-2. —С. 107-113.

7. Урбанов А. В., Манушина А. С., Потапова Е. Н. Влияние модифицирующих добавок на свойства композиционного гипсового вяжущего // Успехи в химии и химической технологии. 2017. №3 (184) —С. 50-52.

8. Чернышева Н.В., Дребезгов Д.А. Свойства и применение быстротвердеющих композитов на основе гипсовых вяжущих // Вестник БГТУ имени В. Г. Шухова. 2015. №5 —С. 125-139.

9. Шаталова С.В., Чернышева Н.В., Глаголев Е.С., Лесниченко Е.Н., Дребезгова М.Ю. Эффективный ячеистый бетон на композиционном гипсовом вяжущем // Вестник БГТУ имени В. Г. Шухова. 2019. №10. —С. 11-17.

*УДК 691.54*

*Нецвет Д.Д., Серенко Д.О., Сивальнев К.С.*

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

## **РЕГУЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МОДИФИЦИРОВАННЫХ ЦЕМЕНТНЫХ СИСТЕМ БЕЗВОДНЫМ СУЛЬФАТОМ КАЛЬЦИЯ**

Материалы на основе цементных вяжущих являются в наши дни наиболее часто применяемыми в строительстве. Цементные системы хорошо изучены и позволяют получать материалы с высокими показателями долговечности и эффективности. Однако, в технологии производства цемента существуют недостатки (высокая энергоемкость и низкая экологичность). В результате этого появляется необходимость поиска вариантов снижения расхода цементного вяжущего при получении материалов, разработки комплексных и композиционных вяжущих.

Основной характеристикой, позволяющей оценить эффективность применения материала в качестве добавки или в качестве вяжущей системы, является прочность на сжатие и изгиб.

Для снижения расхода цемента возможно использовать вяжущие других типов твердения: наноструктурированное вяжущее (НВ) [1], гипсовые вяжущие (гипс и ангидрит [2–4]).

Ангидрит (безводный сульфат кальция ( $\text{CaSO}_4$ )) – представитель класса сульфатов. Во влажной среде ангидрит поглощает воду из воздуха и переходит в гипс.

Как и гипс, месторождения ангидрита находятся во многих геологических системах. В России гипс и ангидрит добывают на более чем 20 месторождениях в разных регионах [5]

В производстве строительных материалов применяют также техногенный ангидрит (ангидритовый цемент), получаемый обжигом двуводного гипса при температуре  $T=600\text{--}700\text{ }^\circ\text{C}$  в течение 4–6 часов с последующим введением минеральных активаторов твердениям (известь, шлаки, сульфатные соединения и др.) [6–8]

Преимуществами вяжущих на основе ангидрита по сравнению с другими гипсовыми вяжущими является их более высокая прочность (до 60–70 МПа), замедленные сроки схватывания и отсутствие изменения объема при твердении.

Добавлением сульфатов кальция (гипс и ангидрит) в цементную систему возможно варьировать сроки начала и конца схватывания цемента, а также. Известно также, что ангидрит повышает прочность вяжущего в начальные сроки твердения, но в отдаленные периоды наблюдается ее незначительное снижение.

Однако, из-за недостаточного объема исследований и неполной изученности, ангидрит в нашей стране не получил широкого применения в технологии строительных материалов.

В данной работе рассмотрено влияние безводного сульфата кальция (ангидрита) на характеристики портландцемента, подобраны подобраны активаторы твердения ангидрита, дозировки компонентов смеси.

В данном исследовании для снижения возможных влияний примесей на характеристики цементного камня с добавкой использовали синтезированный ангидрит. Он был получен путем отжига гипса строительного марки Г–5 Б II производства ОАО «Хабезский гипсовый завод».

Как было сказано выше, для начала схватывания ангидрита необходимо ввести в систему активаторы твердения, в качестве

которых для исследования были выбраны сульфат натрия ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) и сульфат калия ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ ).

Дозировка ангидрита была выбрана 5 и 10 % от массы цемента, дозировка активаторов – 1 % от массы ангидрита (рисунок 1). Процентное содержание воды затворения для всех составов было одинаково ( $\text{B/T} = 0,3$ ).

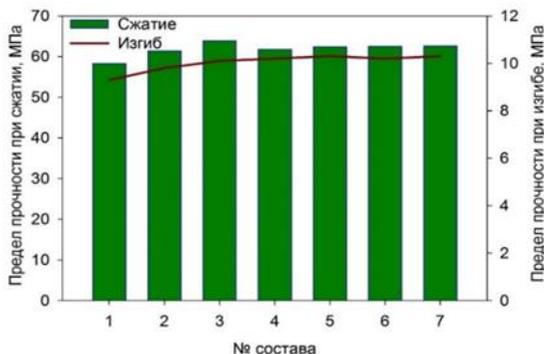


Рис. 1. Зависимости прочности цементного камня от его состава (номера составов приведены в соответствии с таблицей 1):  
1 – чистый цемент; 2 – 5% ангидрита; 3 – 10 % ангидрита;  
4 – 5% ангидрита с  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ; 5 – 10 % ангидрита с  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ;  
6 – 5% ангидрита с  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ; 7 – 10 % ангидрита с  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ;

На основании полученных данных можно сделать заключение, что введение ангидрита без активаторов приводит к повышению значений прочности на сжатие на 6 и 11 % (при варьировании дозировки). Активаторы твердения ангидрита ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) не оказывают существенного влияния на предел прочности при сжатии.

Показано, что образцы с ангидритом в дозировке 10 % в присутствии как сульфата калия, так и сульфата натрия, имеют несколько более высокую прочность на сжатие.

Отметим, что изменение прочности на изгиб в составах имеет такую же зависимость: рост предела прочности при сжатии в образцах сопровождается ростом предела прочности при изгибе.

Согласно полученным результатам и зависимостям за рациональную примем концентрацию ангидрита 5 % от массы цемента с добавкой активаторов в количестве 1 % от массы ангидрита.

Следующим этапом работы являлось изучение влияния добавок на основные свойства вяжущей системы, такие как нормальная густота и сроки схватывания цементного теста (таблица 1).

Отмечено, что введение минеральных добавок к цементному тесту приводит к росту водотвердого отношения смесей, требуемого для достижения нормальной густоты (таблица 2): происходит незначительное загущение системы.

Выявлено, что добавление активаторов приводит к сокращению сроков схватывания цемента: при использовании сульфата натрия – до 10 мин, а при использовании сульфата калия – до 40 минут. Данное влияние обусловлено исходным назначением  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  и  $\text{K}_2\text{SO}_4$ , которое направлено на ускорение процессов твердения. Действие данных электролитов реализуется за счет усиления процессов растворимости соединений и формирования коагуляционных структур цементной системы. Рекомендуемая дозировка данных ускорителей составляет 1–3 %, но в разрабатываемых системах их концентрация составляет 0,05 % от массы цемента. В связи с этим и действие добавок снижено и приводит к незначительному сокращению сроков схватывания.

Влияние ангидрита выражено, и заключается в заметном сокращении сроков схватывания особенно в начальный период структурообразования системы, а именно начало схватывания сокращается в 2,3 раза, конец в 1,5 раза. Это может быть обусловлено действием свободного гидроксида кальция, являющегося щелочным компонентом системы, который активирует кристаллизационные процессы. А вот при комплексном введении ангидрита и активаторов влияние на сроки схватывания минимально (таблица 1, составы 5, 6).

Таблица 1 – Исследуемые составы вяжущих с минеральными компонентами

№ состава	Компоненты				В/Т	Сроки схватывания	
	Цемент	Ангидрит	$\text{Na}_2\text{SO}_4$	$\text{K}_2\text{SO}_4$		начало, мин	конец, мин
1	100%	–	–	–	0,27	210	275
2	95,23 %	4,76 %	–	–	0,28	90	180
3	99,95 %	–	0,05 %	–	0,28	200	265
4	99,95 %	–	–	0,05 %	0,28	170	240
5	95,19 %	4,75 %	0,04 %	–	0,28	90	180
6	95,19 %	4,75 %	–	0,04 %	0,28	85	165

Таким образом, на основании литературного обзора и проведенных экспериментальных исследований показано, что введение безводного сульфата кальция (ангидрита) в цементную систему приводит к ускорению сроков схватывания и повышению прочности на сжатие и изгиб. Данный факт говорит о целесообразности дальнейших исследований возможности повышения эффективности цементных систем в качестве матрицы ячеистых неавтоклавных композитов теплоизоляционного назначения.

*Работа выполнена в рамках Стипендии президента РФ СП-3577.2021.1.*

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Павленко Н.В., Бухало А.Б., Строкова В.В., Нелюбова В.В., Сумин А.В. Модифицированное вяжущее с использованием нанокристаллических компонентов для ячеистых композитов // Строительные материалы. 2013. № 2. С. 20–24.

2. Гальцева Н.А., Бурьянов А.Ф., Соловьев В.Г., Ткаченко Д.И. Модифицированное вяжущее на основе синтетического ангидрита для закладочных смесей // Строительные материалы. 2017. № 8. С. 74.

3. Румянцев Б.М., Барыбин А.А., Орлов А.В. Многофункциональные гипсоцеолитовые поризованные материалы // Научное обозрение. 2015. № 9. С. 120–123.

4. Череватова А.В., Алехин Д.А., Бурьянов А.Ф., Жерновский И.В., Кожухова Н.И. Особенности комплексного механизма структурообразования в системе композиционного гипсокремнеземистого вяжущего // Строительные материалы. 2016. № 11. С. 12–16.

5. РУСГИПС: [сайт]. – URL: <https://mgzgips.ru/informatsiya/stati/mestorozhdeniya-gipsa> (дата обращения: 11.05.2022). Текст: электронный.

6. Трунилова Д.С., Гаркави М.С., Шленкина С.С. Особенности твердения ангидрита в присутствии извести и асбеста // Вестник ЮУрГУ. 2010. № 15. С. 54–55.

7. Ферронская А.В. Гипсовые материалы и изделия. Производство и применение. Справочник. М.: Издательство АСВ. 2004. 488 с.

8. Гальцева Н.А., Бурьянов А.Ф. Применение модифицированного вяжущего на основе синтетического ангидрита для закладочных смесей // Сухие строительные смеси. 2016. №3. С. 31–33.

УДК 666.9.014

*Омарова Л.А.*

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

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ИСКУССТВЕННОЙ КЕРАМИЧЕСКОЙ ВЯЖУЩЕЙ СУСПЕНЗИИ НА ОСНОВЕ НЕФЕЛИНОВЫХ ХВОСТОВ**

Одной из наиболее важных задач керамической промышленности является решение проблемы нехватки сырья, причем не просто сырья, а высокоэффективных отощителей и плавней. Перспективным является вовлечение в производство вторичного сырья и техногенных отходов. Одними из наиболее крупнотоннажных являются отходы обогащения апатитонефелиновых руд.

Так же до настоящего времени весьма успешно используется научное направление в технологии керамических, огнеупорных и химически стойких строительных материалов, основанное на использовании вяжущих свойств, полученных по специальной технологии высококонцентрированных керамических вяжущих суспензий (ВКВС).

Для получения искусственной керамической вяжущих суспензии алюмосиликатного состава на основе нефелиновых хвостов использовали по технологии ВКВС. Ранее проведенными исследованиями по получению искусственных керамических вяжущих установлено, что для снижения энергии взаимодействия между частицами и достижения оптимальных литевых характеристик суспензий наиболее эффективно введение всего необходимого количества электролитов на начальной стадии загрузки материала.

После помола суспензия подвергалась стабилизации механическим перемешиванием в течение 3 часов. В технологи ВКВС этот метод рассматривается как специальная технологическая операция, позволяющая качественно изменить свойства: дополнительно снизить вязкость, повысить агрегативную и седиментационную устойчивость суспензий с соответствующим ростом плотности и прочности отливок на их основе. Немаловажным является тот факт, что при этом удаляется захваченный при мокром измельчении воздух, что в дальнейшем оказывает существенное влияние на качество отливки и прочность материала после спекания [1-3].

Установлено, что полученная вязущая суспензия обладает высокой плотностью и концентрацией твердой фазы, и низким коэффициентом загустевания (таблица 1).

Таблица 1 - Характеристики исследуемых суспензий

№	Характеристики	ИКВ нефелиновых хвостов
1	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	2040
2	Время истечения через 30 с, с	137
3	Коэффициент загустевания	1,1
4	Остаток на сите 0063, %	<0,1
5	Влажность, %	18
6	Объемная концентрация твердой фазы	0,63
7	Содержание коллоидных частиц, %	1,5

Полученная вязущая алюмосиликатная суспензия имеет тиксотропно-дилатантный характер реологического течения, что существенно отличает ее от традиционного шликера для получения пресс-порошка, проявляющего типичные тиксотропные свойства (рисунок 1).

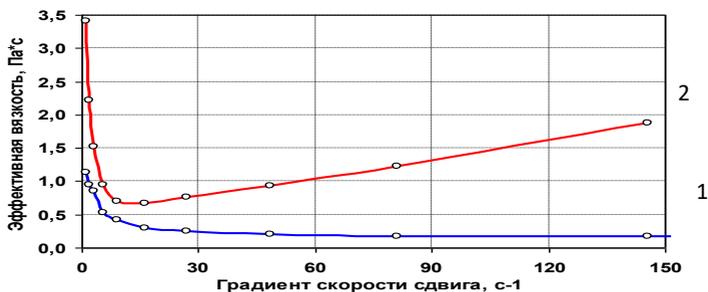


Рис. 1. Реологические характеристики исследуемых суспензий: 1 – традиционный шликер; 2 – ИКВ нефелиновых хвостов

Для полученной керамической суспензии вязущие свойства в значительной степени обусловлены высокой концентрацией твердой фазы (плотностью упаковки). Прочностные свойства, а также показатели пористости полуфабриката на основе ВКВС определяются составом дисперсной среды, состоянием поверхности и дисперсностью твердой фазы, в особенности содержанием в ИКВ коллоидного компонента (частицы с размером менее 100 нм) [4].

Для оценки возможности использования полученной суспензии в качестве плавня были сформованы образцы-балочки 6\*1,5\*0,9 см и подверглись обжигу при 1050°C, 1100°C и 1150°C. Для решения поставленной задачи произведены исследования водопоглощения (таблица 2).

Таблица 2 - Водопоглощение образцов

Температура обжига, °С	Водопоглощение, %
1050	2,47
1100	0,34
1150	0,60

Наблюдается резкое снижение водопоглощения от 2,47 до 0,34 в интервале температур 1050°C-1100°C, с увеличением температуры до 1150°C этот показатель возрастает до 0,6%.

Этот материал можно использовать в качестве плавня, однако он обладает узким интервалом спекания, при температуре 1150 начинается процесс вспучивание массы. Суспензия спекается до 0,5% при 1100°C, уже при этой температуре образуется достаточное количество расплава, следовательно, данную суспензию можно использовать как замену плавням [5].

Эти данные подтверждаются результатами микроструктуры образцов (рисунок 2).

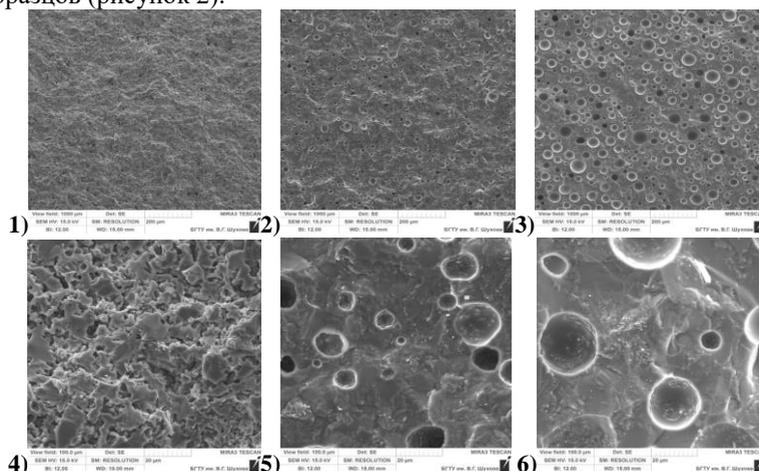


Рис. 2. Микроструктура образцов обожжённых при температурах: 1, 4 – 1050 °С; 2, 5 – 1100 °С; 3, 6 – 1150°С.

При 1050°C наблюдается большое количество открытых сообщающихся пор. В связи с увеличением температуры до 1100°C споры приобретают закрытый характер, т.к. появляется большое количество расплава в результате чего поры закупориваются и образовавшиеся газы не способны выйти наружу. А при максимальной температуре 1150 °C мелкие поры соединяются в более крупные.

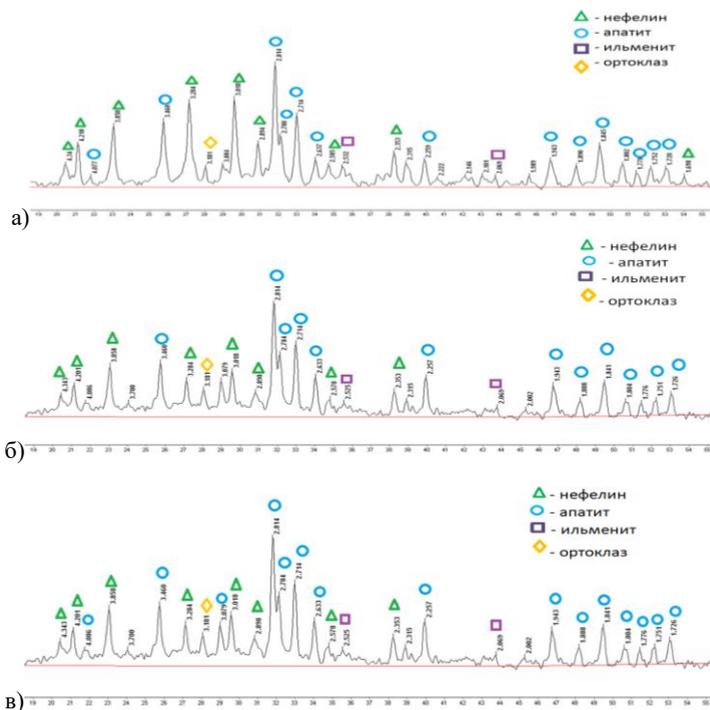


Рис. 3. Дифрактограмма образцов, обожженных при температурах: а) 1050°C, б) 1100°C, в) 1150°C.

По данным рентгено-фазового анализа, основными минеральными фазами обожженного материала являются: нефелин  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$  (3.284, 3.018, 3.858), апатит  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH}, \text{F}, \text{Cl})$  (2.814, 2.788, 2.714), небольшая примесь ильменита  $\text{FeTiO}_3$  (2.532, 2.069). Это подтверждается результатами микроскопии. На рисунке 4. виден полевошпатовый расплав (нефелин, смесь анортита и альбита), фосфаты кальция (апатит) и включения ильменита [6].

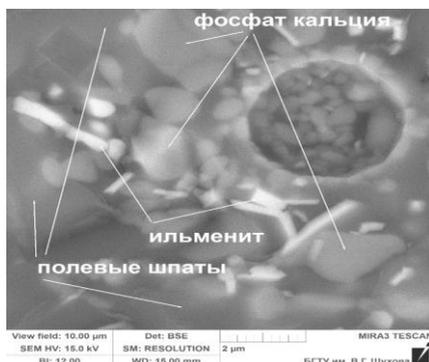


Рис. 4. Микроструктураобразца обожженного при 1150°C.

С позиции обеспечения получения материалов с нормативными и улучшенными свойствами в результате проведенных исследований подтверждена возможность использования алюмосиликатной суспензии на основе нефелиновых хвостов в качестве альтернативной замены плавням.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Будникова П.П. и Полубояринова Д.Н. Химическая технология керамики и огнеупоров. М.: Изд-во Стройиздат, 1972. 551 с.
2. Бельмаз Н.С. Методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу " Химическая технология керамики и огнеупоров" / Белгород: Изд-во БГТУ, 2017. 32с.
3. Федоренко Е.Ю., Рыщенко М.И., Богданова Е.Б., Присяжная Л.В. Использование отходов добычи и переработки минерального сырья в качестве интенсификатора спекания в технологии плотноспеченной строительной керамики. //Экология и промышленность. 2018. №1. С. 98-100.
4. Пивинский Ю. Е. Реология дилатантных и тиксотропных дисперсных систем / СПб.: РИО СПбГТИ (ТУ), 2001.С. 174.
5. Кобзев В.А., Сивальнева М.Н., Нелюбова В.В. Высококонцентрированная алюмосиликатная вяжущая суспензия из гранодиорита.// Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №1. С. 12-18.
6. Черватова А. В. Кремнеземистые огнеупорные массы на основе пластифицированных ВКВС. Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г.Шухова, 2005. 151. С.

*Отман Азми С.А, Коваленко Е.В., Шпаковская Д.В.  
Научный руководитель: Чернышева Н.В., д-р техн. наук, проф.  
Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## **РАЗРАБОТКА СОСТАВА КОМПОЗИЦИОННОГО ГИПСОВОГО ВЯЖУЩЕГО ДЛЯ СУХОЙ ШТУКАТУРНОЙ СМЕСИ**

В связи с развитием малоэтажного строительства и применением различных видов мелкокоразмерных стеновых материалов, требующих оштукатуривания, потребность в сухих штукатурных смесях (СШС) с каждым годом увеличивается [1-8]. СШС на основе гипсовых вяжущих используют в основном для внутренней отделки помещений, что связано с низкими показателями их водо-, морозо- и атмосферостойкости. Получение эффективных растворных штукатурных смесей для наружной отделки зданий и сооружений возможно путем использования композиционных гипсовых вяжущих повышенной водостойкости, включающих тщательно подобранную смесь гипсового вяжущего, портландцемента, а также кремнеземсодержащих и органических добавок.

Особенностью при получении гипсоцементных вяжущих является необходимость безопасного совмещения гипсового вяжущего и портландцемента с помощью активных кремнеземсодержащих добавок, которые позволят [2-4]:

– обеспечить снижение концентрации  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  в затворенном водой твердеющем гипсоцементном вяжущем с образованием малорастворимых соединений гидросиликатов кальция типа  $\text{CSH}(\text{B})$  в начальные сроки и при более длительном твердении;

– создать условия для образования низкоосновных гидроалюминатов и гидросульфалюминатов кальция;

– в результате пуццолановой реакции кремнезема и  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  создать условия для формирования водостойких гидратных новообразований различного состава и морфологии типа  $\text{CSH}(\text{B})$  в виде тонкодисперсной сетки на поверхности кристаллов затвердевшего гипсового вяжущего, обволакивая их и заполняя межкристаллические полости в гипсовом камне, что будет способствовать их защите от воздействия влаги.

Для достижения необходимых свойств гипсоцементного вяжущего устанавливали его состав, для чего определяли необходимые соотношения между количеством портландцемента и

кремнеземсодержащей добавки в зависимости от вида и удельной поверхности последней. При выполнении исследований применялись следующие сырьевые материалы: гипсовые вяжущие марки Г-16 и Г-5; поргланццемент ЦЕМ I 42,5 Н4 тонкомолотый песок (удельная поверхность 500...700 м<sup>2</sup>/кг) в качестве минеральной добавки; известняковая пыль; высокоактивный метаксаолин ВМК-45 (МТК).

В работе определялась активность тонкомолотых минеральных добавок (тонкомолотого песка) по поглощению Са(ОН)<sub>2</sub> в твердеющей системе не выше 1,1 и 0,85 г/л, в пересчете на СаО, соответственно, на 5-е и 7-е сут. (по ТУ 21-31-62-89 – Гипсоцементно-пуццолаиовое вяжущее).

В (таблице 1) приведены результаты определения активности минеральной добавки тонкодисперсного песка по поглощению Са(ОН)<sub>2</sub> в зависимости от его удельной поверхности. Для снижения концентрации Са(ОН)<sub>2</sub> в начальные сроки твердения до требуемых значений на 7 сутки в дополнение к тонкодисперсному песку добавляли метаксаолин (МТК) в количестве 0.5 и 0.1 % от массы цемента.

Таблица 1 – Кинетика поглощения гидроксида кальция

№ п/п	Материалы, г				Концентрации СаО в р-ре, г/л, через:	
	Гипс	ПЦ	Мин. доб.	МТК	5 сут	7сут
Удельная поверхность молотого песка 500 м <sup>2</sup> /кг						
1	4	2,5	2,5	-	1,12	1,05
2	4	2,5	2,5	0,125	1,07	0,98
3	4	2,5	2,5	0,25	1,02	0,91
4	4	2,5	5	-	1,10	1,00
5	4	2,5	5	0,125	1,03	0,85
6	4	2,5	5	0,25	0,91	0,83
Удельная поверхность молотого песка 700 м <sup>2</sup> /кг						
7	4	2,5	2,5	-	1,12	1,03
8	4	2,5	2,5	0,125	1,03	0,96
9	4	2,5	2,5	0,25	0,98	0,89
10	4	2,5	5	-	1,07	0,98
11	4	2,5	5	0,125	1,00	0,83
12	4	2,5	5	0,25	0,86	0, 80

В результате анализа полученных результатов исследований выявлено, что для обеспечения стабильности гипсоцементно-кремнеземистой композиции соотношение между портландцементом и тонкомолотым до удельной поверхности 500 м<sup>2</sup>/кг кварцевым песком должно составлять 1, 2, соответственно.

С учетом полученных данных следует принять следующее соотношение между компонентами КГВ (% по массе): гипсовое вяжущее – 70 %, портландцемент – 10 %, тонкомолотый до удельной поверхности 500 м<sup>2</sup>/кг кварцевый песок – 20 %; высокоактивный метакраолин (МТК) – 0,05% (от массы цемента).

Из разработанного состава КГВ были изготовлены образцы – кубики размером 3х3х3 см и испытаны в возрасте 2 час, 7 и 28 суток.

Состав и свойства КГВ приведены в (таблице 2).

Таблица 2 – Свойства композиционного гипсового вяжущего

Состав, % по массе				В/В <sub>вяж</sub>	Сроки схват, мин., с		Рсж. МПа (вл/сух)		
ГВ	ПЦ	Мол. песок	МТК		нача ло	ко нец	2 час	7 сут	28 сут
70	10	20	0,05	0.46	6:30	8:00	12.3	18.0	25,2

Примечание: Г-5 -70%; Г-16 -30% - в составе гипсового вяжущего (ГВ).

Анализ полученных результатов показал, что подтверждена возможность использования тонкомолотого до удельной поверхности 500 м<sup>2</sup>/кг кварцевого песка в качестве минеральной добавки к цементу.

Испытанием твердеющих в течение 28 суток образцов из разработанного КГВ, включающего гипсовое вяжущее (Г-5+Г-16), портландцемент с активной минеральной добавкой из тонкомолотого кварцевого песка при соотношении 1:2, соответственно, с обязательным добавлением в состав вяжущего высокоактивного метакраолина в количестве 0.05 % от массы портландцемента, установлен марка вяжущего по прочности – М 25.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Загороднюк Л.Х., Лесовик В.С., Глагоев Е.С., Володченко А.А., Воронов В.В., Кучерова А.С. Теоретические основы создания сухих строительных смесей // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2016. № 9. С. 40-52

2. Ферронская А. В., Коровяков В. Ф. Гипсовые вяжущие в ресурсосберегающих системах малоэтажного строительства // Сухие строительные смеси. – 2005. – № 3. – С. 56–57, 79.

3. Гонтарь Ю.В., Чалова А.И. Особенности применения гипсовых вяжущих в сухих строительных смесях // Современные технологии сухих смесей в строительстве: сб. докл. 4-ой МНТК. – СПб, 3, 2002. – С. 17–23.

4. Баженов Ю.М., Коровяков В.Ф., Денисов Г.А. Технология сухих строительных смесей: учебное пособие. – М., 2003. – 96 с.

5. Логанина В.И., Климова Е.И., Учаева Т.В. Нормативная обеспеченность качества сухих строительных смесей // Региональная архитектура и строительство. 2018. № 1 (36). С. 37-41.

6. Павленко О.А., Дементьев Ю.А., Кучерова А.С., Сумской Д.А. Сухие строительные смеси для штукатурных работ. // В сборнике: Молодежь и научно-технический прогресс. IX международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых: в 4 томах. 2016. С. 119-123.

7. Орынбеков Е.С., Нурлыбаев Р.Е., Селяев В.П., Кульдеев Е.И. Сухие строительные смеси для штукатурных работ с тонкодисперсными минеральными активными добавками // Региональная архитектура и строительство. 2019. № 2 (39). С. 72-79.

8. Дребезгова М.Ю., Лесовик В.С., Чернышева Н.В. Композиционные гипсовые вяжущие и материалы на их основе // монография – Белгород: Изд-во БГТУ, 2019. – 112 с.

**УДК 691.3, 669-1, 54-3**

***Полиенко И.А., Найман А.С.***

***Научный руководитель: Губарева Е.Н., канд. техн. наук, ст. преп.***

*Белгородский государственный технологический университет*

*им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## **ТИТАН И ЕГО СОЕДИНЕНИЯ: ПРИМЕНЕНИЕ В СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛАХ**

Титан – это химический элемент таблицы Менделеева, который применяется во многих сферах промышленности, в частности в строительстве.

Титан как металл и его сплавы уже более сорока лет являются объектом пристального внимания материаловедов, конструкторов,

архитекторов с точки зрения возможностей использования в различных видах строительных конструкций и монументальных сооружений [1].

Такое внимание к титану связано с наличием ряда уникальных свойств, по которым он превосходит другие металлические материалы (на основе железа, алюминия, меди, никеля, цинка), используемые в строительных сооружениях. Сплавы титана поддаются горячей и холодной обработке давлением, свариваются в инертной среде, но обладают низкими антифрикционными свойствами, но хуже обрабатываются резанием сравнительно со сталью. Сплавы титана обладают не только более высокой механической прочностью, но и большей коррозионной стойкостью, чем чистый титан. К дополнительным преимуществам титана и его сплавов можно добавить возможность создания широкой цветовой палитры поверхности за счет регулирования толщины окисной пленки, в частности, при термическом воздействии [2].

Титановые сплавы широко применяют в авиационной и ракетной технике, в химической промышленности, цветной металлургии и других отраслях, где их использование определяется ценными антикоррозионными свойствами [1–3].

В настоящее время в мире для строительных сооружений титан и его сплавы наиболее широко используются в Японии, что вызвано в первую очередь необходимостью применения при строительстве в этом островном государстве материалов коррозионностойких в морской воде, а титан по этим показателям существенно превосходит все широко используемые конструкционные металлы. В 2002 году на архитектурные сооружения в Японии было израсходовано 93 т, что составляло 0,6 % всего произведенного титана [2].

Помимо металлического составляющего в сплавах титан активно применяется в строительной отрасли в виде оксидных соединений.

Диоксид титана ( $TiO_2$ ) в зависимости от модификации делится на пигмент (рутил) и фотокатализатор (анатаз).

Диоксид титана как пигмент также называют титановыми белилами. Этот продукт химического производства используют как белый краситель в качестве отбеливателя при производстве пищевых продуктов, бытовой химии, лакокрасочных материалов и сухих строительных смесей (рисунок 1).



Рис. 1 Области применения диоксида титана

Титановые белила придают материалам такие свойства, защищающие их от коррозий, регулирующие эластичность, гидроизоляционность продукта, что очень важно для строительной отрасли.

Рутильная модификация диоксида титана представляет собой широко используемый белый пигмент. Его преимущество связано с удивительным сочетанием свойств: незначительное поглощение видимого света, высокий показатель преломления, высокую укрывистость и способность придавать долговечность покрытиям. Однако, усилия исследователей направлены на улучшение его характеристик, что особенно важно для уменьшения поглощения влаги пигментом и улучшению характеристик блеска и диспергируемости пигмента.

Обработка пигмента органическими веществами различных типов позволяет улучшить диспергируемость титановых белил. Например, известна обработка сухих титановых белил солями аминов с плохо растворимыми в воде органическими кислотами, такими как адипиновая кислота. Эти пигменты проявляют большую склонность к высыханию, характеризуются свойствами (маслоемкостью, цветом и блеском), соответствующими аналогичным пигментам, не содержащих соли амина [4, 7].

Диоксид титана анатазной модификации активно используется как фотокатализатор. Для решения проблемы загрязнения воды, воздуха и различных поверхностей актуальным и эффективным является использование фотокатализаторов [5, 6].

TiO<sub>2</sub> – является полупроводниковым соединением. По современным представлениям электроны таких соединений могут находиться в двух состояниях: свободном и связанном. В первом состоянии электроны движутся по кристаллической решетке, образованной катионами Ti<sup>4+</sup> и анионами кислорода O<sub>2</sub>, во втором состоянии – электроны большей частью связаны с каким-либо ионом в кристаллической решетке и участвуют в образовании химической связи. Для перевода электрона из связанного состояния в свободное необходимо затратить энергию не менее 3,2 эВ, которую могут обеспечить кванты света с длиной волны λ < 390 нм. Поэтому при поглощении света в объеме частицы TiO<sub>2</sub> рождаются свободный электрон и электронная щель («дырка»).

Электрон и дырка являются подвижными образованиями и, двигаясь в частице полупроводника, одни из них рекомбинируют, другие достигают поверхности и захватываются ею (рисунок 2).

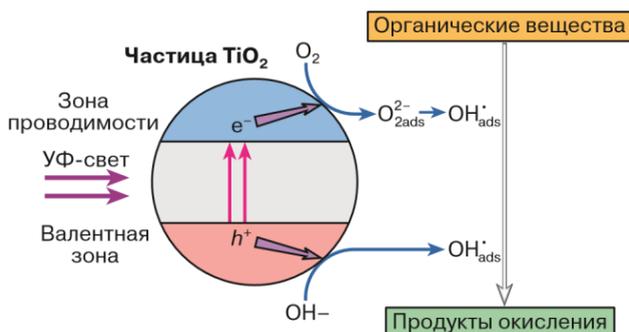
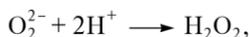
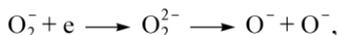


Рис. 2 Схематичное изображение процессов на частице анатаза [8]

Фотокатализ дает уникальную возможность глубокого окисления органических соединений в мягких условиях, а простота самих реакций позволяет рассчитывать на отличные перспективы использования [8].

Материалы с фотокаталитически активным диоксидом титана значительно улучшают качество окружающей среды. В частности,

фотокатализатор  $TiO_2$  представляется перспективным материалом для использования в бетонных конструкциях благодаря своей фотокаталитической способности, ускоряющей разложение загрязняющих веществ под действием света [9, 10]. Кроме того, поверхность материала с фотокатализатором  $TiO_2$  становится частично гидрофильной, что позволяет удалять разлагающиеся примеси. Это сочетание двух явлений – окисления загрязняющих веществ и гидрофильной поверхности – приводит к так называемому эффекту самоочистки [11].

Таким образом, титан широко применяется в строительной отрасли в виде металла в сплавах, в виде оксидов как белый наполнитель или активный фотокатализатор.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 22-19-20115) с использованием оборудования Центра высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова*

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Польшкин И.С. Применение титана в различных отраслях промышленности // И.С. Польшкин / мат-лы Международной конференции «Ti-2006 в СНГ». Суздаль, 2006. С. 26–31.
2. Колачев Б.А., Ливанов В.А., Елагин В.И. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов // МИСИС, 2005.
3. Батраков В.П. Вопросы теории коррозии и пассивности металлов в окислителях. Коррозия и защита металлов // Москва, 1957.
4. Уткин Н.И. Металлургия цветных металлов // Изд-во «Металлургия», 1985.
5. Ляпидевская О.Б., Фрайнт М.А. Фотокаталитический бетон для дорожного строительства // Вестник МГСУ. 2014. №2. С. 125–130.
6. Строкова В.В., Евстратов А.А., Огурцова Ю.Н., Кожухова М.И., Бондарева Е.Н. Перспективы производства и применения самоочищающихся строительных материалов в России // «Наукоемкие технологии и инновации»: Юбилейная Междунар. науч.-практ. конф., посвященная 60-летию БГТУ им. В.Г. Шухова (XXI научные чтения). 2014. С. 342–346.
7. Брэнд Д.Р., Стори Ф.М. Способ получения пигмента диоксида титана // 2012–2022. №2013429.
8. Пармон В.Н. Фотокатализ: Вопросы терминологии // Фотокаталитическое преобразование солнечной энергии / Ред. Пармон В.Н., Замараев К.И. Новосибирск: Наука, 1991. С. 7–17.

9. 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.

10. Антоненко М.В., Огурцова Ю.Н., Строкова В.В., Губарева Е.Н. Фотокаталитически активные самоочищающиеся материалы на основе цемента. Составы, свойства, применение // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2020. № 3. С. 16–25.

11. Хела Р., Боднарова Л. Исследование возможности тестирования эффективности фотокатализа –  $\text{TiO}_2$  в бетоне // Строительные материалы. 2015. № 2. С. 77–81.

*УДК 666.94:621.926*

*Примаков Д.Д.*

*Научный руководитель: Сальникова О.Н., канд. филос. наук, доц.*

*Белгородский государственный технологический университет*

*им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## **ПЕСОК КАК ОГРАНИЧЕННЫЙ ПРИРОДНЫЙ РЕСУРС**

В современном обществе активно обсуждаются проблемы исчерпаемых и не возобновляемых природных ресурсов. Одна из них - дефицит песка. Песок кажется бесконечным ресурсом, но зернистый материал является одним из самых потребляемых ресурсов на планете и может закончиться. Данное обстоятельство связано с тем, что он используется во многих продуктах. Среди них: зубная паста, солнцезащитный крем, кухонные раковины. При этом крупнейшим потребителем песка выступает строительная отрасль. Именно здесь песок используется в производстве кирпича, асфальта, бетона.

Можно вполне определенно утверждать, что песок один из основных ингредиентов, востребованных для современной строительной отрасли. Общество потребителей стремительно истощает его запасы. Сам процесс перепроизводства песка влечет за собой исчезновение таких объектов как пляжи, целые острова, а также загрязняет реки.

Согласно данным Программы Организации Объединенных Наций по окружающей среде, песок и гравий представляют собой наиболее добываемые твердые материалы во всем мире. Как известно, они сформированы эрозионными процессами в течение тысяч лет, и добываются со скоростью, которая намного превышает их

возобновление. По оценкам ЮНЕП, ежегодно добывается от 47 до 59 миллиардов тонн песка и гравия. Они используются в бетоне и асфальте для дорог, зданий, парковок, взлетно-посадочных полос и многих других сооружений [1].

Растущие города требуют огромного количества песка для многоквартирных домов, небоскребов и торговых центров. Спрос на песок носит безграничный характер. Так, некоторые виды строительного песка, используемые в Дубае импортируются из Австралии. При этом песок, который используется в подавляющем большинстве изделий, находится на дне рек, озер, океанов и пляжей.

Как природный материал, песок состоит из отдельных зерен, и его свойства зависят от гранулометрического состава и плотности сложения. Чем крупнее зерна и плотнее сложение, тем выше несущая способность песков. Песок из пустыни не подходит для строительства. Как считают современные исследователи, песок из пустыни редко используется в качестве строительного материала, поскольку зернышки слишком круглые из-за ветровой эрозии, поэтому он не склеивается и не дает силы. Для использования необходимо наличие угловых зерен, которые будут удерживать бетон вместе.

Для строительства подходит именно песок из рек и океанов. Но морской песок при этом менее пригодный материал для бетона, нежели речной. Так, его нужно очищать от соли, которая может вызвать коррозию металла в арматуре строительных конструкций. Речной песок стал первоочередным средством добычи. В связи с тем, что пустынный песок практически бесполезен для строительства, многие нации, такие как Дубай и Мавритания, которые находятся в пустынях, фактически испытывают нехватку ресурсов [2].

Необходимо подчеркнуть, что в качестве основных причин дефицита выступают недостаточное качество песка и дороговизна его транспортировки до места использования. Добыча песка ведется более быстрыми темпами, чем он восстанавливается. Но форсированная добыча представляет собой неэкологичный процесс. Поэтому, власти таких стран как Индонезии и Малайзии полностью запретили экспорт песка в Сингапур, а власти Вьетнама, Камбоджи и Мьянмы - существенно его ограничили [3].

Дефицит песка привел к росту его стоимости. Как следствие - вместо песка все активнее используется грунт, в бетон добавляют мелко измельченный камень. Широкое применение получил процесс повторного использования асфальта и бетона. Например, в Великобритании, 28% строительных материалов - переработанное вторсырье. Вместе с тем, стоимость песка растет и все больше опасений

вызывает его незаконная добыча. Из-за повышенных темпов урбанизации застройщики во всём мире используют в три раза больше песка, чем им требовалось всего два десятилетия назад. Добыча песка из речных и морских экосистем может привести к усилению эрозии [4].

Таким образом, песок является одним из основных компонентов материалов, обеспечивающих высокие эксплуатационные свойства современных зданий и сооружений. Песок может использоваться повсеместно, и возможности его применения не исчерпаны. Как материал он используется уже много веков подряд, а технология его применения совершенствуется и развивается. На данный момент исследователи и специалисты различных стран продолжают заниматься разработкой путей и способов решения проблемы ограниченности песка как природного ресурса, обладающего высокими показателями прочности.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чумакова О. А., Артемьева Ю. С., Устинова А. А. Рациональные области использования мелких строительных песков месторождений Пензенской области // Сборник трудов Международной научной конференции «Экология, безопасность в техносфере, охрана труда». Пенза: ПГУАС, 2012. С. 32-36.

2. Узаева, А.А. Опыт использования барханных песков в строительстве // Тенденции и перспективы развития современного научного знания: матер. XVI Междунар. науч.-практ. конф., 8-9 октября 2015 г. Москва: Институт стратегических исследований, 2015. С.54-57.

3. Руденко А.С., Коркишко А.Н. Организационно-технические решения повышения эффективности разработки карьеров песка в зонах распространения многолетнемерзлых грунтов крайнего Севера // Успехи современного естествознания. 2020. № 1. – С. 38-46.

4. Редькин Г.И., Красюкова Е.И., Овчарова Н.В. Классификация горных пород по признакам их строения // Вектор ГеоНаук. 2018 Т.1. №3. С. 23-26.

*Присяжнюк А.П.*

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

## **МЕЛКОЗЕРНИСТЫЙ БЕТОН НА ОСНОВЕ СТЕКЛОЩЕЛОЧНОГО ВЯЖУЩЕГО**

Спрос на вяжущие вещества постоянно возрастает. Поэтому важно не только максимально увеличить производство уже известных вяжущих, но и изыскивать новые их виды, расширять сырьевую базу для их производства. В этом плане особое внимание представляют безобжиговые и бесцементные вяжущие, как наименее энергоемкие. В предыдущих исследованиях нами разработан состав стеклощелочного вяжущего и определены его свойства. Вяжущее представляет собой молотый до удельной поверхности 500–550 м<sup>2</sup>/кг стеклобой совместно с раствором едкой щелочи.

Как показали многочисленные исследования [1-4], стекло в естественных условиях вяжущих свойств не проявляет. Это объясняется тем, что при нормальных условиях аморфный кремнезем, также как и кристаллический – практически нерастворимое в воде вещество. Однако его растворимость линейно возрастает с ростом температуры, а также в сильнощелочном растворе. Именно щелочная среда оказывает большое влияние на растворимость кремнезема и дальнейшую поликонденсацию кремниевых кислот [5]. В результате поликонденсации происходит образование кремнезелей, которые при повышенных температурах (85–90°С) быстро переходят в гели поликремниевых кислот. Они склеивают в монолит не полностью растворившиеся частицы стекла и зерна заполнителя. Затем, по истечении определенного времени, гели частично закристаллизовываются. Кристаллизация геля объясняется тем, что он находится в метастабильном состоянии и при повышенных температурах в присутствии щелочи стремится перейти в более устойчивые кристаллические формы [6].

С целью получения мелкозернистого бетона использовалось стеклощелочное вяжущее (СЩВ) состава (масс. %):

- Стеклобой – 80,5–84,6;
- Щелочь едкая – 1,7–2,6;
- Гиперпластификатор – 0,2;
- Вода 12,6–17,6.

В качестве мелкого заполнителя применялись кварцевый песок и дробленый стеклобой. Оба заполнителя имели размер зерен 1,25–0 мм.

Песок или стеклобой (каждый из заполнителей использовался отдельно) смешивался с определенным количеством СЩВ, смесь переносилась в металлические формы, ячейки которых представляют собой кубы с размером ребра 3 см. Смесь уплотнялась на встряхивающем столике и оставлялась на ночь. За это время она набирала распалубочную прочность. После распалубки извлеченные образцы подвергались тепловой обработке в сушильной камере при температуре 85–90°C в течение 6 ч. Прошедшие тепловую обработку образцы подвергались физико-механическим испытаниям, результаты которых отображены в (таблице 1).

Таблица 1 – Результаты физико-механических испытаний образцов мелкозернистого бетона

№ п/п	Твердые компоненты, масс. %			В/Т	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Прочность, МПа
	СЩВ	Песок	Стеклобой			
1	75	25	-	0,15	1929	23,31
2	75	-	25	0,15	1926	22,44
3	75	25	-	0,18	1943	25,02
4	75	-	25	0,18	1938	24,52
5	75	25	-	0,20	1906	20,67
6	75	-	25	0,20	1884	18,85
7	75	25	-	0,25	1844	14,41
8	75	-	25	0,25	1836	14,08

Результаты эксперимента показали (табл. 1), что на безцементном стеклощелочном вяжущем может быть получен мелкозернистый бетон с прочностными характеристиками 24–25 МПа при использовании в качестве мелкого заполнителя кварцевого песка или дробленого стеклобоя. Режим твердения бетона – сушка при температуре не более 90°C. При этом исключаются тепловлажностная и автоклавная обработки, требующие высоких энергозатрат и большого расхода пара. При этом обнаружено оптимальное значение водотвердого отношения, равное 0,18.

На микрофотографиях, снятых на растровом электронном микроскопе, структура образцов представляет собой камневидное тело с вкраплениями частично закристаллизованного кремнегеля (нитевидные и пластинчатые фрагменты), между которыми располагаются плотно прилегающие к ним зерна заполнителя. Такое расположение позволяет создавать уплотненную и упрочненную структуру, обеспечивающую бетону высокую прочность (рис. 1).

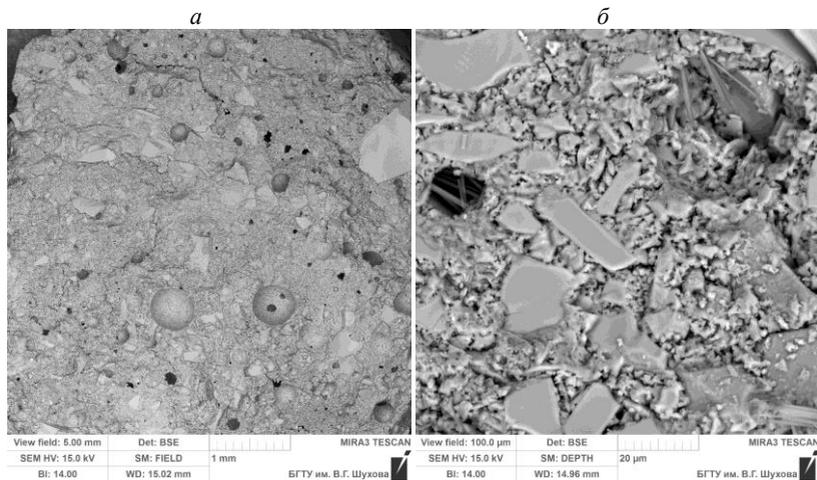


Рис. 1. Микроструктура образцов на заполнителях:  
*а* – песок (мелкозернистый бетон); *б* – стеклобой (стеклобетон)

Проведенные исследования позволяют сделать вывод о том, что при получении мелкозернистого бетона (заполнитель – кварцевый песок) и стеклобетона (заполнитель – стеклобой) может быть использовано безцементное и безобжиговое вяжущее, а сама технология отличается низкими энергозатратами.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Айлер, Р. Химия кремнезема / Р. Айлер. – М.: Мир, 1982. – Ч. 1. – 421 с.
2. Порай-Кошиц, Е.А. Кристаллохимические аспекты строения неорганических стекол / Е.А. Порай-Кошиц. – М-Л.: Наука, 1965. – С. 7-13.
3. Регур, М. Кристаллохимия компонентов портландцементного клинкера / М. Регур, А. Гинье // В кн.: 6 Междун. конгресс по химии цемента. – М.: Стройиздат, 1976. – т. 1. – С. 25-51.
4. Руцков, А.П. Краткий курс коллоидной химии / А.П. Руцков. – Л.: Химия, 1958. – 280 с.
5. Кирилишин, В.П. Кремнебетон / В.П. Кирилишин. – Киев: Будівельник, 1975. – 110 с.
6. Аппен, А.А. Неорганические материалы / А.А. Аппен, В.В. Глушакова, С.С. Коялова. Т. 1. – № 4. – 1965. – С. 576-582.

УДК 666.9.1:666.127

*Присяжнюк А.П.*

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

## **РАЗРАБОТКА СОСТАВА И ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ СТЕКЛОЩЕЛОЧНОГО ВЯЖУЩЕГО**

Ежегодно в Российской Федерации образуется порядка 35–40 млн. т твердых бытовых отходов, из которых 8–10 % составляют отходы стекла. Эти отходы являются ценным вторичным ресурсом. Однако на данный момент стекло не перерабатывается в полном объеме в силу ряда причин: неоднородность химического состава, наличие загрязняющих примесей, высокая стоимость выделения стекла из смесей твердых бытовых отходов. Вместе с тем, перспективным решением задач, связанных с проблемой ресурсосбережения и повышения технико-эксплуатационных свойств строительных материалов, является использования боя несортированного стекла (оконного, тарного, бытового и т.п.) или просто стеклобоя, вопросы утилизации которого стоят довольно остро. На данный момент только в России в отвалах скопилось более 2,5 млн. т стеклобоя, и это количество постоянно растет [1, 2].

В настоящее время активно ведутся исследования по поиску способов утилизации стеклобоя. Измельченный стеклобой добавляют в пластмассы и другие строительные материалы и изделия, его также используют в производстве пеностекла, в качестве наполнителя в бетонах и битумах, для получения пористых облицовочных материалов, облицовочной и напольной плитки, панелей, искусственного шифера, кровельных материалов. Стеклобой может использоваться не только в качестве заполнителя или наполнителя в цементных композитах, но и как компонент вяжущего, на основе которого возможно получение материалов различного назначения. Об этом свидетельствуют некоторые литературные источники: если стеклобой тонко измельчить, модифицировать его состав различными добавками, подвергнуть тепловлажностной (или тепловой) обработке, то можно получить гидравлическое вяжущее и использовать его при производстве строительных материалов различного назначения [3, 4].

В связи с изложенным, актуальное значение приобретает вопрос разработки состава вяжущего на основе стеклобоя, способного набирать прочность в нормальных тепло-влажностных условиях или

при тепловой обработке при температуре не более 100°C. Измельчение может производиться как сухим способом, так и в жидкой среде. Известно, что мокрый помол позволяет получать тонкодисперсные системы с высокой удельной поверхностью. Тонкое диспергирование приводит к повышению химической активности веществ за счет проявления поверхностных эффектов [4].

При разработке состава вяжущего мы исходили из ранее полученных результатов исследований А.Д. Богатова и С.Н. Богатовой, которыми получены эффективные безавтоклавные композиционные строительные материалы на основе боя стекла, затворяемые щелочными растворами, обладающие повышенной стойкостью в водных растворах кислот и биологически активных средах [5, 6]. Однако этими авторами использовался сухой помол стеклобоя, а затем его обработка щелочным раствором при механическом перемешивании. В результате происходило вымывание аморфного кремнезема лишь с поверхности частиц боя стекла, что на наш взгляд, не совсем эффективно. В наших экспериментах производился помол стеклобоя в концентрированном растворе щелочи, что обеспечивало одновременное разрушение частиц стекла и растворение в щелочи аморфного кремнезема стекла. Процесс растворения (вымывания) аморфного кремнезема в этих условиях осуществлялся по всему объему измельчаемых частиц, что в итоге обеспечивало более высокую концентрацию образовавшегося кремнегеля.

В качестве стеклобоя был взят бой оконного и тарного стекла, среднестатистический химический состав приведен в (таблице 1).

Таблица 1 – Среднестатистический химический состав стеклобоя

Оксиды	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O
Оконное	69,0–72,5	1,5–4,2	0,1–0,8	7,5–8,7	2,5–3,5	13,2–14,0
Тарное	71,5–73,7	0,2–3,3	0,8–1,7	5,2–9,1	0,1–0,6	14,0–14,8

Задачей предстоящих экспериментов являлось разработка оптимального состава вяжущей суспензии, режимов помола и тепловой обработки. Цель – получение вяжущего повышенной прочности при минимальных энергозатратах.

На первом этапе исследований было установление оптимального времени помола стеклобоя. Бой стекла был пропущен через лабораторную щековую дробилку с выходным отверстием щеки 2,5–5 мм. Затем отобранная масса стеклобоя (500 г) подвергалась помолу в

различных режимах по времени (2, 4, 6 и 8 ч), при этом фиксировалась удельная поверхность продукта помола и средний размер его частиц.

Таблица 2 – Изменение дисперсности стеклобоя от времени помола

№ п/п	Время помола, ч	Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /кг	Средний диаметр частиц, мкм
	2	386,4	5,9
	4	516,6	4,6
	6	541,2	4,3
	8	550,8	4,2

Как показали результаты эксперимента (таблица 2), интенсивный прирост величины удельной поверхности наблюдается на протяжении 6 ч помола, далее он замедляется и к 8 ч становится малоэффективен. Поэтому в дальнейших экспериментах помол указанного количества дробленого боя стекла осуществлялся в шестичасовом режиме.

На втором этапе для помола отбиралось 500 г дробленого стеклобоя и 100 мл раствора щелочи с гиперпластификатором. Добавка последнего составляла 0,8 г (установлено опытным путем). Щелочи использовались гранулированные – NaOH или KOH (реактивы марки х.ч.), гиперпластификатор – Melflux 2651 F. Все компоненты загружались в фарфоровую шаровую мельницу, где осуществлялся их совместный помол. В процессе помола образуется вязкая клеящая масса, обладающая высокой тиксотропностью при ударных и вибрационных воздействиях. Гиперпластификатор оказывает разжижающий эффект на связующую массу, снижает количество воды затворения и одновременно повышает концентрацию щелочи в растворе. Масса в процессе помола насыщается аморфным кремнеземом, молекулы которого, вступая в реакцию поликонденсации, образуют полимерные цепочки золя поликремниевых кислот, которые в процессе тепловой обработки преобразуются в кремнегели и отвердевают.

Вязущая масса после помола переносилась в металлические формы с кубическими ячейками размером 3×3×3 см и уплотнялась на встряхивающем столике. Число ударов при формовании было постоянным и для каждого состава составляло 200 ударов. Отформованные образцы выдерживались в формах до приобретения распалубочной прочности (15–16 ч) и после распалубки подвергались тепловой обработке (сушке) в сушильном шкафу. Отвердевшие образцы подвергались обмерам, взвешиванию и испытанию на прочность. Результаты испытаний приведены в (таблице 3).

Таблица 3 – Зависимость физико-механических показателей образцов вяжущего от концентрации щелочного раствора

№ п/п	Концентрация раствора щелочи, %	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Прочность при сжатии, МПа
1	9	1830,1	16,72
2	11	1836,4	20,18
3	13	1841,3	25,66
4	15	1832,5	18,03
5	17	1823,6	14,77

Как показали результаты испытаний, образцы после твердения обладают пределом прочности при сжатии от 14,77 до 25,66 МПа. Оптимальным (показавшим наивысшую прочность) оказался состав № 3 с концентрацией едкой щелочи 13 %, причем результат оказался практически одинаковым, как для NaOH, так и KOH.

Следующим этапом исследований было установление оптимальной температуры и времени тепловой обработки стеклощелочного вяжущего. Для этого была приготовлена большая партия образцов и подвергнута тепловой обработке при различных температурах в лабораторной сушильной камере. Температура изменялась от 50 до 200°С с шагом в 50°. Время было выбрано произвольно – 6 ч, но в дальнейшем, после проверочных опытов, оно не изменилось. Результаты испытаний образцов после обработки в различных температурных режимах приведены в (таблице 4).

Таблица 4 – Зависимость физико-механических показателей образцов вяжущего от температуры обработки

№ п/п	Температура обработки, °С	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Прочности при сжатии, МПа
1	50	1830,4	18,19
2	100	1838,5	22,74
3	150	1826,3	16,54
4	200	1822,2	13,97

Как показали результаты (табл. 4), при обработке образцов вяжущего от 50 до 100°С наблюдается нарастание их плотности и прочности. При дальнейшем нагреве (от 100°С и выше) происходит снижение этих показателей. По уточненным данным, оптимальный режим тепловой обработки стеклощелочного вяжущего лежит в

интервалах температуры 85–90°C и времени 5–6 ч. При этом прочность достигает значения более 25 МПа.

Таким образом, разработан состав безобжигового и бесцементного вяжущего с минимальными сроками твердения, имеющего механическую прочность 25 МПа и выше. На проведенную разработку подана заявка на патент (заявка № 2021134166/20, дата пост. 23.11.2021).

Использование бесклинкерного вяжущего на основе стеклобоя позволит значительно расширить сырьевую базу материалов, используемых при производстве минеральных вяжущих веществ, увеличить ассортимент выпускаемых изделий и сэкономить такие дорогостоящие материалы как цемент, известь и др.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шестеркин, М.Н. Ячеистый бетон неавтоклавного твердения на основе стеклобоя : специальность 05.23.05 «Строительные материалы и изделия» : дисс. на соиск. уч. степени канд. техн. наук / Шестеркин Михаил Николаевич. – М., 2002. – 196 с.

2. Цебоева Т.К. Отделочные материалы и изделия из мелкозернистых бетонов на основе бесклинкерного вяжущего: специальность 05.23.05 «Строительные материалы и изделия» : дисс. на соиск. уч. степени канд. техн. наук / Цебоева Тамара Кирилловна. – Волгоград., 2007. – 198 с.

3. Ерофеев, В.Т. Строительные материалы на основе отходов стекла / В.Т. Ерофеев, А.Д. Богатов, С.Н. Богатова, С.В. Казначеев // Вестник Мордовского ун-та. – 2008. – № 4. – С. 70-79.

4. Месяц, М.В. Синтез стекольной вяжущей суспензии и пористого материала на ее основе: специальность 05.17.11 «Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов»: дисс. на соиск. уч. степени канд. техн. наук / Месяц Михаил Владимирович. – Белгород, 2016. – 145 с.

5. Богатов, А.Д. Безавтоклавные композиты на основе боя стекла: специальность 05.23.05 «Строительные материалы и изделия»: автореф. дисс. на соиск. уч. степени канд. техн. наук / Богатов Андрей Дмитриевич. – Пенза, 1999. – 19 с.

6. Богатова, С.Н. Ячеистые и поризованные бетоны на основе стеклощелочного связующего: специальность 05.23.05 «Строительные материалы и изделия»: дисс. на соиск. уч. степени канд. техн. наук / Богатова Светлана Николаевна. – Саранск, 2010. – 165 с.

*Сарр А., Мамедов Э.И.*

*Научный руководитель: Калмыкова Е.Н., канд. хим. наук, доц.  
Липецкий государственный технический университет,  
г. Липецк, Россия*

## **ОПТИЧЕСКАЯ МИКРОСКОПИЯ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ЦИТРУСОВОГО ПЕКТИНА И ИОНОВ ЖЕЛЕЗА**

Пектины – уникальные биологически активные соединения, обладающие широким спектром действия [1–6]. Благодаря низкой токсичности и возможности получения модифицированных производных с более высокой или принципиально новой фармакологической активностью пектиновые полисахариды рассматриваются в качестве потенциальных фармацевтических субстанций [7–11]. Вместе с тем, наибольший интерес вызывает способность пектинов взаимодействовать с ионами металлов, что связано с возможностью создания новых эффективных лекарственных препаратов на их основе. В зависимости от относительного количества карбоксильных групп в остатках галактуроновой кислоты, этерифицированных метиловым спиртом, различают высокометоксилированные (ВП) и низкометоксилированные пектины (НП).

Данные структурные особенности молекул полисахарида создают разнообразие физико-химических параметров пектина, что отражается на их биологических и фармакологических свойствах [12–16]. Отсутствие в литературе достаточных сведений о взаимосвязи между физико-химическими характеристиками пектинов, главным образом, содержанием свободных карбоксильных групп, с одной стороны, и комплексообразующей способностью с неорганическими комплексами, с другой стороны, создает предпосылки для проведения исследований в этом направлении.

Получен и охарактеризован водорастворимый металлокомплекс пектина с ионами железа, синтез которого осуществлен по методике, описанной в работе [17], включающий стадию получения пектата натрия в качестве промежуточного продукта. Для получения комплексов использована натриевая соль деэтерифицированного пектина – пектат натрия. Цитрусовый пектин обрабатывали щелочным раствором при значениях рН, соответствующих переходу из слабокислой (рН 3,8) в слабощелочную область (рН 8,5 - 9,0).

Такой подход используется для повышения эффективности включения катионов железа в полисахаридный комплекс за счет «снятия» Оме- и ОАс-заместителей с карбоксильных групп гликана при действии NaOH. В результате последующего добавления раствора, содержащего  $Fe^{2+}$  получается натрий-железо-полигалактуронат (ПГNaFe) со степенью замещения ионов натрия на катион железа 20%.

Оценку полученного комплекса проводили методом оптической микроскопии с использованием микроскопа «Альтами МЕТ 1Т».

По данным оптической микроскопии (рисунок 1) можно отметить различия исходного пектина, металлокомплексов натрия и железа с пектиновыми молекулами.

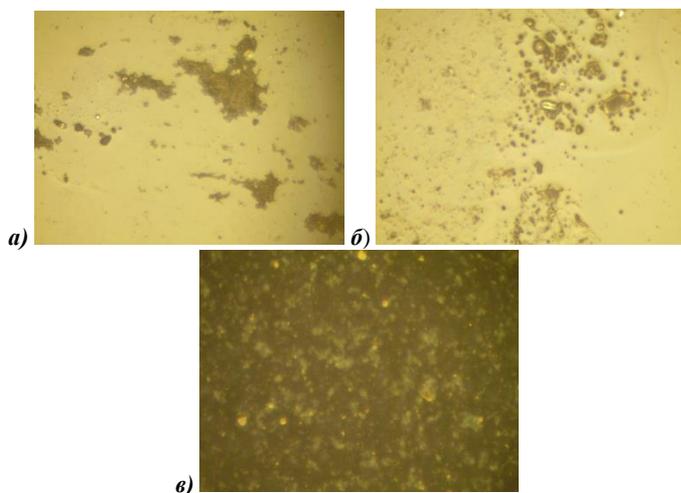


Рис. 1 Микрофотографии

*a* – исходный пектин; *б* – пектат натрия; *в* – комплекс пектин- $Fe^{2+}$

Исходный пектин (а) и пектат натрия (б) имеют более аморфный характер микроструктуры, а композит с железом (в) характеризуется более упорядоченными линейными структурами с зонами голубого цвета вдоль макромолекул, что указывает на присутствие ионов железа. Наличие бурых вкраплений может указывать на присутствие  $Fe(OH)_3$ , образующихся в результате гидролиза  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$  в водной среде.

Полученный комплекс ПГNaFe является перспективным и может оказывать положительное влияние на гематологические показатели крови, обладая противоанемическим действием: повышает число эритроцитов и концентрацию гемоглобина в крови.

Отдельную благодарность выражаем к.т.н., доценту кафедры нанотехнологий Липецкого государственного технического университета Тарасовой Наталье Владимировне за съемку микрофотографий металлокомплексов.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Донченко Л. В., Фирсов Г. Г. Пектин: основные свойства, производство и применение. М.: ДеЛи. 2007. 276 с.
2. Sriamornsak P. Chemistry of pectin and its pharmaceutical uses: A review // Silpakorn University International Journal. 2003. Vol. 3. Pp. 206–228.
3. Thakur B. R., Singh R. K., Handa A. K. Chemistry and uses of pectin—a review // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 1997. Vol. 37. Pp. 47–73.
4. Голубев В. Н. Пектин: химия, технология, применение. М.: Пищ. пром-ть. 1995. 388 с.
5. Комиссаренко С.Н., Спиридонов В.Н. Пектины – их свойства и применение: обзор // Раст. ресурсы. 1998. Т. 34. №1. С. 111-119.
6. Хужоков Ж.Д., Парфепенко В.В. Производство и применение пектина. Нальчик, 1961. 161 с.
7. Noreena A., Nazlic Z., Akrama J., Rasulb I., Manshaa A., Yaqoobc N., Iqbal R., Tabasuma S., Zubera M., Ziaa K. Pectins functionalized biomaterials; a new viable approach for biomedical applications: A review // International Journal of Biological Macromolecules. 2017. Vol. 101. Pp. 254–272.
8. Кайшева Н.Ш., Кайшев А.Ш. Фармакохимические основы применения пектинов и альгинатов. Пятигорск: РИАКМВ, 2016. 260 с.
9. Хотимченко Ю.С., Одинцова М.В., Ковалев В.В. Полисорбонат. Томск: НТЛ. 2001. 132 с.
10. Маркин П.А., Попов С.В., Никитина И.Р., Оводова Р. Г., Оводов Ю. С. Противовоспалительная активность пектинов и их галактуронанового кора // Химия растительного сырья. 2010. №1. С. 21–26.
11. Василенко Ю.К., Москаленко С.В., Кайшева Н.Ш. Получение и изучение физико-химических и гепатопротекторных свойств пектиновых веществ // Хим.-фарм. журн. 1997. №6. С. 28–29.
12. Ralet M., Dronnet V., Buchholt H., Thibault J. Enzymatically and chemically de-esterified lime pectins: characterisation, polyelectrolyte behaviour and calcium binding properties // Carbohydrate Research. 2001. Vol. 336. Pp. 117–125.

13. Khotimchenko M.Y., Kolenchenko E.A., Khotimchenko Y.S., Khozhaenko E. V., Kovalev V. V. Cerium binding activity of different pectin compounds in aqueous solutions // *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. 2010. Vol. 77. Pp. 104–110.

14. Uryash V.F., Kokurina N.Yu., Gruzdeva A.E., Larina V.N. Polysaccharides as Effective Sorbents for Lead and Cadmium // *Russian Journal of General Chemistry*. 2017. Vol. 87. Pp. 3212–3219.

15. Khotimchenko M.Y., Kovalev V.V., Khotimchenko Y.S. Equilibrium studies of sorption of lead(II) ions by different pectin compound // *Journal of Hazardous Materials*. 2007. Vol. 149. Pp. 693–699.

16. Мыкоц Л. П., Туховская Н. А., Бондарь С. Н. Определение кинетики сорбции катиона металла пектином из цитрусовых // *Успехи современного естествознания*. 2010. №6. С. 55–57.

17. Дойникова, А.И. Выделение свекловичного пектина. Получение пектиновых металлокомплексов с ионами железа: выпускная квалификационная работа. Казань, 2020. 122 с.

**УДК 691**

*Свицова Т.В., Кириченко Д.Е., Чуриков А.С.*

*Научный руководитель: Загороднюк Л.Х., д-р техн. наук, проф.*

*Белгородский государственный технологический университет*

*им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## **ПРЕССОВАННЫЕ БЕТОНЫ НА КОМПОЗИЦИОННЫХ ВЯЖУЩИХ ДЛЯ АРХИТЕКТУРНЫХ ИЗДЕЛИЙ**

Эмоциональное состояние людей – это одна из актуальных проблем настоящего времени. На фоне напряженных экономических и политических ситуаций очень важно создавать все возможные условия, способствующие улучшению эмоционального фона населения.

Как же на это может повлиять строительство? На самом деле вариантов ответа большое количество. Одним из них является – благоустройство территорий [1-2].

Актуальная проблема строительства в целом – разработка новых строительных материалов, с повышенной функциональностью, экологичностью и надежностью. Способов улучшения ранее созданных материалов большое количество, начиная от корректировки состава и заканчивая изменением самого технологического процесса.

Бетон – строительный материал, получаемый в результате формования и затвердевания рационально подобранной смеси,

включающей в свой состав вяжущее вещество, воду, наполнители и добавки.

Номенклатура изделий из бетона обширна, его используют в строительстве зданий и сооружений, для внутренней и наружной отделки, для изготовления декоративных бетонных изделий и т. д. Его применяют как для интерьера, так и для экстерьера.

Несмотря на популярность и широкое применение этого материала, ученые продолжают на его основе создавать новые материалы и изделия.

Для повышения характеристик изделий из бетона был предложен способ контактного твердения. Сущность этого метода заключается в образовании прочного водостойкого материала в момент сближения частиц. Применение принципа контактного твердения способствует созданию продукции с высокой плотностью и прочностью [3].

Способность к самоуплотнению, за счет прессования, позволяет упростить процесс работы с бетоном, а также повысить его функциональность.

Самоуплотняющиеся или по-другому прессованные бетоны находят широкое применение в благоустройстве территории. Они нашли практическое применение для изготовления декоративных бетонных изделий, малых архитектурных форм и т. д.

Именно декоративные элементы создают тот самый уют, о котором сказано ранее.

Из прессованных бетонов на композиционных вяжущих можно получить изделия, отвечающие следующим требованиям: эстетичный облик города, долговечность декоративных элементов, соотношение цены и качества.

Подробнее о каждом требовании. Декоративные архитектурные элементы – это с одной стороны вспомогательные сооружения, художественно-декоративные элементы, а с другой стороны неотъемлемая часть эстетики, которая повышает комфорт, украшает городскую среду, разграничивает территории, создает связь между искусственными сооружениями, с природным окружением.

Малые архитектурные формы (МАФ) делят на две группы: утилитарные (удовлетворяющие потребностям человека в комфортной среде) и декоративные (принадлежащие к искусству). В настоящее время практически все МАФ сочетают в себе утилитарность и декоративность [2].

За долговечность отвечает состав и технологический процесс элементов декора. Одной из сложностей в изготовлении МАФ является необходимость придания изделиям сложных геометрических форм, а

также мелких элементов. С одной стороны выход очевиден – применение высокоподвижных бетонных смесей, но это только в том случае, если не учитывать, что на выходе необходимо получить долговечные архитектурные элементы. На этом этапе становится понятно почему целесообразно применять именно прессованные бетоны. Особое влияние при создании и твердении прессованных бетонов оказывает сырье создаваемых структур за счет использования различного природного и техногенного сырья [4-8].

Получают такие бетоны приложением на смесь внешней силы, при помощи пресса. На выходе получается водостойкий материал, сразу после уплотнения, такой процесс получается за счет возникновения в материале водостойких контактов. В результате получают высококачественный прочный бетон [9].

С экономической точки зрения целесообразно снизить себестоимость МАФ. Одним из вариантов снижения цены является введение в состав отходов промышленности, это в свою очередь окажет положительное влияние на экологию. В практике строительных материалов используют различные отходы, которые в свою очередь помогают получать заданные характеристики получаемого продукта.

В настоящее время каждый год образуется большое количество бетонных отходов. Большая часть строительных отходов вывозят на свалки, в результате этих действий оказывается отрицательное влияние на экологию, что влечет за собой серьезные проблемы. Но, к счастью, бетонный лом стали использовать в качестве заполнителя, в результате это оказывает не только положительное влияние на окружающую среду, но и удешевляет получаемые изделия [10-12].

На практике было неоднократно получено, что бетонный лом оказывает положительное влияние на характеристики получаемого материала [11].

Номенклатура декоративных бетонных элементов обширна. Бетон используют для получения клумб, скульптур, памятников, заборов, тротуарных плиток и т. д. Эти элементы выполняют много положительных функций, но если придерживаться предложенных в данной статье советов, то на выходе можно получить долговечные, экономически оправданные архитектурно-художественные элементы.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Дегтев, Ю. В. Эволюция малых архитектурных форм в России / Ю. В. Дегтев [Текст] // Вестник Белгородского государственного

технологического университета им. В. Г. Шухова, 2013. - №1. – С. 40–45.

2. Лесовик, В. С. Вяжущие для малых архитектурных форм из самоуплотняющихся бетонов [Текст] / В. С. Лесовик, Ю. В. Дегтев, В. В. Воронов [Текст] // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. – 2014. – №5. – С. 85–87.

3. Глуховский В. Д. Вяжущие и композиционные материалы контактного твердения / В. Д. Глуховский, Р. Ф. Рунова, С. Е. Максун. — Киев: Выща шк., 1991. — 242 с

4. Володченко А. А. Проблема рационального природопользования / А. А. Володченко, Е. О. Прасолова Е, Ахмед Ахмед Анис Ахмед, Н. В. Кулик // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. – 2014. – № 6. – С. 7–10.

5. Лесовик В.С. Сродство структур как теоретическая основа проектирования композитов будущего / В.С. Лесовик., И.Л. Чулкова, А.Д. Толстой, А.А. Володченко // Строительные материалы. 2015. № 9. С. 18–22.

6. Лесовик В.С. Теоретические основы создания сухих строительных смесей / В.С. Лесовик, Е. С. Глаголев, А. А. Володченко // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2016, № 9. С. 40–52.

7. Лесовик В. С. Теоретические подходы к созданию оптимальных структур сухих строительных смесей / В.С. Лесовик, Е. С. Глаголев // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2016, № 10. С.6-11.

8. Лесовик В.С. Закон сродства структур в материаловедении / В. С. Лесовик, И. Л. Чулкова // Фундаментальные исследования. 2014. № 3. Часть 2. С.267-271.

9. Рунова Р. Ф. Перспективы использования вяжущих контактно-конденсационного твердения в композиционных материалах / Р. Ф. Рунова, С. Е. Максун // Цемент. — 1990. — 6. — С. 54—56

10. Лесовик Р.В. Композиционные вяжущие на основе бетонного лома [Текст] / Р.В. Лесовик, А.А.А. Ахмед, С.К.Ш. Аль Мамури, Т. С. Гунченко // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. – 2020. - №7. – С. 8–18.

11. Эффективное использование отходов бетонного лома в качестве заполнителя в производстве бетонных и железобетонных изделий. Кафедра технологии вяжущих материалов и бетонов МГАКХИС. М. А. Фахратов, В.И. Сохряков, Е. А. Калмыкова, А. А. Белов, [www.ids55.ru/ais/articles/2010-05.../806-2012-08-10-09-19/html](http://www.ids55.ru/ais/articles/2010-05.../806-2012-08-10-09-19/html)

12. Алфимова Н.И., Вишневская Я.Ю., Трунов П.В. Композиционные вяжущие и изделия с использованием техногенного сырья. Saarbrucken. LAP LAMBERT, 2013. 127 с.

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

## **К ВОПРОСУ О РАЗМЕРНОМ ФАКТОРЕ ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКИХ КОМПОЗИТОВ НА КАРБОНАТНОМ НОСИТЕЛЕ**

Использование наноматериалов в строительной индустрии в настоящее время является основной темой исследований во всем мире для повышения уровня устойчивости зданий и сооружений. Было продемонстрировано, что нанотехнологии способны улучшать характеристики традиционных строительных материалов, производя – с помощью стандартных процедур синтеза – новые экологически устойчивые, дешевые и многофункциональные нанокompозиты [1]. Загрязнение атмосферы является серьезной проблемой во всем мире, поскольку плохое качество воздуха негативно сказывается на долговечности зданий и их эстетическом виде.

Достижения в области науки и техники фотокатализа способствовали улучшению качества строительных материалов. Помимо обеспечения долговременной белизны и чистоты, гарантирующих меньшее и более эффективное техническое обслуживание, фотокаталитические строительные материалы также были приняты в качестве многообещающего и эффективного средства снижения загрязнения воздуха [2].

Большой объем работ был посвящен исследованию фотокатализа на основе диоксида титана ( $\text{TiO}_2$ ) и его использования в качестве фотокаталитического материала, способного окислять многие органические и неорганические соединения [3].  $\text{TiO}_2$  характеризуется высокой стабильностью своей химической структуры, биосовместимостью и полезными физическими, оптическими и электрическими свойствами, в связи с чем он является самым предпочтительным фотокатализатором [4]. Для реализации самоочистки путем протекания окислительно-восстановительных реакций разложения загрязнителя требуется только воздействие солнечного света, в связи с чем снижаются материальные затраты на эксплуатацию и техническое обслуживание изделий [5].

Разработка фотокаталитических материалов, которая широко касалась бетона как наиболее распространенного материала в

гражданском строительстве, постепенно расширилась до различных материалов, включая минеральные камни и горные породы.

В последние годы известняк ( $\text{CaCO}_3$ ) привлек огромное внимание современных исследователей в качестве коммерчески доступного недорогого альтернативного наполнителя для различных промышленных применений.

Это также подходящий наполнитель с экологической точки зрения, так как он менее загрязняет окружающую среду, обладает низкой токсичностью и характеризуется белым цветом. Карбонат кальция является одним из пятых по распространенности биоминералов в земной коре. Это необходимый материал, который образуется в геологических источниках, таких как известняк, мел и мрамор, и биологических организмах, например, кораллы, жемчуг, раковины моллюсков, яичная скорлупа. Кальцит широко используется в качестве наполнителя во многих отраслях промышленности, таких как производство резины, пластика, бумаги, печатной краски, пищевой промышленности, фармацевтической промышленности, клеев, герметиков и для некоторых других отраслей промышленности [6].

В целях повышения фотокаталитической эффективности, учеными было установлено, что модифицирование  $\text{TiO}_2$  минеральным носителем способствует повышению фотоактивности, в связи с четко выраженной агрегативной связью между фотокаталитической и матричной частями. Также по литературным данным известно, что степень дисперсности частиц способна влиять на фотокаталитическую активность [7].

На сегодняшний день задачей современного фотокатализа является повышение фотокаталитической активности с участием диоксида титана. Для решения этой проблемы учеными было предложено модифицировать диоксид титана различными добавками природного происхождения, что позволит улучшить степень взаимодействия фотокаталитической части и матричной части.

Среди известных методов получения наночастиц золь-гель синтез допускает гибкое регулирование параметров, что дает возможность получить желаемые структурные характеристики, в частности размер получаемых частиц.

Для синтеза наночастиц диоксида титана и композиционных материалов использовались (таблица 1): источник диоксида титана (тетрабутоксититан (ТБТ)), растворитель (этиловый спирт), карбонатные носители – известняк ( $\text{CaCO}_3$ ) и известь ( $\text{CaO}$ ).

Таблица 1 – Компонентный состав исследуемых материалов

Образец	Содержание в составе, %				
	ТБТ	Спирт	Вода	Известь (CaO)	Известняк (CaCO <sub>3</sub> )
№ 1	25	68	7	–	–
№ 2	25	62	13	–	–
№ 3	24	57	14	5	–
№ 4	23	53	15	9	–
№ 5	24	57	14	–	5
№ 6	23	53	15	–	9

Методом лазерной дифракции с помощью анализатора ANALISETTE 22 NANOTEC PLUS были исследованы порошки различных составов.

Поскольку на эффективность прохождения окислительно-восстановительных реакций при разложении загрязняющих веществ среди прочих (удельная поверхность, морфология) влияет размерный фактор частиц фотокатализатора, то была исследована дисперсность получаемых порошков диоксида титана (рисунок 1).

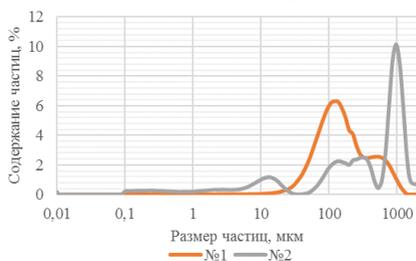


Рис. 1 Распределение частиц диоксида титана по размерам

Гранулометрический анализ показывает, что материал № 2 (большим количеством воды) характеризуется более дисперсным распределением частиц в диапазоне от 5,71 до 24,7 мкм с агрегатами частиц 960 мкм, материал № 1 имеет широкий диапазон от 40,24 до 283,7 мкм. Исследование распределений синтезированных частиц диоксида титана (№ 1 и № 2) по размерам коррелирует с результатами морфоструктурного анализа, полученными ранее [8]. Поскольку более дисперсные частицы образуются при золь-гель синтезе с увеличенным количеством воды, целесообразно использовать как основной при получении композиционных материалов.

Методом золь-гель осаждения диоксида титана на карбонатном носителе (извести) были получены композиционные материалы № 3 и

№ 4. Гранулометрический анализ синтезированных порошков показал, что введение большого количества носителя отражает более дисперсный характер распределения с диапазоном частиц от 5,71 мкм до 65,58 мкм (рисунок 2, а).

Аналогичные исследования были проведены относительно синтезированных композиционных материалов № 5 и № 6, где в качестве носителя применен известняк (рисунок 2, б).

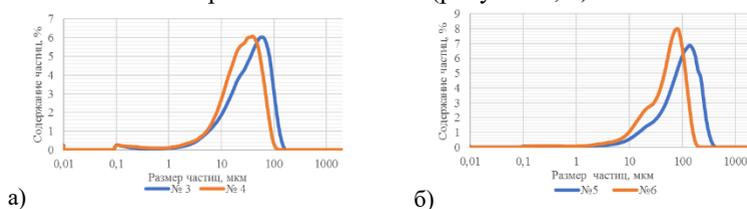


Рис. 2 Распределение частиц композиционных материалов по размерам

Результаты показали, что образец № 6 характеризуется более дисперсным составом с диапазоном от 24,7 мкм до 174,1 мкм в отличие от образца № 5 с диапазоном частиц от 40,24 мкм до 283,7 мкм.

Более дисперсное распределение показывают образцы с большим содержанием носителя (9 %), что может быть связано с закреплением частиц диоксида титана на поверхности носителя, а не с образованием побочных агрегатов диоксида титана, как в случае с 5 % носителя в составе композиционного материала.

Согласно литературным данным, фотокаталитическая активность способна увеличиваться за счет дисперсности материала. Чем выше степень дисперсности, тем лучше протекают фотокаталитические процессы в материале, что будет рассмотрено в дальнейшей работе по этому направлению.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 22-19-20115) с использованием оборудования Центра высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова*

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Хела Р., Боднарова Л. Исследование возможности тестирования эффективности фотокатализа –  $\text{TiO}_2$  в бетоне // Строительные материалы. 2015. № 2. С. 77–81.

2. 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.
3. Губарева Е.Н., Строкова В.В., Баскаков П.С. Фотокаталитический композиционный материал на основе кремнеземного сырья: монография. Белгород: Изд-во БГТУ, 2021. 115 с.
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. 160 с.
5. Хохлов П.Е., Сеницкий А. С., Третьяков Ю. Д. Кинетика дегидратации оксида титана, синтезированного золь-гель методом // *Альтернативная энергетика и экология*. 2007. № 1. С. 48–50.
6. М.А. Karimi, М. Ranjbar, Hydrothermal synthesis and characterization of hydrothermal synthesis characterization of  $CaCO_3$  nanostructure, *Synth. React. Inorganic Met. Nano-Metal Chem.* 46 (2016) 635–637.
7. Губарева Е.Н., Огурцова Ю.Н., Строкова В.В., Лабузова М.В. Сравнительная оценка активности кремнеземного сырья и фотокаталитического композиционного материала на его основе // *Обогащение руд*. 2019. № 6. С. 25–30.
8. Себелева Н.Ю., Губарева Е.Н. Морфоструктурные особенности фотокаталитического композиционного материала на карбонатном носителе // «Наука и инновации в строительстве», сб. докладов VI международной научно-практической конференции. Белгород, 2022. С. 142–146.

**УДК 691.32+691.615+691.714**

***Сироткина Е.А.***

***Научный руководитель: Чеснокова О.Г., доц.***

*Институт архитектуры и строительства Волгоградского государственного технического университета, г. Волгоград, Россия*

## **ПРОБЛЕМЫ СТРОИТЕЛЬНОГО МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ. НАНОМАТЕРИАЛЫ И НАНОТЕХНОЛОГИИ**

В статье анализируются проблемы строительного материаловедения, в чем они выражаются. Так же рассматриваются нанотехнологии как понятие, какие преимущества дают нам созданные таким способом наноматериалы. Применение наноматериалов.

Развитию строительных материалов способствуют определенные условия - целесообразность, экологичность, безопасность, функциональность, экономичность. При разработке проекта выбираются строительные материалы, которые потом используются для возведения объекта. При этом если взять к примеру ограждающие конструкции и внутренние несущие стены, материалы для них могут быть выбраны разные. В наших реалиях нелогично заикливаться на одном материале. В Советском Союзе при строительстве отдавалось предпочтение сборному железобетону. Сейчас примерно в той же популярности монолитное строительство. Вот только не для всех регионов России подходит данный материал. В нашей стране очень разнообразный климат и один материал не может отвечать всем климатическим требованиям различных регионов.

Также проблемой является некоторые устаревшие нормативные базы. Нормативная база должна позволять выпускать только высококачественные материалы. Кроме того, эта база должна быть единственной. Примером того, как быть не должно служит наличие нескольких документов по строительной теплотехнике.

Нельзя при этом отбрасывать человеческий фактор и консерватизм авторитетных ученых.

Нормативная база должна поставить законодательный заслон для устаревших материалов, бракоделов, людей, относящихся безответственно к соблюдению технологий. [1]

Несмотря на все имеющиеся проблемы строительное материаловедение не стоит на месте. Ведь меняется окружение, климат, потребности, и строительные материалы должны отвечать на эти запросы.

Есть два определения нанотехнологии, которые основываются на разных особенностях данной технологии: на масштабном факторе и на достижении наилучшей эффективности. Для строительной области, учитывая все современные потребности, я считаю главным является достижение выдающегося результата. Создание материала, который будет превосходить уже существующие, удовлетворяющий требования безопасности, экологичности, экономичности. [2]

Разговор о наноматериалах логично будет начать с бетона, он присутствует во многих конструкциях. Так же данный материал подвергается воздействиям агрессивного характера, а именно: постоянно увеличивающиеся на него нагрузки с широкой динамикой таких нагрузок; необходимость использовать бетон в различных экстремальных климатических условиях, также различные воздействия химическими составами и физическое воздействие на бетон.

Наномодифицированный бетон представляет собой высокотехнологичную смесь с добавками, с помощью которых получает и не утрачивает необходимые свойства при затвердевании и эксплуатации в любых рабочих условиях. При добавлении в бетон нанодисперстного кремнезёма значительно увеличивается его прочность. При этом такие свойства, как усадка и истираемость, уменьшаются. Также значительно увеличивается водонепроницаемость и сопротивление бетона промерзанию. Все эти свойства позволяют использовать полученный материал во многих строительных отраслях, включая и строительство дорог [3]. Также по утверждению ученых, полученный в исследованиях нанобетон имеет срок службы до 500 лет. [4] Такой срок позволит увеличить рабочую способность дорожных покрытий и дает возможность редкого ремонта участков дорог.

Антибактериальное стекло. Такое стекло не позволяет существование на нем микроорганизмов. Если внедрить в поверхностные слои стекла ионы серебра, то они, контактируя с загрязняющими субстанциями, насыщенными микробами, замедляют или вовсе останавливают их развитие, что приводит к их гибели в конечном итоге. Таким образом практически полностью можно уничтожить попадающие на стекло микробы, даже те, которые устойчивы к современным антибиотикам. Кроме того, с течением времени, серебро также работает, как антисептик, не теряя своих свойств. Широкие перспективы и возможности дает использование такого стекла в здравоохранении. Помещения и здания медицинских учреждений, лабораторий и других зданий, нуждающихся в дополнительном обеспечении стерильности, могут быть построены с применением подобных технологий.

Данная технология предоставляет возможность для еще одного применения наностекла.

В производстве стекла существует флоат-метод. При производстве стекла по этому методу, оно выливается на расплавленное олово, что создает эффект термополировки после остывания стекла. При этом значительно (до 80%) снижается теплопередача стекла, что в 2,5 раза уменьшает теплопроводность стеклопакета, созданного с использованием термополированного стекла. Общее сопротивление теплопередачи оболочки здания значительно увеличивается.

В случае нанесения на поверхность термополированного стекла дополнительно диоксида титана, получится покрытие устойчивое к загрязнениям и коррозии, также продлевается срок службы. Стекло, изготовленное таким способом, можно использовать для остекления большепролетных многоэтажных зданий, чтобы сэкономить на очистке

и уходом за остеклением. Такие стекла в большом количестве производятся в западных странах, но их стоимость на рынке довольно высока [4].

Наносталь. Наносталь максимально отвечает техническим и эксплуатационным потребностям дорожных, строительных, гидротехнических и других сооружений. Различные нано добавки увеличивают прочность стали, ее вязкость. Внешние покрытия стальных конструкций полимерами и композитами также улучшают физико-химические свойства, увеличивают сроки эксплуатации, замедляя коррозию и давая возможность использовать эти конструкции в тяжелых эксплуатационных условиях [4].

В статье мы рассмотрели только 3 примера наноматериалов, но это не все научные достижения в данной области. Нанотехнологии применены также в производстве углепластика, теплоизоляционных материалов. Разработки по усовершенствованию строительных материалов продолжаются и сейчас, но пока что их доля в сравнении с общей массой материалов строительного сегмента мала. Исследования в данном направлении финансируются разными областями, но их цель всегда одна - дать возможность для создания безопасных, экологичных пространств для пребывания людей.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Д.В. Орешкин Проблемы строительного материаловедения и производства строительных материалов/Д.В. Орешкин. - Текст: непосредственный//Строительные материалы. - 2010. - ноябрь - С. 6.

2. Е.В. Королев Нанотехнология в строительном материаловедении/Е.В. Королев. - Текст: непосредственный//Вестник МГСУ - 2017 - июнь - С. 712.

3. Бобылев В.В., Дрожко Т.О. Использование нанотехнологий в строительстве/В.В. Бобылев, Т.О. Дрожко. - Текст: непосредственный//Строительство. Экономика и управление - 2018 - №4 - С. 39.

4. Хрусталеv Б.М., Яглов В.Н., Ковалев Я.Н., Романюк В.Н., Бурак Г.А., Меженцев А.А., Гуриненко Н.С. Наномодифицированный бетон/Б.М Хрусталеv, В.Н. Яглов, Я.Н. Ковалев, В.Н. Романюк, Г.А. Бурак, А.А. Меженцев, Н.С Гуриненко. - Текст: непосредственный//Наука и техника - 2015 - №6 - С. 3с. С. 7.

5. Гененко В.Г. Наноматериалы и нанотехнологии используемые в современном строительстве/В.Г. Гененко. - Текст -

непосредственный//Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ Им. В.Г. Шухова - 2017 - 01-20 мая - С. 2-3.

**УДК 691.5**

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

## **ШЛАКОЩЕЛОЧНЫЕ ВЯЖУЩИЕ С ДОБАВКАМИ МОЛОТОГО БОЯ КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА**

В последнее десятилетие мировое сообщество пересмотрело стратегию того, как будет развиваться земная цивилизация в будущем, выдвинув вместо доминирующего направления неограниченного «научно-технического прогресса» стратегию «устойчивого развития», основные критерии, которые являются ограничение потребления природных ресурсов, энергосбережение, охрана окружающей среды. Эти же критерии являются базовыми и в стратегии развития строительного комплекса [1-3]. Эти условия в наше время создают необходимость разработки вяжущих, производство которых, по сравнению с производством портландцемента, имеет меньший расход как энергии, так и природного сырья, а также объем вредных выбросов в атмосферу.

Можно с уверенностью сказать, что дальнейшее развитие науки и практики щелочношлаковых вяжущих также будет идти в направлении разработки композиционных щелочношлаковых вяжущих. Научные исследования показали, что в ШЦВ около 50% шлака можно заменить такими материалами, как природного, так и техногенного происхождения. Одной из существующих разновидностей крупнотоннажного строительного мусора является именно лом керамического кирпича, который образуется при производстве кирпича на заводе-изготовителе, либо при разрушении здания при его сносе.

В настоящее время особое внимание уделяется требованиям, направленным на добычу ресурсов и энергосбережение, охрану окружающей среды в строительной отрасли, в том числе при производстве вяжущих и бетонов, что делает актуальным увеличение исследований, направленных на разработку шлаковых вяжущих и бетонов. и процесс их производства.

В 2000-х годах стало развиваться производство композиционных минеральных вяжущих, таких как цемент, гипс, известь и магнезия.

В то же время дальнейшее рациональное использование борьба с кирпичом является одной из основных проблем дальнейшей утилизации отходов в строительной отрасли.

В начале исследований был детально изучен эффект способа введения добавки, состоящей из дробленого керамического кирпича - при совместном или раздельном измельчении со шлаком. Впоследствии было выяснено, что применяемое совместное шлифование является наиболее эффективным и производительным. Также при использовании большего помола связующего 300 м<sup>2</sup>/кг в пересчете на прочность камня на сжатие были получены связующие на основе шлака ОНМК, если брать в сравнении с аналогичными без использования добавок, оказалось, что количество измельченного содержания БПК составляет 30% - это выше, чем 20% от 108 для безаддитивного до 135 МПа, 60 % - на уровне безаддитивного, 80% - равно 70 МПа. Указаны уже известные и новые обозначения разработанного Ц: известное - ШШВ0 - вяжущее без добавок, ШШВ2 - вяжущее с добавлением молотого портландцементного клинкера; новые - ШШВ030, ШШВ060, ШШВ080 - композитные вяжущие без клинкерных добавок с добавлением измельченного БПК соответственно 30, 60 и 80%, ШШВ4Д30 - композитное вяжущее с содержанием измельченной минеральной добавки 30% и клинкера 4%. Чтобы установить лучшее соотношение между количеством измельченной добавки БПК в КШШВ и ее удельной поверхностью связующего, что, в свою очередь, обеспечивает наибольшую максимальную прочность, был проведен эксперимент с использованием метода ротационного центрального композитного планирования с двумя факторами - где количество измельченного керамического кирпича и удельная поверхность из связующего. По результатам, полученным в ходе эксперимента, было установлено, что более высокая прочность по показателям достигается добавлением молотого керамического кирпича в процентном соотношении 20-40% при периодичности помола, вяжущего 300-900 м<sup>2</sup>/кг. На основании полученных результатов культивирования были проведены основные свойства КШШВ с содержанием добавки для борьбы с керамическим кирпичом - 30%. Изучая влияние добавок в состав измельченного битых кирпичей, взятых при изучении свойств КШШВ, было обнаружено, что существуют определенные различия, в частности, в химическом, а также минеральном составе и незначительное влияние на изменение свойств КШШВ от содержания измельченной керамики кирпич, независимо от типа щелочной затворной добавки. В исследованиях использовалась тонкость помола SCHV от 350 до 600 м<sup>2</sup>/кг. Также была проведена работа, направленная на влияние на свойства КШШВ и их

тонкость помола от 300 до 900 м<sup>2</sup>/кг. Несмотря на то, что норма плотности SHSHV0D0 уже определена с изменением тонкости помола от 300 до 900 м<sup>2</sup>/кг, которая изменялась прямо пропорционально в диапазоне от 26 до 33 и 34,4% при смешивании, соответственно, с растворами жидкого стекла плотностью 1,3 г/см<sup>3</sup> и соды плотностью 1,15 г/см<sup>3</sup>. Установлено, что время схватывания теста ШШШВ0 и ШШШВ0Д30 обладает свойствами уменьшаться прямо пропорционально тонкости помола связующего. В то же время, если время схватывания вяжущих, смешанных с растворами соды, показывает возможность использования отдельных рецептур без применения замедлителя, то для использования вяжущих, смешанных с растворами жидкого стекла, необходимо вводить замедлители времени схватывания. Тетраборат натрия является наиболее эффективным замедлителем времени схватывания SSW [5]. Изменение времени схватывания ШШВ0 на основе шлака ОММК зависит от содержания этого замедлителя, что показывает возможность изменения времени схватывания этих связующих в широком диапазоне. Приведена определенная взаимозависимость изменений, направленных на прочность на сжатие шлако-щелочного камня (ШШКК) связующих ШШВ0 и ШШВ0Д30, в зависимости от тонкости помола. В зависимости от изменения времени схватывания SHSHV0D30 на основе кислого шлака от тонкости используемого помола, которые аналогичны для связующего на основе нейтрального шлака ОНМС. Добавки, используемые в вышеупомянутом замедлителе твердения, не оказывают заметного влияния на их прочностные свойства. Показана зависимость набора прочности при сжатии связующего ШШК ШШВ0Д30 на основе шлака ОМК и жидкого стекла от тонкости используемого помола и продолжительности времени отверждения. Полученные результаты исследований закономерностей набора прочности HD0 и HD0D30 на основе нейтральных и кислых шлаков и различных уплотнителей показали результат, который можно получить в зависимости от тонкости используемого помола и количества содержания молотого боевого керамического кирпича, обычные, быстротвердеющие и особенно быстротвердеющие, обычные и высокопрочные.

В ходе проведенных исследований получены в результате разработанные, как без применения добавок, так и с применением добавки, состоящей из молотого кирпича, быстротвердеющие и особенно быстротвердеющие обычные и высокопрочные бетоны классов прочности до В80, марок морозостойкости до F800 и была получена водонепроницаемость до W25.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Анализ и перспектива развития нормативно-технического обеспечения в области энергетической эффективности / Т. В. Иванов, Ю. А. Табунщиков, А. Л. Наумов, А. К. Джанчарадзе. СПб.: Питер, 2013. 176 С.
2. ГОСТ 530-80 Кирпич и камни керамические. Технические условия. - М. : изд. Стандартов, 1980.
3. Стратегия развития строительного комплекса Российской Федерации до 2010 года.– М.: Гос. строй РФ, 2004.
4. Рахимов Р. З. Достижения, проблемы и перспективные направления развития исследований и производства шлакощелочных вяжущих и бетонов. // Материалы десятых академических чтений РААСН «Достижения, проблемы и направления развития теории и практики строительного материаловедения».– Пенза–Казань, 2006.– С. 57.
5. Хабибуллина Н. Р., Рахимов Р. З. // Бетон и железобетон. – 2006.– № 5.– С. 15.
6. Рунова Р. Ф., Максунов С. Е. // Цемент. – 1990.– № 6.– С. 8.
7. Фоменко А.И., Грызлов В.С., Каптюшина А.Г. отходы керамического кирпича как эффективный компонент строительных композитов // Современные наукоемкие технологии. – 2016. – № 2-2. – С. 260-264;
8. Загороднюк Л.Х. Композиционные вяжущие на основе органоминерального модификатора для сухих ремонтных смесей/Л.Х. Загороднюк, В.С. Лесовик, А.В. Шамшууров, Д.А. Беликов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. - 2014. - № 5.- С.25-31.
9. Лесовик, В.С. К проблеме повышения эффективности композиционных вяжущих / В.С. Лесовик, Н.И. Алфимова, Е.А. Яковлев, М.С. Шейченко // Вестник БГТУ им. Шухова. – 2009. №1. С.30 – 33.
10. Загороднюк Л.Х. Композиционные вяжущие на основе органоминерального модификатора для сухих ремонтных смесей/Л.Х. Загороднюк, В.С. Лесовик, А.В. Шамшууров, Д.А. Беликов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова.- 2014.- № 5.- С.25-31.
11. Загороднюк Л.Х. К проблеме проектирования сухих ремонтных смесей с учетом сродства структур / Л.Х. Загороднюк, В.С. Лесовик, Д.А. Беликов // Вестник Центрального регионального отделения РААСН, Выпуск 18. Москва.- 2014.–С. 112-119.

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

## **ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ВИДА ФОРМ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГЕОПОЛИМЕРНОГО ВЯЖУЩЕГО**

В связи с непрерывно увеличивающимися темпами загрязнения планеты в результате активной человеческой деятельности, в большей степени, в сфере развития промышленной инфраструктуры, все более остро встает необходимость поиска новых альтернативных видов сырья, производственных механизмов и технологий, которые позволят в значительной степени снизить нагрузку на окружающую среду. В связи с этой проблемой ученые-материаловеды по всему миру проявляют активный интерес к таким актуальным направлениям как: полезная утилизация крупнотоннажных и мало востребованных промышленных отходов, и побочных продуктов (by-products) [1–4]; разработка «зеленых» технологий для получения материалов и изделий [5–7]; создание альтернативных видов вяжущих и материалов, которые являются эффективными аналогами существующим представителям [8].

К перспективным видам материалов, которые охватывают все три вышеперечисленные направления можно отнести щелочеактивированные материалы. Кроме использования широкого спектра промышленных отходов в качестве основного сырья, таких как доменные гранулированные шлаки [9], золы-уноса ТЭС [10], хвосты обогащения и т.д., технологию их производства в полной мере можно считать «зеленой» из-за отсутствия высокотемпературных стадий синтеза, а также из-за минимальных вредных побочных выбросов при производственном процессе. Кроме того, на основе щелочеактивированных систем можно получать материалы и изделия, которые не только могут конкурировать с традиционными аналогами, например, на основе портландцемента. По некоторым характеристикам они даже превосходят традиционные материалы.

Однако, щелочеактивированные материалы также могут быть синтезированы на основе природного сырья с частичной заменой на функциональные модифицирующие добавки различного назначения.

Наличие опыта исследований в этом направлении может быть отмечено на примере геополимеров, как группы щелочеактивированных материалов, синтезируемых на низкокальциевом алюмосиликатном сырье.

Одним из вариантов сырья для синтеза геополимеров является природные низкокальциевые алюмосиликаты – перлит.

В рамках этого исследования было изучено влияние следующих минеральных модифицирующих компонентов: портландцемент, каолин, метакаолин, цитрогипс на свойства геополимера. Изучено влияние вида формы на структурообразование геополимеров.

Для получения необходимых данных было заформовано 5 различных составов (таблица 1) по два кубика в два вида форм: металлические и силиконовые. Щелочной активатор не подвергался предварительной выдержке 24 часа.

Таблица 1 – Расшифровка составов

№	Перлит	NaOH	H <sub>2</sub> O	ПЦ	Каолин	Метакаолин	Цитрогипс
1.	100	10	45	–	–	–	–
2.	60	10	45	40	–	–	–
3.	60	10	45	–	40	–	–
4.	60	10	45	–	–	40	–
5.	60	10	45	–	–	–	40

Количественное соотношение сырьевых компонентов рассчитано с помощью математического планирования эксперимента.

Для изучения физико-механических характеристик геополимерного вяжущего эксперимент разделили на две части.

*Первая серия* образцов в исследуемых видах форм высушивалась при 70 °С в сушильном шкафу 24 часа. Результаты эксперимента представлены в (таблице 2).



Рис. 1 Геополимеры, высушенные в сушильном шкафу

На (рисунке 1) представлена фотография образцов геополимерного вяжущего после сушки в сушильном шкафу. Верхний ряд образцы из металлической формы, нижний ряд – силиконовая форма.

В целом образцы после сушки в обоих формах выглядят одинаково, особых разрушений и усадок не наблюдается.

Таблица 2 – Результаты эксперимента на 9 сутки (сушка в сушильном шкафу)

Вид формы*	m, г	V, см <sup>3</sup>	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	R, МПа
1 состав (перлит + NaOH + H <sub>2</sub> O)				
с	11,39	5,83	1,95	25,81
м	11,36	6,16	1,84	21,26
2 состав (перлит + ПЦ + NaOH + H <sub>2</sub> O)				
с	13,71	8	1,71	8,922
м	12,84	8	1,61	6,312
3 состав (перлит + каолин + NaOH + H <sub>2</sub> O)				
с	10,58	6,16	1,72	16,56
м	10,55	5,51	1,91	12,13
4 состав (перлит + метакаолин + NaOH + H <sub>2</sub> O)				
с	8,55	7,22	1,18	3,295
м	9	6,5	1,38	2,955
5 состав (перлит + цитрогипс + NaOH + H <sub>2</sub> O)				
с	9,3	7,22	1,29	3,007
м	10,76	8	1,34	3,367
* с – силиконовая форма; м – металлическая форма.				

Вторая серия образцов высыхала в естественных условиях. Результаты проведенного эксперимента представлены в (таблице 3).

Таблица 3 – Результаты эксперимента на 9 сутки (сушка в естественных условиях)

Вид формы*	m, г	V, см <sup>3</sup>	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	R, МПа
1 состав (перлит + NaOH + H <sub>2</sub> O)				
с	12,41	5,83	2,13	0,357
м	10,22	5,18	1,97	2,415
2 состав (перлит + ПЦ + NaOH + H <sub>2</sub> O)				
с	13,41	8	1,68	2,385
м	14,15	8	1,77	2,192
3 состав (перлит + каолин + NaOH + H <sub>2</sub> O)				
с	10,88	5,83	1,87	0,630
м	9,52	5,17	1,84	0,762
4 состав (перлит + метакаолин + NaOH + H <sub>2</sub> O)				
с	9,37	6,16	1,52	2,752
м	9,19	6,46	1,42	1,837
5 состав (перлит + цитрогипс + NaOH + H <sub>2</sub> O)				
с	8,64	6,14	1,41	1,480
м	10,71	8	1,34	1,995
* с – силиконовая форма; м – металлическая форма.				



Рис. 2 Геополимеры из металлической формы, высушенные при естественных условиях



Рис. 3 Геополимеры из силиконовой формы, высушенные при естественных условиях

На (рисунках 2–3) представлены образцы, высушенные при естественных условиях из металлических и силиконовых форм. В образцах из металлической формы у составов на основе каолина и метакаолина наблюдается усадка и видно разрушения, что говорит о том, что сушка при естественных условиях хуже сказывается на образцах, чем при высушивании при температуре.

Проанализировав прочностные показатели при различных способах сушки, можем с уверенностью сказать, что образцы, высушенные в сушильном шкафу, имеют более высокие показатели, нежели образцы, высушенные в естественных условиях. Если сравнивать между собой показатели полученные в разных видах форм, то значения, полученные в силиконовых формах выше, чем в металлических.

С помощью эксперимента мы получили значения, которые помогли выяснить какой вид форм показывает наиболее приемлемые физико-механические свойства для нашего геополимерного вяжущего. В нашем случае силиконовые формы показали более высокие прочностные значения.

Работа выполнена в рамках Программы «Приоритет 2030» на базе БГТУ им. В.Г. Шухова. Работа выполнена с использованием оборудования ЦВТ на базе БГТУ им. В.Г. Шухова.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Свергузова С.В., Старостина И.В., Фомина Е.В., Порожнюк Л.А., Денисова Л.В., Шайхиев И.Г. Получение декоративных

штукатурных смесей на основе хвостов обогащения железистых кварцитов // Вестник Технологического университета. 2016. Т. 19. № 23. С. 144-148.

2. Alfimova N.I., Shurakov I.M., Ageeva M.S., Kozhukhova N.I. Research on the possibility of using volcanic sand of Kamchatka as a component of a composite binder // Lecture Notes in Civil Engineering. 2021. Т. 95. С. 113-117.

3. 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 Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2020. № 11. С. 8-23.

4. 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.

5. Хаметов Т.И., Ишамятова И.Х. Особенности внедрения технологий «зеленого строительства» в г. Пенза // Сборник конференции «Конкурентоспособность в глобальном мире: экономика, наука, технологии». 2017. № 5-2 (44). С. 155-157.

6. Сухорукова С.М., Погорелый А.М. «Зеленая» экономика требует экологизации промышленных технологий // Экономика, социология и право. 2017. № 11. С. 20-23.

7. Kozhuhova N.I., Zhernovskiy I.V., Osadchaya M.S., Strokovva V.V., Tchizhov R.V. Revisiting a selection of natural and technogenic raw materials for geopolymer binders // International Journal of Applied Engineering Research. 2014. Т. 9. № 22. С. 16945-16955.

8. Кожухова Н.И., Войтович Е.В., Череватова А.В., Жерновский И.В., Алехин Д.А. Термостойкие ячеистые материалы на основе композиционных гипсокремнеземных вяжущих // Строительные материалы. 2015. № 6. С. 65-69.

9. Шахтаров А.А. Получение бесцементного вяжущего на основе молотого шлака для легкого бетона // СЕВЕРГЕОЭКОТЕХ-2014. Материалы XV международной молодежной научной конференции. Ухтинский государственный технический университет. 2014. С. 166-169.

10. Ерошкина Н.А., Коровкин М.О., Чамурлиев М.Ю. Принципы выбора сырьевых компонентов в технологии получения геополимеров на основе золы-уноса // Теория. Практика. Инновации. 2017. № 5 (17). С. 153-161.

*Фаустова С.А.*

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

## **ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ И СРАВНЕНИЕ ОПЫТА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НАНОМАТЕРИАЛОВ В РФ И ЗАРУБЕЖОМ**

В настоящее время использование нанотехнологий – это актуальное и перспективное направление в науке, знакомство с которым началось еще в 1974 году. Тогда профессор Токийского научного университета Норио Танигучи придумал термин «Нанотехнология». Однако только в 1980 году появилась аппаратура, которая позволяла работать с наночастицами. Исследования в этой науке продолжаются до сегодняшнего дня, но сейчас они находятся на начальной стадии развития, поскольку основные открытия еще не были сделаны.

Материалы и частицы с ультрамалыми размерами природного и антропогенного происхождения были известны давно, однако нанотехнологии как самостоятельная область фундаментальных и прикладных исследований возникли только к концу 20-го века.

Особенной чертой нанотехнологий является их использование во многих областях науки: медицине, биологии, химии, экологии, физике и т.п. Одним из самых перспективных направлений являются исследования в области биотехнологий. Это объединение подходов биоорганической, молекулярно-биологической наук и физико-химических технологий. Среди направлений работы в областях нанотехнологии имели отношение к исследованиям по биомедицине, такие как:

- синтез и использование наноструктур в терапии;
- биологические наноструктуры;
- электронно-биологические межфазные поверхности;
- оборудование для ранней диагностики заболеваний;
- оборудование для изучения отдельных молекул;
- нанотехнология и инженерия тканей.

Одной из значащих направлений биотехнологии, является нанобиоинженерия, которая специализируется на использовании репарации органов и тканей при помощи наноматериалов. Инженерия тканей основывается на создании новых тканей с последующим

хирургическим размещением в теле человека или стимуляции восстановления тканей с использованием искусственных биоконструкций или имплантатов живых клеток, внедренных в или около поврежденного участка. Данная технология использует материал как самого пациента или донора, так и материал животных. Возможности использования наноматериалов находят отражение как в России, так и за рубежом.

Например, за рубежом существует методика восстановления хрящевой ткани, которая по механическим и биохимическим свойствам оказывается близка к естественному хрящу. В России осуществляется использование биосовместимых наноматериалов для восстановления механических свойств зубной эмали. Но что же мешает данной науке развиваться в России полноценно?

Самый ранний прогресс в исследованиях тканевой инженерии был достигнут в США. Это связано с менее строгими правилами в отношении исследований стволовых клеток и более доступным финансированием, чем в других странах. В Великобритании рынок начал развиваться медленнее, хотя правила исследования стволовых клеток также не были строгими. Это в основном связано с тем, что большее количество инвесторов менее охотно вкладывают средства в эти новые технологии, которые считались инвестициями с высоким риском. В Японии ситуация с регулированием была совершенно иной. Первое культивирование клеток было разрешено только в условиях больницы. Ученым, работающим в государственных университетах, не разрешалось работать по совместительству до 1998 года. Более того, японским властям потребовалось больше времени для утверждения новых лекарств и методов лечения, чем у американских и европейских коллег. По этим причинам в первые дни японского рынка основное внимание уделялось приобретению продуктов, которые уже были одобрены в других местах Японии, и их продаже.

В России данное направление развито немного слабее. Во-первых, отсутствуют законченная нормативно-правовая база и специальный орган, которые регулировали бы исследования и разработки в данной сфере, а также поставки из-за границы уже выращенных тканей. Во-вторых, в России наблюдается нехватка кадров, специалистов и ученых в данной сфере. В-третьих, наблюдается острая проблема отсутствия отечественного оборудования для воспроизводства необходимых тканей. Развитие отечественного оборудования необходимо для того, чтобы полностью заместить импорт уже имеющегося оборудования, а также выполнять экспорт и продвижение своих научных технологий в данной сфере.

Многие страны мира не скупятся на развитие нанотехнологий, признавая за ними будущее. На данный момент в институтах России появляется все больше специальностей связанных с нанотехнологиями и нанобиоинженерией для подготовки будущих специалистов к работе в данной сфере. Выделяются государственные гранты для ученых, делающих открытие в данной области. Правительство РФ всячески проявляет поддержку научных открытий, сделанных молодыми российскими учеными. Помимо всего прочего, использование нанотехнологий формально позволяет стереть непреодолимую грань между живым и неживым веществом, живой и неживой природой. Нанотехнологии являются реальностью сегодняшнего дня, и их развитие – одно из ключевых направлений совершенствования всей современной науки.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тканевая инженерия - Tissue engineering [Электронный ресурс]: [https://dev.abcdef.wiki/wiki/Tissue\\_engineering](https://dev.abcdef.wiki/wiki/Tissue_engineering)

2. Сыч В.Ф., Дрождина Е.П., Санжапова А.Ф. Введение в нанобиологию и нанобиотехнологии. Учебное пособие для учащихся 10-11 классов средних общеобразовательных учреждений. – СПб: Общеобразовательный центр «Участие», Образовательные проекты, 2012 – 256 с. (Серия «Наношкола»)

3. Газит Эхуд Г12 Нанобиотехнология: необъятные перспективы развития / Пер. с англ. А.Е.Соловченко, науч. ред. Н.Л.Клячко. – М.: Научный мир, 2011. – 152с.: ил. – (Фундаментальные основы нанотехнологий: лучшие зарубежные учебники).

4. Лысцов В.Н., Мурзин Н.В. Проблемы безопасности нанотехнологий. М., МИФИ, 2007г., 70 с., 22 рис., 9 таб.

5. Ковалева Н.Ю., Раевская Е. Г., Рощин А. В. Проблемы безопасности наноматериалов: нанобезопасность, нанотоксикология, наноинформатика <http://old.chemsafety.ru/wpcontent/uploads/2018/06/44-87.pdf>

6. Лопанов А.Н., Климова Е.В. Мониторинг и экспертиза безопасности жизнедеятельности. Белгород: Изд-во БГТУ, 2009. 182 с.

*Фаустова С.А.*

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

## **СОВРЕМЕННЫЕ ВОПРОСЫ ОЦЕНКИ НЕГАТИВНОГО ВЛИЯНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НАНОТЕХНОЛОГИЙ В ПЕРСПЕКТИВНЫХ ОБЛАСТЯХ ИССЛЕДОВАНИИ**

В настоящее время оказывается актуальным и перспективным использование в науке нанотехнологий. Ученые разных сфер (медицины, биологии, химии, экологии, физики и т.п.) стараются модернизировать привычные схемы производств посредством работ с наночастицами, но основные открытия в этой сфере еще не были сделаны.

Одним из самых перспективных направлений нанотехнологии 21 столетия являются исследования в следующих областях:

- возобновляемые источники энергии;
- нанотоксикология, контроль и защита окружающей среды;
- нанобиотехнология и биоматериалы;
- наномеханические системы;
- наноэлектроника, фотоника и архитектуроника.

Целью моего исследования было не только разобраться в характеристиках нанотехнологий и перспективах их использования, но и в возможном негативном влиянии такого использования на организм человека, так как все описанные перспективы могут остаться лишь миражами без действенного контроля за безопасностью использования НТ и применения НО. Были проанализированы отечественный и зарубежный опыт, международные стандарты, доклады и рекомендации, касающиеся оценки вреда здоровью, безопасности новых видов продукции нанометрового диапазона измерений для окружающей и производственной среды.

Пока еще нет четкой ясности в оценке риска воздействия НЧ и НМ на организм. Не установлены ПДК большинства НЧ, не принят единый согласованный критерий вредности НЧ и НМ, не разработаны портативные приборы, контролирующие все заявленные биологически значимые параметры наноаэрозоля, например удельную поверхность. Поэтому необходимо соблюдать максимальные меры защиты при

работе с НЧ и НМ, как с опасными химическими и биологическими веществами и совершенствовать меры безопасности.

Актуальными остаются дальнейшие исследования вредных эффектов действия на организм НЧ и НМ. Кроме этого, разработка и внедрение информативных и доступных приборов контроля НЧ и НМ, обоснование безопасных уровней НЧ и НМ в объектах ОС и производственной среды, согласование единых критериев вредности нанообъектов и методов их контроля оценки показателей здоровья и уровня риска его нарушений.

Если комплексно рассмотреть проблему безопасности использования НТ, то представляется вывод о том, что необходимо обеспечить оценку безопасности для полного цикла существования любой вводимой в действие нанотехнологии (рисунок 1.)

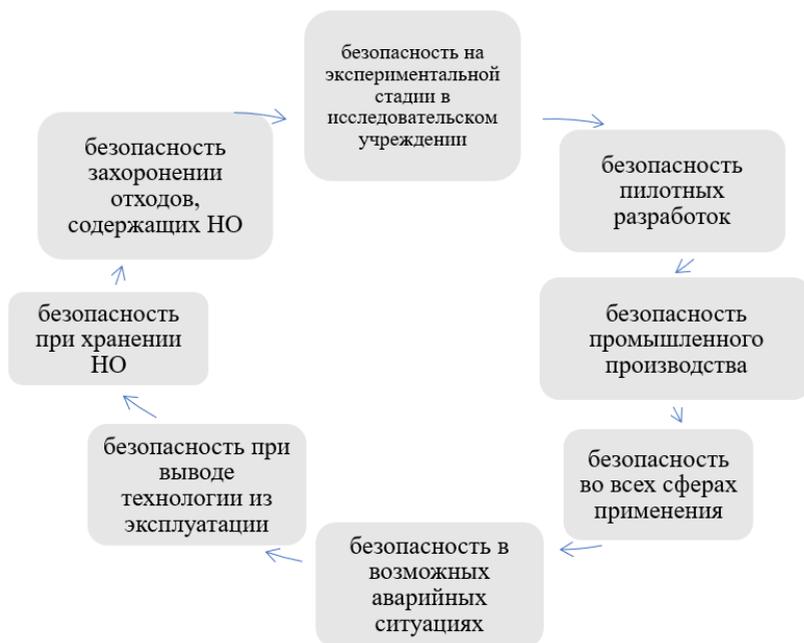


Рис.1 Предложенный цикл по оценке безопасности использования нанотехнологий

Оценка безопасности для НО должна включать описание биологических воздействий, их дозиметрические характеристики, связь этих характеристик с наблюдаемыми уровнями биологических

эффектов (кривые доза-эффект), количественное описание этих эффектов и управление этими эффектами путем применения процедур оптимизации и соблюдения пределов воздействий. При этом дозиметрия НО становится началом такой цепочки оценок. Обеспечение безопасности персонала при работе с НО требует разработки и применения такого рода дозиметрических методик.

Использование нанотехнологий — это весьма перспективное направление науки и техники, которое, несомненно, уже приносит и принесет в будущем много выгоды и пользы. Некоторые типы НМ в определенных дозах и условиях проявляют токсичность, как для природной среды, так и для живых организмов, в том числе для человека, но это можно и нужно контролировать. Для обеспечения безопасности и контроля необходимо разрабатывать меры по нанобезопасности, минимизировать риски, применять более безопасный дизайн НМ, накапливать и анализировать экспериментальные данные и другую информацию, изучать механизмы токсического воздействия НЧ, разрабатывать нормативы, методы и приборы определения токсичности, расширять и использовать для исследований НМ базы данных, онтологии, современные методы моделирования рисков и прогнозирования свойств НМ на основе соотношений структура-активность. Главное – применять в вопросах безопасности комплексный подход, определять приоритетные направления и задачи, своевременно реагировать на возникающие проблемы, и тогда все это будет способствовать поддержанию безопасной и экологически чистой среды и защите здоровья человека.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Сыч В.Ф., Дрождина Е.П., Санжапова А.Ф. Введение в нанобиологию и нанобиотехнологии. Учебное пособие для учащихся 10-11 классов средних общеобразовательных учреждений. – СПб: Общеобразовательный центр «Участие», Образовательные проекты, 2012 – 256 с. (Серия «Наношкола»)

2. Газит Эхуд Г12 Нанобиотехнология: необъятные перспективы развития / Пер. с англ. А.Е.Соловченко, науч. ред. Н.Л.Клячко. – М.: Научный мир, 2011. – 152с.: ил. – (Фундаментальные основы нанотехнологий: лучшие зарубежные учебники).

3. Единая компьютерная база данных по наноматериалам и нанотехнологиям, используемым в Российской Федерации (реестр). [http://web.ion.ru/GM\\_1/GM.aspx](http://web.ion.ru/GM_1/GM.aspx) (дата обращения 20.10.2017).

4. Нанотехнологии и здоровье населения: научные данные и управление рисками. Отчет о совещании экспертов ВОЗ 10-11 декабря 2012 г., Бонн, Германия. Проблемы безопасности наноматериалов 76 [http://www.euro.who.int/\\_data/assets/pdf\\_file/0004/242788/e96927r.pdf](http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0004/242788/e96927r.pdf) (дата обращения 20.10.2017).

5. Лопанов А.Н. Тихомирова К.В. Обеспечение безопасности в технологии электропроводящих композитов строительного назначения // Безопасность в строительстве: материалы III Международной научно-практической конференции; 23-24 ноября 2017 г. / под общ.ред. Е. И. Рыбнова; СПбГАСУ. – СПб., 2017. – 240 с.

6. Лопанов А.Н., Климова Е.В. Мониторинг и экспертиза безопасности жизнедеятельности. Белгород: Изд-во БГТУ, 2009. 182 с.

**УДК 691.168**

**Холопов В.С.**

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

## **ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ ОСТАТОЧНОЙ ПОРИСТОСТИ АСФАЛЬТОБЕТОНА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕМПЕРАТУРОПОНИЖАЮЩЕЙ ДОБАВКИ ДАД ТА**

Одной из проблем, возникающих в процессе укладки горячих асфальтобетонных смесей, является недоуплотнение их вследствие быстрого остывания. Это может происходить при задержке транспортных средств с асфальтобетонной смесью или из-за ухудшения погодных условий.

Одним из способов решения этой проблемы является применение теплых асфальтобетонных смесей, которые могут уплотняться при более низких температурах и по свойствам отвечают требованиям для горячих асфальтобетонных смесей. Их использование позволяет решать одновременно экологические задачи по уменьшению эмиссии углекислого газа в окружающую среду, а также экономить энергетические ресурсы. Указанный метод позволяет снизить степень старения материала, увеличить срок службы дорожной одежды в среднем на 2–3 года. Остывание теплой смеси происходит медленнее, что позволяет выйти за пределы обычного сезона и продолжать работы при температуре окружающего воздуха до  $-5^{\circ}\text{C}$  и ниже [1-4].

Предпосылки для разработки новых технологий теплового асфальтобетона появились в конце 1990-х годов [4]. За последние 25 лет в Европе, а затем в США был разработан ряд новых технологий, позволяющих понизить на 20—40 °С температуру перемешивания асфальтобетонной смеси, приготавливаемой на вязком битуме, без ухудшения прочностных характеристик покрытия по сравнению с традиционным горячим асфальтобетоном, полученным на тех же битумах. Это достигается за счет физико-химических эффектов, приводящих к снижению сопротивления смеси сдвигу во время ее приготовления и укатки. В настоящее время теплые асфальтобетонные смеси достаточно широко распространены во многих странах [4-6].

Для применения таких технологий используются специальные вещества, которые приводят к уменьшению вязкости битумных вяжущих при технологических температурах. Количество таких веществ непрерывно возрастает [7-10].

Теплый асфальтобетон с различными добавками, например, Evoterm, Rediset WMX, Sasobit, Honeywell Titan 7686, успешно применяется и в России с целью продления дорожно-строительного сезона. Также на рынке представлена добавка отечественного производства ДАД ТА, разработанная нами совместно с ООО «Селена» (г. Шебекино), положительно зарекомендовавшая себя в различных регионах России [8].

Одним из важнейших показателей работы температуропонижающей добавки является остаточная пористость асфальтобетона, т.к. при снижении температуры есть опасность недостаточного уплотнения асфальтобетонной смеси. Проверка эффективности добавки в этом направлении проводилась на плотном мелкозернистом асфальтобетоне типа Б. Асфальтобетонная смесь готовилась при температуре 150°С, затем охлаждалась и уплотнялась при 130, 120, 100 и 80°С.

На (рисунке 1) графически представлены результаты исследований влияния указанной добавки на остаточную пористость асфальтобетона, из которого видна значительная разница в пористости теплой смеси с добавкой и традиционной горячей асфальтобетонной смеси.

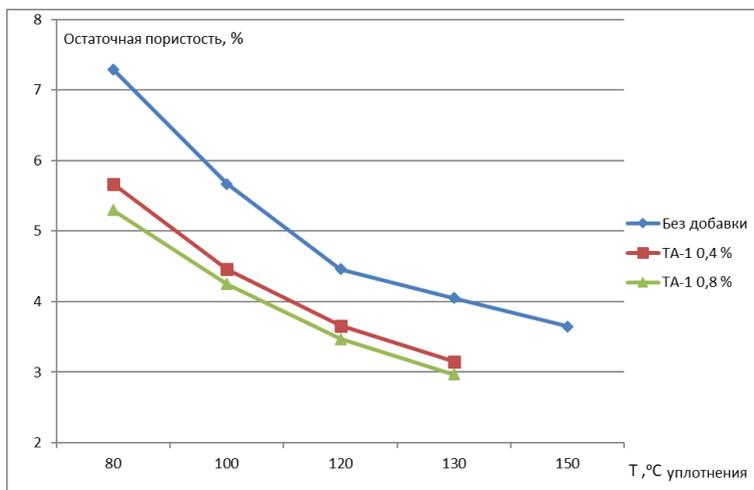


Рис. 1 Результаты исследований влияния добавки ДАД ТА на остаточную пористость асфальтобетона

Сравнение результатов свидетельствует о том, что при использовании температуропонижающей добавки значительно снижается остаточная пористость асфальтобетона. Следует отметить, что при снижении температуры уплотнения контрольной смеси ниже 130° не удастся получить показатель остаточной пористости, удовлетворяющий требованиям ГОСТ, в то время как использование исследуемой добавки обеспечивает такую же остаточную пористость, как и горячая смесь при температуре уплотнения на 25-30°С ниже.

Из рисунка также видно, что увеличение концентрации добавки с 0,4 до 0,8% незначительно влияет на исследуемый показатель, следовательно, достаточно использования ДАД ТА в составе асфальтобетонной смеси в количестве 0,4%.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о том, что добавка ДАД ТА положительно влияет на уплотняемость асфальтобетонной смеси, что обусловлено снижением вязкости битума. Это позитивно отразилось на показателе остаточной пористости асфальтобетона.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алшахван, А. Обзор технологий приготовления тёплых асфальтобетонных смесей / А. Алшахван, Ю. И. Калгин // Молодой ученый. – 2019. – № 32(270). – С. 102-107.

2. Хардукаш, А. Ю. Производство теплых асфальтобетонных смесей для расширения рабочего сезона в дорожном строительстве / А. Ю. Хардукаш // Научное творчество молодежи - лесному комплексу России: Материалы XVII Всероссийской (национальной) научно-технической конференции, Екатеринбург. – 2021. – С. 140-143.

3. Смирнов, Д. С. Анализ опыта применения теплых асфальтобетонных смесей / Д. С. Смирнов, В. Е. Броднева, А. С. Лобанова // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2019. – № 4(50). – С. 455-461.

4. Радовский, Б. С. Прогресс технологий производства теплого асфальтобетона в США // Автомобильные дороги. - 2011. - №8.

5. Игошкин, Д. Г. Применение теплых асфальтобетонных смесей / Д. Г. Игошкин // Мир дорог. - 2017. № 104. - С. 58-61.

6. Алшахван, А. Актуальность применения теплых асфальтобетонных смесей для дорожного строительства в условиях сирийской арабской республики / А. Алшахван, Ю. И. Калгин // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. – 2020. – № 2. – С. 26-33.

7. Колесник, Д. А. Выбор модификатора асфальтобетона для расширения строительного сезона / Д. А. Колесник // Мир дорог. – 2013. – № 71. – С 47-49.

8. Yadykina, V. V. Influence of DAD-TA temperature-reducing additive on physical and mechanical properties of bitumen and compaction of asphalt concrete / V. V. Yadykina, A. E. Akimov, A. I. Trautvain, V. S. Kholopov // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2018. – № 327. – С. 1-5.

9. Ядыкина, В. В. Влияние энергосберегающих добавок на свойства щебеночно-мастичного асфальтобетона на примере Evotherm, Азол 1007 и Адгезол 3-ТД / В. В. Ядыкина, А. М. Гридчин, А. И. Траутвайн, Ю. П. Чистяков // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. – 2015. – № 6. – С. 149-153.

10. Пыриг, Я. И. Сравнительная оценка влияния энергосберегающих добавок на свойства битума / Я. И. Пыриг, А. В. Галкин // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. – 2020. – № 90. – С. 114-124.

УДК 691.335

*Чернуха Д.Г.*

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

## **МЕТОДИКА ПРИГОТОВЛЕНИЯ И ИСПЫТАНИЯ ГРАНУЛИРОВАННОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА ИЛИ КОМПОЗИЦИОННОГО ВЯЖУЩЕГО**

Приготовление сырьевых гранул осуществлялось методом окатывания. Окатывание связывает группу процессов, которые характеризуются движением гранулированного порошка по поверхности устройства. Окатывание гранул совмещает процессы влажного накатывания порошка перлита и композиционного вяжущего на введенные зерна перлита различной гранулометрии до образования сырых гранул различного размера.

Агломерация порошков в процессе окатывания гранул может осуществляться в течение длительного времени и используется для практического осуществления процесса гранулирования. Непрерывное движение гранулированного материала приводит как к образованию и увеличению размеров гранул, так и к разрушению вследствие изменения влажности и величины накатанного материала в связи с изменением адгезионных свойств накатанных слоев. При процессах агломерации происходят эти противоположные процессы, но задачей установления таких условий является формирование и сохранение полученных гранул одинаковых размеров.

Типичная схема гранулирования окатыванием выглядит следующим образом. Вращающееся устройство (барабан, диск, конус), установленное горизонтально или с небольшим наклоном, принимает порошок, обычно орошаемый на входе связующей жидкостью. Смоченные частицы агломерируются и прокатываются для получения желаемой плотности и размера. Однако возможны отклонения от нормального роста гранул из-за соединения отдельных гранул между собой, а также их разрушения. Эти отклонения ухудшают качество гранул [1].

При вращении тарелки часть порошка захватывается ее стенкой и дном, поднимается на определенную высоту, а затем скатывается вниз. Высота хода и количество захваченного порошка зависят от нескольких факторов: соотношения величин внутреннего и внешнего трения,

скорости вращения и степени заполнения агрегата. Во время подъема гранулы перемещаются вместе с дном, не перемещаясь друг относительно друга, до тех пор, пока они не сформируются и не сожмутся в определенной точке, где начинается скатывание, во время которого гранулы увеличиваются.

Для получения гранулированного (сферического) пористого заполнителя, в качестве вяжущего использованы портландцемент ЗАО «Белгородцемент» по ГОСТ 31108-2020 [2]. В качестве кремнеземсодержащего компонента для изготовления ядра заполнителя использовали вулканическую водосодержащую стекловатую породу – перлит пылевидный.

Подбор состава смеси на основе перлитовой пыли и цемента проводился опытным путем при определенных соотношениях компонентов.

В ходе проведения испытания было выведено следующее соотношение:

Перлитовый песок в соотношении с цементом 1:2, с добавлением воды. Введение воды осуществляли дозированным методом на определенном участке вращающейся чаши.

В процессе приготовления первым делом в грануляционную установку, предварительно включенную, помещали 5 весовых частей перлитового песка, с добавлением 1/9 от всего объема воды (90 мл). Затем в гранулятор засыпали 2 весовые части цемента. По истечению 2 минут работы установки еще добавляли 1/9 части воды (90 мл) от изначального объема и 1 часть цемента, данную операцию повторяли 8 раз. Повторение операции определялось поставленной задачей по получению определенного размера гранулы. После этого оставляли установку на 15 минут в рабочем режиме для формирования более плотной оболочки сформированных гранул.

При разработке технологических основ получения пористых гранул с применением минеральных порошков и вяжущих веществ важное значение имеют условия твердения полученных окатанных частиц, так как вяжущие вещества твердеют в различных условиях по-разному.

В данном случае, рассматривается влияние условий твердения гранул с применением перлитового песка и портландцемента в естественных нормальных условиях (температура окружающей среды  $\pm 20$  С и относительная влажность 80-90%).

Как известно, прочность материалов, содержащих цемент во многом зависит от структуры цементного камня, которая формируется в процессе твердения при обязательном наличии влаги [3]. Скорость

нарастания прочности цементного камня, как и скорость любой химической реакции, может быть резко увеличена с повышением температуры среды при тепловой обработке. Так как при тепловой обработке возможно испарение влаги из материала, а ее удаление исключит процесс гидратации, то для тепловой обработки используют пар, что дает возможность сохранить влагу в цементном камне.

Для этого, изделия загружают в установку или в специальную камеру, куда подается пар. Пар как более нагретое тело отдает теплоту парообразования менее нагретому телу-гранулам и нагревает его, а сам в виде конденсата удаляется из установки. За счет нагрева скорость реакций гидратации цемента резко возрастает и ускоряется структурообразование цементного камня и всего пористого материала.

Таким образом, при разработке технологии производства пористых заполнителей с применением цемента необходима тепловлажностная обработка изделий.

В результате приготовления пористых гранулированных заполнителей, получили гранулы, представляющие собой достаточно плотно спрессованные твердые частицы сферической (шарообразной) формы размером от 2 до 18 мм (рис. 1).

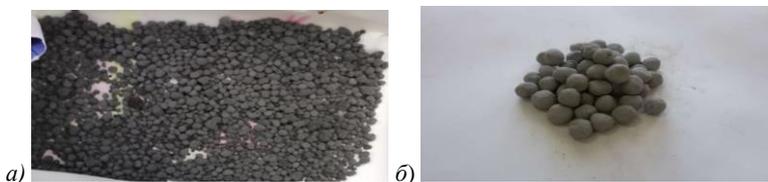


Рис. 1 Полученные гранулы, размером от 2 до 18 мм

Для определения прочности на сжатие полученных гранул использовали прибор Михаэлиса. Полученную гранулу определенной фракции помещали между специально сделанными пластинами в зажим прибора и закручивали ручку, чтобы образец в виде гранулы плотно прижимался. Далее на крюк помещали пакет (ведерко) и равномерно начинали засыпать грузики до момента, когда пакет с грузиками приведет в движение рычаг. Когда пакет (ведерко) с грузиками в первый раз привело в действие рычаг с грузом гранула (образец) деформировался, но не разрушился. Продолжили насыпать грузики до момента 2-го движения рычага, в результате образец в виде гранулы разрушился. После чего взвешивали пакет с грузиками и получали значение прочности на изгиб 1-ой гранулы в  $гс/мм^2$ .

Для определения плотности гранул заполняли стакан наполовину гранулами и взвешивали их. Далее заливали гранулы в стакане водой, после чего снова взвешивали стакан с гранулами в воде. После чего выливали воду из стакана и в 3ий раз взвешивали стакан с гранулами.

Испытания полученных пористых частиц (гранул) проводились через 28 суток после полного твердения и подсушивания гранул.

После испытания гранул на приборе Михаэлиса получили следующие результаты в виде разрушенных гранул (рис. 2).

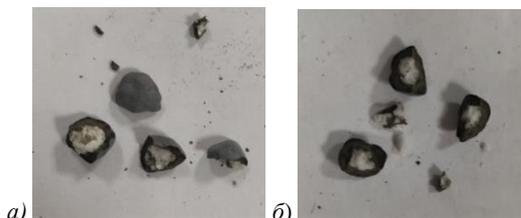


Рис. 2 Разрушенные цементно-перлитовые гранулы

Результаты физико-механических испытаний полученных гранулированных заполнителей приведены в таблице.

Таблица – Результаты исследования

Фракция	Прочность на сжатие, гс/мм <sup>2</sup>				Прочность на сжатие, МПа	Плотность, г/см <sup>3</sup>
	1	2	3	ср.		
2,5	206,4	196,1	202,3	201,6	1,98	0,05
5	236,1	225,8	235,7	232,5	2,28	0,065
10	271,6	252,3	263,4	262,4	2,57	0,075
осталось на 10	297,4	349,9	285,3	310,9	3,05	0,09

Анализ результатов физико-механических результатов гранулированных заполнителей показал, что достигнут определенный технический эффект. Установлено, что наибольшей прочностью 3,05 МПа обладают гранулированные заполнители с использованием фракции перлитового заполнителя более 1 мм. При снижении размера фракции до 0,5 прочность гранул снижается на 16% и составляет 2,57 МПа относительно гранулированных заполнителей более 1 мм. При снижении размера фракции менее 0,5 прочность снижается на 26% и составляет 2,28 МПа.

Следует отметить, что керамзитовые гранулы марки 750 обладают прочностью 4-4,5 МПа.

Таким образом, для приготовления легких бетонов, а также для выполнения различных теплоизоляционных работ рекомендуется использовать полученный теплоизоляционный гранулированный наполнитель.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Классен, П.В. Гранулирование / П.В. Классен, И.Г. Гришаев, И.П. Шомин. - М.: Химия, 1991. – 240 с.
2. ГОСТ 31108-2020: Цементы общестроительные. Технические условия. Взамен ГОСТ 10178-85; ГОСТ 31108-2016. Введен 01.03.2021. М.: Изд-во стандартов, 2020. – 15 с.
3. Васильков С.Г. Влияние различных факторов на сырьевую прочность и кажущуюся плотность гранулята / С.Г. Васильков // Эффективные строительные материалы на основе отходов промышленности. - Ташкент, сырьевых смесей / М. Б. Френкель. - М.: Промстройиздат, 1957 - 120 с.

**УДК 691.3**

*Шеремет А.А., Богун Н.В., Охрименко С.А.  
Научный руководитель: Елистраткин М.Ю., канд. техн. наук, доц.  
Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## **ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КРУПНОПОРИСТОГО КЕРАМЗИТОБЕТОНА В 3D- АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ**

Формирование комфортной городской среды имеет особое социально-экономическое значение на современном этапе развития современного общества. Решению этой проблемы во многом способствует создание и развитие малоэтажной экологически безопасной и комфортной жилой застройки в городах, пригородных зонах и других населенных пунктах России.

3D-аддитивные технологии постепенно становится неотъемлемой частью строительной отрасли. 3D-принтеры создают объект, добавляя материал слой за слоем, автоматизируя процесс изготовления зданий и сооружений. Физический объект обычно базируется на цифровой 3D-модели [1-2], от создания жестких элементов ландшафта до крупных конструкций, таких как стены и купольные конструкции [3-4].

Наиболее привлекательной особенностью 3D-печати в строительстве является возможность реализовывать не только простые прямоугольные здания, но и сложные по своей геометрии сооружения. Кроме того, положительными эффектами являются возможность снизить себестоимость создаваемых объектов, повысить точность их изготовления и сократить сроки строительства [5-7].

К свойствам бетонной смеси для 3D-аддитивных технологий предъявляется много требований [8]. Смесь должна обладать определенной вязкостью и формуемостью, чтобы принимать необходимую форму во время печати. Кроме того, смесь должна быстро схватываться, чтобы не потерять форму без опалубки.

Увеличение нормативных показателей теплозащитных свойств ограждающих конструкций зданий определяет высокий объем использования легких бетонов (бетонов на пористых заполнителях, ячеистых бетонов) в строительстве. При этом с позиции технико-экономической эффективности перспективным является использование легких бетонов с крупнопористой структурой.

Крупнопористый керамзитобетон (КПКБ) представляет собой беспесчаный легкий бетон, состоящий из керамзитового гравия (щебня), скрепленного небольшим количеством цементного камня, который, обволакивая тонким слоем зерна заполнителя, не заполняет пустоты между ними. По сравнению с традиционными легкими бетонами, структура КПКБ характеризуется зернистым строением и открытой непрерывной (сквозной) пористостью, что приводит к существенному повышению его теплотехнических характеристик. Однако КПКБ обладает пониженной прочностью на сжатие (0,5-5 МПа).

Несмотря на высокие теплозащитные характеристики, существует необходимость повышения прочности при сжатии изделий на основе КПКБ без увеличения их средней плотности.

Для изучения влияния на прочность и плотность КПКБ количества и качества цементного клея был осуществлён двухфакторный трёхуровневый эксперимент. Условия планирования представлены в (таблице 1).

Таблица 1 – Условия планирования эксперимента

Фактор		Уровень варьирования			Интервал варьирования
Натуральный вид	Кодированный вид	-1	0	1	
Расход цемента, г/см <sup>3</sup>	x <sub>1</sub>	0,25	0,4	0,55	0,15
В/Ц	x <sub>2</sub>	0,45	0,55	0,65	0,1

Результаты физико-механических испытаний образцов представлены в (таблице 2) и на (рисунке 1).

Таблица 2 – Матрица планирования эксперимента

Точки и плана	Матрица планирования		Квадраты переменных x		Взаимодействи е факторов	R 7 суг., МПа (возд хран )	Плотност ь ρ, г/см <sup>3</sup>
	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>1</sub> <sup>2</sup>	x <sub>2</sub> <sup>2</sup>	x <sub>1</sub> x <sub>2</sub>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>
1	<b>1</b>	<b>1</b>	1	1	1	6,44	941
2	<b>1</b>	<b>-1</b>	1	1	-1	5	880
3	<b>-1</b>	<b>1</b>	1	1	-1	0,36	743
4	<b>-1</b>	<b>-1</b>	1	1	1	1,75	779
5	<b>1</b>	<b>0</b>	1	0	0	3,19	836
6	<b>-1</b>	<b>0</b>	1	0	0	0,61	749
7	<b>0</b>	<b>1</b>	0	1	0	4,3	971
8	<b>0</b>	<b>-1</b>	0	1	0	0,99	712
9	<b>0</b>	<b>0</b>	0	0	0	4,04	865

На основании полученных результатов была проведена статистическая обработка данных в Microsoft Excel и составлены математические модели, позволяющие получать составы с заданными прочностными показателями в исследуемом диапазоне дозирования вяжущего и В/Ц.

Уравнение регрессии прочности композиционных вяжущих на сжатие:

$$R^7 = 2,75 - 1,98x_1 + 0,56x_2 - 0,21x_1^2 + 0,53x_2^2 + 0,71x_1 \cdot x_2;$$

На основании данных уравнений была составлена номограмма (рисунок 1), визуально отображающая зависимость прочности от принятых переменных параметров.

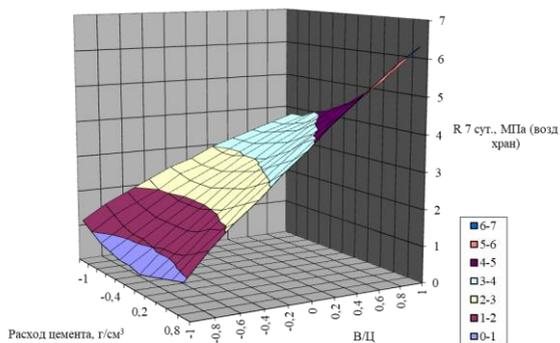


Рис.2 Структура оптимальных составов КПКБ для 3D-аддитивных технологий: а)№1; 2)№7; 3)№9

Разработка составов КПКБ (рисунок 2), а также организация их производства для строительства зданий и сооружений методом 3D-аддитивной печати позволит:

- обеспечить строительную отрасль промышленности изделиями сложной формы, с высокими эксплуатационными характеристиками;
- снизить себестоимость изготовления изделий сложной формы за счет отказа от дорогостоящих операций механической обработки;
- способствовать формированию комфортной городской среды;
- многократно сократит сроки строительства.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ngo, T.D., Kashani, A., Imbalzano, G., Nguyen, K.T.Q., Hui, D. Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges. *Compos. Part B Eng.* 2018. 143. Pp. 172–196. DOI:10.1016/j.compo-sitesb.2018.02.012.

2. Vatin, N.I., Usanova, K.Y. BIM end-to-end training: From school to graduate school. *Adv. Trends Eng. Sci. Technol. III- Proc. 3rd Int. Conf. Eng. Sci. Technol. ESaT 2018.* 2019. Pp. 651–656. DOI:10.1201/9780429021596-102

3. Lowke, D., Dini, E., Perrot, A., Weger, D., Gehlen, C., Dillenburger, B. Particle-bed 3D printing in concrete construction – Possibilities and challenges. *Cem. Concr. Res.* 2018. 112. Pp. 50–65. DOI:10.1016/j.cemconres.2018.05.018.

4. Lim, S., Buswell, R.A., Valentine, P.J., Piker, D., Austin, S.A., De Kestelier, X. Modelling curved-layered printing paths for fabricating large-scale construction components. *Addit. Manuf.* 2016. 12. Pp. 216–230. DOI:10.1016/j.addma.20-16.06.004

5. Gosselin, C., Duballet, R., Roux, P., Gaudillière, N., Dirrenberger, J., Morel, P. Large-scale 3D printing of ultra-high performance concrete – a new processing route for architects and builders. *Mater. Des.* 2016. 100. Pp. 102–109. DOI:10.1016/j.matdes.2016.03.097

6. Akulova, I., Slavcheva, G. Methodical Approach to Calculation of the Maintenance Cost for 3D Built Printing Equipment. *IOP Conf.*

7. *Ser. Mater. Sci. Eng.* 2020. 753. DOI:10.1088/1757-899X/753/5/052056

8. Tay, Y.W.D., Panda, B., Paul, S.C., Noor Mohamed, N.A., Tan, M.J., Leong, K.F. 3D printing trends in building and construction industry: a review. *Virtual Phys. Prototyp.* 2017. 12. Pp. 261–276. DOI:10.1080/17452759.2017.1326724

9. Elistratkin, M.Y., Lesovik, V.S., Alfimova, N.I., Shurakov, I.M. On the question of mix composition selection for construction 3D printing. *Mater. Sci. Forum.* 945 MSF. 2018. Pp. 218–225. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.945.218

10. Белов А. О., Гилязидинов Н. В. Технология возведения малоэтажных зданий с помощью 3D-принтера: сб. ст. VII Всероссийская научнопрактическая конференция молодых ученых с международным участием / КузГТУ ИМ. Т.Ф. Горбачева. г. Кемерово, 2015. С. 703.

11. Лесовик, В.С. Строительные материалы из отходов горнорудного производства Курской магнитной аномалии: Учебное

пособие /В.С. Лесовик. – Белгород: Изд. АСВ, 1996. – 155 с.

УДК 624.012.41:69.057.13

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

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ГЛИНЫ КОРНИЛОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

Глины традиционно считаются предметом активного исследования для механики, геомеханики также гидрогеодинамики в зависимости от сферы применения. Слабопроницаемые глинистые горные породы, как правило, представляют высокую значимость для водоносных либо нефтяных пластов и выступают как естественный буфер при загрязнении подземных вод, а также считаются сырьем для строительной отрасли и других отраслей промышленности.

Известно, что запасы качественного глинистого сырья ограничены. При добыче различных полезных ископаемых глинистое сырье является вскрышной породой, которую извлекают, но не находят соответствующего использования. В данной статье приведены результаты исследований использования беложгущейся глины Корниловского месторождения для производства керамического кирпича.

В составе керамического кирпича находится в основном глиняная масса. Чем мельче и однороднее ее фактура, тем наиболее качественным получается продукт.

Глины бывают разными, в зависимости от ее типа, метода получения, постобработки, назначения, области использования.

Для каждой конкретной сферы применения необходима глина соответствующими химическими и теплофизическими параметрами. [1].

Цель: настоящей работы исследование беложгущейся глины Корниловского месторождения для применения в строительной индустрии.

Задача: определение физико-технических характеристик беложгущейся глины Корниловского месторождения.

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

Проводили исследования огнеупорности глины, химического и гранулометрического состава, прочности на сжатие и изгиб образцов обожженных при различных температурах обжига и водопоглощения [2].

1. Определение огнеупорности. Термические характеристики необходимы с точки зрения использования изделий из данного материала в высокотемпературных технологиях.

Для исследования использовали пять проб КТ-1, КТ-2, КТ-3, КТ-4, КТ-5 (рисунок 1).

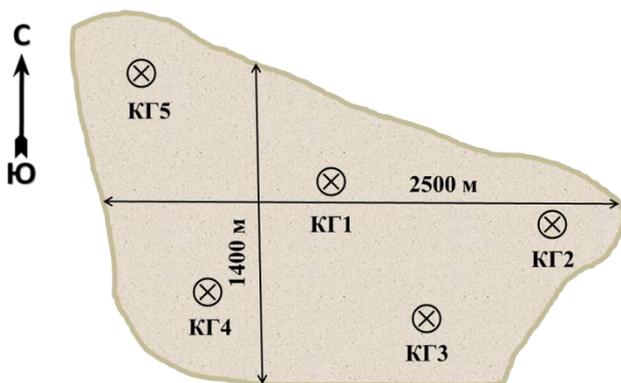


Рис. 1 - Место отбора

На пробах КТ-1, КТ-2, КТ-3, КТ-4, КТ-5 проводили исследования на огнеупорность. Наблюдение за падением пироскопа проводилось визуально. За огнеупорность принимают температуру, при которой вершина пироскопа касается подставки. Результаты исследований представлены в (таблице 1).

Таблица 1 - Результаты определения огнеупорности глинистого сырья

№ пробы	Показатель огнеупорности, °С	Классификация по огнеупорности
КТ1	1540	тугоплавкая
КТ2	1430	тугоплавкая
КТ3	1610	огнеупорная
КТ4	1610	огнеупорная
КТ5	1640	огнеупорная
ВП	Не менее 1600 °С	огнеупорная

Основным сырьем для производства керамического кирпича являются тугоплавкие глины и суглинки, чему и соответствует глина Корниловского месторождения.

2. Гранулометрический состав характеризует степень дисперсности минеральных частиц образца. Физико-технические процессы глины определяются размерами частиц вещества при спекании (таблица 2). Дисперсный состав глин выполнен с использованием сит.

Таблица 2 - Дисперсный состав глины

№ пробы	Массовая доля фракций (мм), %					Содержание частиц < 0,001 мм
	>0,06	0,06-0,01	0,01 - 0,005	0,005 - 0,001	< 0,001	
КГ-1	3,20	17,91	10,10	23,58	45,21	Среднедисперсная
КГ-2	16,80	36,28	11,23	17,91	17,48	Низкодисперсная
КГ-3	1,50	11,12	10,14	30,76	46,48	Среднедисперсная

Исходя из полученных результатов определения дисперсности, можно сделать вывод, что пробы глинистого сырья относятся к среднедисперсной и низкодисперсной группе.

3. Химический состав. В процессе исследований химический состав был анализирован на АЭС-ИСП-спектрометре OPTIMA 2000DV и на рентгеновском дифрактометре ДРОН-3. Результат представлен в (таблице 3).

Таблица 3 – Химический состав исходных проб Корниловского месторождения

№ пробы	Содержание, масс. %											
	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	п.п.п
КГ-1	61,78	1,29	20,10	5,12	0,06	0,63	0,83	0,40	1,65	0,05	<0,05	7,87
КГ-2	64,87	1,21	18,00	4,14	0,06	0,59	1,14	0,56	1,92	0,03	<0,05	7,16
КГ-3	62,90	1,18	22,39	1,94	0,02	0,57	0,72	<0,03	1,32	<0,03	<0,05	8,78
КГ-4	64,59	1,14	21,52	1,52	<0,01	0,57	0,82	<0,03	1,34	<0,03	<0,05	8,05
КГ-5	73,82	0,64	16,72	0,87	<0,01	0,07	0,27	<0,03	0,81	<0,03	<0,05	6,50

По содержанию химических соединений в пробах, глины относятся к группе со средним содержанием красящих веществ.

4. Механическую прочность изделий из глин при обжиге связывают в основном с явлением плавления и объясняют цементированием структуры, затвердевшим расплавом. Механическая

прочность материала характеризуется способностью сопротивляться различным внешним механическим воздействиям. Механическая прочность материала характеризуется пределами прочности: при сжатии; при растяжении или разрыве; при изгибе или изломе. Результаты прочности глины Корниловского месторождения приведены ниже (рисунки 2,3).

Для количественной оценки принят показатель – механическая прочность изделий после обжига при температуре  $800^{\circ}$ , т. е. ниже температуры появления первичного расплава [3].

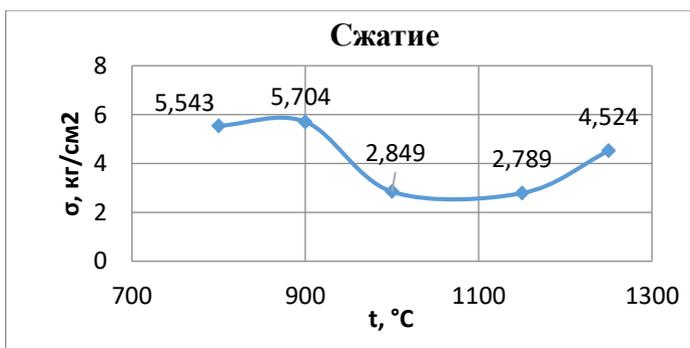


Рис. 2 Прочность на сжатие

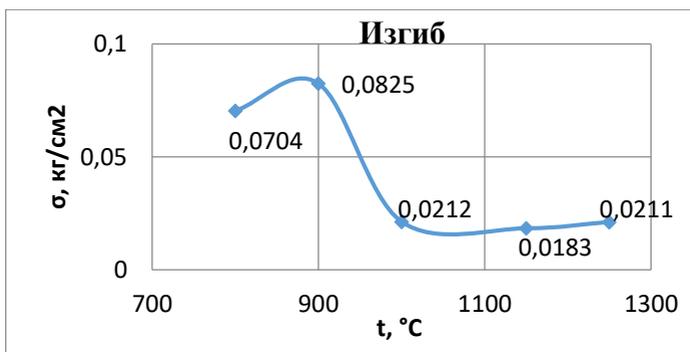


Рис. 3 Прочность на изгиб

В свою очередь, химический состав позволяет предположить существование модификационного превращения кварца, которое и стало причиной увеличения веса, соответственно, объёма исследуемых образцов. При  $573^{\circ}$  р-кварц переходит в а-кварц, который устойчив в пределах  $573\text{—}870^{\circ}$ . При температуре  $800^{\circ}$  — кварц стабилен,

тридимит не стабилен. От 870° до 1470° устойчивой формой кварца является а-три-димит, а при более высокой температуре а-кристобалит; последний в виде а-модификации образуется в интервале температур 1470—1710°. Увеличение объёма до 14%.

5. Водопоглощение. Водопоглощение глин – технологическое свойство глины, характеризующее ее способность впитывать (поглощать) воду, сохраняя состояние пасты, не деформирующейся под действием собственной силы тяжести.

Исследование на водопоглощение проводилось в течение 13 суток. Первые двое суток проходил наиболее интенсивный процесс поглощения воды образцами, после чего его скорость снижалась в течение шести суток. На шестые сутки было достигнуто предельное значение водопоглощения – 1,14%, после которого процесс насыщения образцов водой оставался неизменным, не смотря на дальнейшее пребывания их в воде еще трое суток. Эксперименты показали, что наименьшее водопоглощение 0,16% у образцов, обожжённых 800 градусов. Водопоглощение у всех образцов изменяется до определенного периода времени, при достижении предельного значения водопоглощения образцов остается неизменным, не смотря на дальнейшее пребывание в воде. Низкий процент водопоглощения является одним из определяющих факторов при выборе состава шесты для изготовления материала. Это свидетельствует о том, что с увеличением температуры обжига уменьшается плотность образцов и увеличивается пористость.

Таблица 4 – Вес изготовленных материалов

Температура обжига	800	900	1000	1100
Сутки	Вес, г			
1	4,74	2,34	3,02	8,63
2	6,04	2,84	3,60	10,30
4	6,14	2,86	3,60	10,36
6	6,21	2,88	3,63	10,39
8	6,24	2,88	3,63	10,41
10	6,26	2,88	3,63	10,43
13	6,25	2,88	3,64	10,45

Таким образом, метод был основан на впитывании образцом достаточного объема влаги, после этого использованный материал прекращает поглощать воду. С помощью этого метода была получена

зависимость водопоглощения от температуры, при котором был обожжён образец (таблица 5).

Таблица 5 – Водопоглощение, %

Температура обжига	800	900	1000	1100
Сутки	Водопоглощение, %			
2	27,4	21,368	19,20	19,35
4	1,65	0,70	0,83	0,58
6	1,14	0,69	0,83	0,29
8	0,48	0,69	0,83	0,19
10	0,32	0,69	0,83	0,19
13	0,16	0,69	0,27	0,19

Исходя из проведенной работы, можно сделать вывод, что глина имеет невысокое водопоглощение.

Исходя из исследований образцов КТ-1, КТ-2, КТ-3, КТ-4, КТ-5 беложгущейся глины на механическую прочность, химический состав, дисперсионный состав, можно сделать вывод, что данную глину можно использовать не только для изготовления строительного материала, но и низкотемпературной керамики.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 9169-75. Сырье глинистое для керамической промышленности. Классификация [Текст]. – Взамен ГОСТ 9169-59; введ. 1976-07-01. – М.: Изд-во стандартов, 1976 – с. 2.

2. Керамика. Свойства глины [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.stroy-tip.ru/>, свободный (дата обращения: 28.04.2022).

3. Усов П. Г., Губер Э. А. Изменение механической прочности изделий из глин в связи со структурными изменениями глинистых минералов при обжиге // Известия ТПУ. 2003. №7. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/izmenenie-mehanicheskoy-prochnosti-izdeliy-iz-glin-v-svyazi-so-strukturnymi-izmeneniyami-glinistyh-mineralov-pri-obzhige>, (дата обращения: 14.05.2022).

4. Исследование влияния вскрышных пород на техносферную безопасность при добыче полезных ископаемых. Молодой ученый [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

<https://moluch.ru/archive/385/84842/>, свободный (дата обращения: 10.05.2022).

**УДК 691.5**

**Шекина Н.А.**

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

## **ФИБРОБЕТОНЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ**

Фибробетон является одним из самых востребованных строительных материалов с точки зрения технико-экономической эффективности и имеет широкий спрос в строительной области. Уникальность фибробетона состоит в его разнообразии составов, физико-химических свойств, выносливости, долговечности, износостойкости при эксплуатации и высокой прочности на растяжения и изгиб.

Стоит отметить, что важным моментом на сегодняшний день является необходимость решения экологических задач при получении фибробетона. Для получения высококачественного дисперсно-армированного бетона в его состав вводятся специальные модифицирующие добавки, что способствует увеличению физико-механических свойств композита. В настоящее время большое внимание уделяется направлению по разработке технологий по использованию утилизации техногенного сырья, для обеспечения полной переработки отходов производства с получением наибольшего экономического эффекта и снижения себестоимости материала.

Автомобильный рынок с каждым годом набирает обороты и растет производство автомобилей, аналогично в такой же пропорции растет и количество изношенных автошин. Согласно литературным и справочным источникам выявлено, что в каждом регионе страны и за рубежом отходы техногенного сырья от транспортных средств приобретают все больших масштабов, только в Белгородской области ежегодно образуются около 10000 – 15000 тонн автошин [1].

Если не задаться вопросом о грамотной утилизации автошин, то для полного их разложения потребуется много лет и на протяжении этого времени старые покрышки будут подвергаться воздействию осадков и выделять в атмосферу вредные токсичные вещества, а в случае

возгорания они крайне опасны. Также они являются благоприятной средой для размножения грызунов и насекомых – переносчиков тяжелых инфекционных заболеваний.

Так как вопрос экологической безопасности при утилизации шин не перестает быть важным, то специалисты строительной отрасли на сегодняшний день предлагают метод избавления от ненужных покрышек большими масштабами (рис. 1). Данный метод представляет изготовление дисперсно-армированного бетона повышенной прочности – фибробетон, в структуру которого в качестве специальных добавок входят фракции в виде резиновой крошки, полученные из отходов отработанной резины, что способствует повышению армирующих свойств бетона, а также его прочности. Технология производства получения фибробетона с применением резиновых отходов является наиболее доступной и менее дорогостоящей.

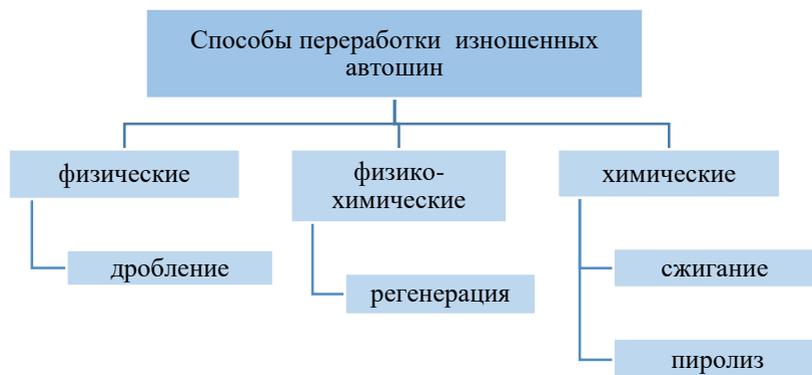


Рис. 1. Способы переработки изношенных автошин

Также существуют еще методы измельчения отходов резины: криогенный, высокоскоростного реза, упругодеформационный, данные методы различаются температурными условиями и характером воздействия на материал, что дает различия в свойствах получаемой крошки [2]. В результате механической переработки шин образуются резиновая крошка, металлокорд и текстиль, при чем физико-механические и химические свойства материала сохраняются. В свою очередь, в зависимости от способов переработки полученные резиновые гранулы различаются формой, степенью окисленности поверхности, удельной поверхностью и дисперсионным составом. Таким образом,

при наличии необходимого оборудования можно получать резиновую крошку любых фракций вплоть до пылевидной субстанции.

Состав и свойства фибробетона напрямую зависят от технологии переработки отходов резинотехнических изделий, от самих автошин, от методов получения крошки и волокон, различающихся объемом и количественным составом. Например, в лабораторных условиях возможно из шин выделить волокна.

Авторами [1, 3] установлено, что если при производстве фибробетона заменить в составе 10-19% песка на резиновую добавку, свойства и характеристики данного композита значительно улучшатся, повысятся прочностные показатели, морозостойкость, водонепроницаемость и уменьшатся усадочные деформации. На основании этого можно сделать вывод, что тонкодисперсные резиновые добавки, заполнившие поры, капилляры и зоны контакта заполнителя с цементным камнем, способствуют уменьшению количества микротрещин, укрепляют ослабленные точки жесткого пространственного скелета и делают его более эластичным и однородным. Кроме того, они снижают испаряемость воды из свежесушеного бетона. Таким образом, результаты исследований позволяют прогнозировать получение бетонов с меньшим количеством усадочных трещин даже при недостаточном влажностном уходе за ним в период твердения [4, 5, 6].

Дисперсно-армированный бетон, созданный на основе утилизированных отходов (автошин) имеет ряд преимуществ: трещиностойкость, стойкость к температурным скачкам и к влаге, он легче по весу, по цене - его выгоднее получать чем арматуру, выработка и применение фибробетона решает экологический вопрос. Также использование данного материала понижает затраты на строительство, уменьшает бетонный расход. Вследствие этого, появляется возможность отказаться от простого вывоза шин на утилизацию, превратив их в строительный материал.

Однако, существует еще ряд причин, по которым использование подобного волокна выгодно: вес бетона с таким волокном намного ниже и дешевле арматуры; подобное армирующее сырье еще долго не иссякнет, так как ежегодно производится огромное количество шин; выгодное использование как вторичного сырья, один килограмм волокна можно получить при переработке нескольких шин; перспективы уменьшения количества цемента в бетоне.

Минус данного композита состоит в том, что резиновая крошка под действием солнечных лучей нагревается, выработывая неприятный

запах резины. Это свойство необходимо учитывать при выборе применения данного материала.

Также авторами [7, 8], было установлено, что наиболее оптимизированный состав компонентов в фибробетоне с содержанием волокон около 3% и есть «оптимальный» процент армирования. Раствор именно с таким содержанием количества волокон продемонстрировал наименьшее появление трещин бетона и значительное увеличение его в эксплуатации.

Таким образом, можно сделать вывод, что использование техногенного сырья в составе фибробетона оказывает положительное влияние на структурообразование дисперсно-армированного композита, повышая его эксплуатационные характеристики, уменьшая усадочные деформации благодаря созданию дополнительного объема условно-замкнутых пор. Эти микропоры как бы блокируют капилляры и образуют дополнительную пористость, способствуя повышению выше перечисленных свойств, а также к увеличению морозостойкости, водонепроницаемости, самое главное к трещиностойкости, так как они являются своеобразными демпферами («поглотителями») развивающихся микротрещин.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. 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. Т. 974. С. 131-135.

2. Агаянц И.М., Оськин В.М., Корнев А.Е. Альбом технологических схем переработки эластомерных материалов (часть 2) // Учебно-методическое пособие. М.: ИПЦ МИТХТ им. М. В. Ломоносова, 2010, с. 84

3. 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.

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

5. 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.

6. Юрьев А.Г., Клюев С.В., Клюев А.В. Устойчивость равновесия в природе и технике // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2007. №3.. С. 86 – 88.

7. Лесовик Р.В., Клюев А.В., Клюев С.В. Мелкозернистый сталефибробетон на основе техногенного песка для получения сбонных элементов конструкций // Технологии бетонов. 2014. №2 (91). С. 44 – 45.

8. Лесовик Р.В., Клюев С.В. Фибробетон на композиционных вяжущих и техногенных песках курской магнитной аномалии для изгибаемых конструкций // Инженерно-строительный журнал. 2012. №3(29). С. 41 – 47.