

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тверской государственный технический университет»  
(ТвГТУ)

**ИННОВАЦИИ И МОДЕЛИРОВАНИЕ  
В СТРОИТЕЛЬНОМ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИИ  
И СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

*Материалы VII Всероссийской  
научно-практической конференции  
(5 июня 2024 г., Тверь)*

Тверь 2024

УДК 378.1:[33+31+62+69+004+502+54]  
ББК 74.48

Инновации и моделирование в строительном материаловедении и строительстве: материалы VII Всероссийской научно-практической конференции (5 июня 2024 г., Тверь) / под ред. В.В. Белова. Тверь: Тверской государственный технический университет, 2024. 136 с.

Труды, включенные в сборник, посвящены возможностям математического моделирования, прогнозирования свойств и проведения автоматизированных расчетов, определяющим современные инновационные подходы и методологию развития строительных технологий и процессов подготовки специалистов, работающих в данной сфере.

Предназначены для научных и инженерно-технических работников, научно-исследовательских, проектных и производственных организаций, а также докторантов, аспирантов, магистрантов и студентов вузов строительного профиля.

Авторы статей несут ответственность за достоверность приведенных в них сведений.

## СОДЕРЖАНИЕ

<i>Аль Матни Аксам, Ткач Е.В.</i> Модифицированный тяжелый бетон на основе бетонного лома для сооружений дорожного водоотвода .....	5
<i>Баркая Т.Р., Гавриленко А.В., Томашова В.А., Чернокожева Л.С., Смирнов И.А.</i> Оптимизация процессов при разработке расчетной схемы на основе данных архитектурной модели .....	9
<i>Белов Н.А., Новиченкова Т.Б., Смирнов М.А., Курятников Ю.Ю.</i> Способы ухода за бетонами при твердении в естественных условиях.....	14
<i>Иванов М.Д., Смирнов М.А., Трофимов В.И., Белов В.В.</i> Высокопрочный керамзитобетон с использованием золы-уноса .....	22
<i>Килиянчук Ю.В., Петропавловская В.Б., Белов В.В., Трофимов В.И.</i> Компактирование порошков в производстве строительных композитов. Гиперпрессование .....	44
<i>Лаптев А.А., Ткач Е.В.</i> Перспективы использования цементных композитов, армированных волокнами, в строительных растворах для ремонта конструкций .....	51
<i>Лесников И.А., Новиченкова Т.Б., Петропавловская В.Б., Смирнова Е.В.</i> Разработка состава композиционного гипсового вяжущего для 3D-печати .....	57
<i>Мамедов Т.Р., Курятников Ю.Ю., Петропавловская В.Б., Смирнова Е.В.</i> Бетоны с заполнителями из стекольных отходов .....	64
<i>Мицкевич А.С., Курятников Ю.Ю., Новиченкова Т.Б., Смирнова Е.В.</i> Самоуплотняющиеся бетоны на основе техногенных отходов .....	71

<b>Новиченкова Т.Б., Петропавловский К.С., Петропавловская В.Б.</b> Применение торфа в строительстве .....	79
<b>Паньшин Д.С., Смирнов М.А., Трофимов В.И., Белов В.В.</b> Эффективные теплоизоляционные сухие смеси для пенобетона .....	87
<b>Петропавловская В.Б., Петропавловский К.С., Новиченкова Т.Б.</b> Модификация высокопрочного гипсового вяжущего золошлаковыми отходами .....	96
<b>Раткевич Е.А., Завадько М.Ю.</b> Подходы к обеспечению качества подготовки бакалавров профиля «Производство строительных материалов, изделий и конструкций» .....	103
<b>Сизов Ю.В., Куляев П.В.</b> Экспериментальные исследования прочности и деформативности СИП-панелей на поперечный изгиб ...	110
<b>Трофимов В.И., Смирнов М.А., Лакисов И.Е., Смирнов А.Г., Чурилин И.Д.</b> К вопросу повышения эффективности технологии получения легкого заполнителя бетона .....	114
<b>Шусев Г.А., Ткач Е.В.</b> Возможности использования каолина, доломитового порошка, микрокремнезема, переработанного гранулированного доменного шлака при производстве бетона для конструкции тоннелей.....	121
<b>Яконовская Т.Б.</b> Обзор IT-продуктов для горных компаний .....	128

## МОДИФИЦИРОВАННЫЙ ТЯЖЕЛЫЙ БЕТОН НА ОСНОВЕ БЕТОННОГО ЛОМА ДЛЯ СООРУЖЕНИЙ ДОРОЖНОГО ВОДООТВОДА

Аль Матни Аксам, Е.В. Ткач

© Аль Матни Аксам, Ткач Е.В., 2024

***Аннотация.** В современном строительстве все больше внимания уделяется вопросам экологии и рационального использования ресурсов. Одним из перспективных направлений в этой области является рециклинг бетона – переработка многотоннажных отходов железобетона с целью их дальнейшего применения. В статье рассмотрен перспективный материал для строительства дорожных водоотводных сооружений – модифицированный тяжелый бетон на основе бетонного лома (МТББЛ) и выявлены его преимущества. Представлены рекомендации по производству и применению МТББЛ для строительства долговечных и надежных сооружений дорожного водоотвода.*

***Ключевые слова:** рециклинг бетона, модифицированный тяжелый бетон, бетонный лом, дорожный водоотвод, экономичность, экологичность, прочность, долговечность, морозостойкость, водонепроницаемость.*

В современном мире, где вопросы устойчивости и экологичности выходят на первый план, использование вторичных материалов в строительстве становится все более актуальным. Модифицированный тяжелый бетон на основе бетонного лома (МТББЛ) – это перспективный материал, который обладает рядом преимуществ, делающих его привлекательным для применения в сооружениях дорожного водоотвода.

Тяжелый бетон на основе бетонного лома может быть эффективным и экономичным материалом для дорожного строительства и водоотвода. Он обладает повышенной прочностью, морозостойкостью, водонепроницаемостью и устойчивостью к агрессивным средам, а также способствует решению экологической проблемы утилизации бетонного лома.

Как правило, измельченный бетон используется повторно в качестве крупного или мелкого заполнителя.

Исследования показали, что еще одним эффективным способом переработки отходов железобетона является повторное включение пылевидной фракции цементно-песчаного камня в состав бетонной смеси [1]. С 1970-х годов во многих странах активно ведутся разработки в области утилизации отходов бетона и железобетона [2]. Ученые и

инженеры доказали, что к существенным преимуществам повторного использования этих материалов можно отнести экономию ресурсов, сохранение окружающей среды и повышение безопасности [2]. Ниже представлены основные преимущества использования МТББЛ:

Экономичность	Затраты на строительство значительно снижаются, поскольку бетонный лом является отходом производства, который обычно подлежит утилизации
Экологичность	Уменьшается количество строительных отходов, подлежащих утилизации, что способствует сохранению окружающей среды
Прочность	Модифицированный тяжелый бетон на основе бетонного лома обладает высокой прочностью и долговечностью. Это позволяет использовать его для строительства дорожных водоотводных сооружений, которые подвергаются высоким нагрузкам
Морозостойкость	Высокая морозостойкость МТББЛ позволяет использовать его для строительства дорожных водоотводных сооружений в регионах с суровым климатом
Водонепроницаемость	Высокая водонепроницаемость МТББЛ позволяет использовать его для строительства дорожных водоотводных сооружений, которые должны быть устойчивы к воздействию воды

Одним из наиболее перспективных способов утилизации лома бетонных конструкций является его переработка в щебень и песок.

Процесс переработки включает в себя:

1. Предварительное разрушение: крупные бетонные изделия разбивают на более мелкие фрагменты.
2. Удаление металла: измельченный бетон очищают от арматуры и других металлических элементов.
3. Первичное дробление: фрагменты бетона измельчают до размеров 5–12 см.
4. Вторичное дробление: полученный щебень измельчают до 0,5–5 см.
5. Фракционирование: измельченный бетон разделяют на фракции: щебень, песок и пылевидную фракцию цементно-песчаного камня (ПФЦПК).

В результате получается щебень, песок и пылевидная фракция в соотношениях 40–50, 30–35 и 15–20 % соответственно от массы исходного бетона. Пылевидную фракцию можно использовать как добавку в бетонную смесь для частичной замены цемента [3].

Для преобразования промышленных отходов, таких как доменный шлак и зола-уноса, в вяжущие материалы в зарубежных странах уже более десяти лет активно применяется метод щелочной активации. Данный метод позволяет перерабатывать различные минералы, шлаки, золу-уноса и ПФЦПК в вяжущие и геополимеры. Эти материалы затем применяются в производстве строительных изделий и конструкций. Суть метода состоит в смешивании отходов с щелочными растворами с протеканием химической реакции, в результате которой образуются новые соединения с вяжущими свойствами [4].

Основные рекомендации по производству МТББЛ:

1. Сбор и подготовка бетонного лома: собранный лом должен быть подготовлен к использованию. Для этого необходимо удалить из него все посторонние включения, такие как арматура, дерево, пластик и т.д.

2. Измельчение бетонного лома: лом должен быть измельчен до фракции, соответствующей требованиям ГОСТ 25192-2012 «Бетоны. Классификация и требования по прочности».

3. Добавление модифицирующих добавок: в бетонную смесь необходимо добавить модифицирующие добавки, которые улучшают характеристики бетона. К таким добавкам относятся суперпластификаторы, воздухововлекающие, гидроизолирующие добавки и др.

4. Приготовление бетонной смеси: бетонная смесь должна быть приготовлена в соответствии с требованиями ГОСТ 26633-2012 «Бетоны. Общие технические условия».

Полученный МТББЛ может быть использован для строительства следующих сооружений дорожного водоотвода: лотков водоотводных, колодцев водоприемных, колодцев перепадных и т.п.

### **Заключение**

Модифицированный тяжелый бетон на основе бетонного лома относится к перспективным материалам для строительства сооружений дорожного водоотвода. Он обладает высокой прочностью, долговечностью, морозостойкостью, водонепроницаемостью и является экономичным и экологичным материалом.

### **Библиографический список**

1. Механохимическая активация цементно-песчаного камня для повторного использования в строительстве / П.А. Симонов [и др.] // Строительные материалы. 2024. № 1-2. С. 9–14.

2. Чулков В.О., Назиров Б.Э. Рециклинг отходов строительства и сноса при реновации территорий дорожных покрытий крупных городов // Отходы и ресурсы. 2018. № 4. С. 1–14.

3. Ефименко А.З. Бетонные отходы – сырье для производства эффективных строительных материалов // Технологии бетонов. Сухие строительные смеси. 2014. № 2. С. 19–23.

4. Handbook of Alkali-activated Cements, Mortars and Concretes / F. Pacheco-Torgal [et al.] // Elsevier. 2015. 830 p.

## **MODIFIED HEAVY CONCRETE BASED ON CONCRETE SCRAP FOR ROAD DRAINAGE STRUCTURES**

**Al Matni Aksam, E.V. Tkach**

***Abstract.** In modern construction, more and more attention is being paid to environmental issues and the rational use of resources. One of the promising directions in this area is concrete recycling – processing of high-tonnage reinforced concrete waste for the purpose of their further application. The article considers a promising material for the construction of road drainage structures – modified heavy concrete based on concrete scrap (MTBBL) and identifies its advantages. Recommendations on the production and application of MTBBL for the construction of durable and reliable road drainage structures are presented.*

***Keywords:** recycling of concrete, modified heavy concrete, concrete scrap, road drainage, cost-effectiveness, environmental friendliness, strength, durability, frost resistance, water resistance.*

Об авторах:

АЛЬ МАТНИ Аksam – аспирант, ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет» (МАДИ), Москва. E-mail: akt37mat@gmail.com

ТКАЧ Евгения Владимировна – доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет» (МАДИ), Москва. E-mail: ev\_tkach@mail.ru

About the authors:

AL MATNI Aksam – Postgraduate Student, Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow. E-mail: akt37mat@gmail.com

TKACH Evgeniya Vladimirovna – Doctor of Technical Sciences, Professor, Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow. E-mail: ev\_tkach@mail.ru

## ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ПРИ РАЗРАБОТКЕ РАСЧЕТНОЙ СХЕМЫ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ АРХИТЕКТУРНОЙ МОДЕЛИ

Т.Р. Баркая, А.В. Гавриленко, В.А. Томашова,  
Л.С. Чернокожева, И.А. Смирнов

© Баркая Т.Р., Гавриленко А.В., Томашова В.А.,  
Чернокожева Л.С., Смирнов И.А., 2024

*Аннотация.* В статье рассмотрена возможность оптимизации технических операций в процессе проектирования зданий и сооружений посредством обмена данными между различными приложениями. Внимание акцентируется на ключевых процессах подготовки аналитической модели к экспорту между разными по функционалу и производителю программными продуктами.

*Ключевые слова:* САПР, проектирование, автоматизация, расчетная схема, архитектурная модель, аналитическая модель, моделирование, BIM, IFC.

В процессе строительного проектирования при параллельной разработке разделов проектной документации совместная работа исполнителей разной специализации и постоянный обмен данными между ними становится насущной необходимостью. Одно из важных звеньев в обмене данными – взаимодействие конструктора и архитектора.

Создание расчетной схемы для прочностного анализа конструктивной системы зданий является одной из наиболее трудоемких и ответственных задач, которая должна выполняться в непосредственной взаимосвязи с объемно-планировочными решениями. Автоматизация перехода от архитектурного решения здания к расчетной модели создает условия, при которых можно не только оперативно учитывать любые изменения со стороны архитектора, избегая при этом многочисленных трудоемких повторных расчетов конструкций, но и устанавливать определенную обратную связь, способную повлиять на целесообразность конструктивного исполнения, инициируя корректировки со стороны конструктора.

Преобразование архитектурной модели дает возможность перенести уже имеющиеся элементы с заданными характеристиками в расчетную схему, что значительно сокращает время и оптимизирует работу всех участников процесса проектирования.

### ***Инструменты автоматизированного проектирования***

Технический прогресс не стоит на месте, и на смену бумажным чертежам давно пришли системы автоматизированного проектирования (САПР). Программные продукты САПР предназначены как для создания чертежей, 3D-моделей, подсчета спецификаций, так и для конструктивного анализа.

Одними из популярных программ автоматизированного информационного проектирования – Building Information Modeling (BIM) и, в частности, создания архитектурных моделей являются такие продукты, как ArchiCAD и Revit. При этом существуют российские аналоги, более доступные для проектных организаций, они активно развиваются и расширяют свой функционал. Примером такой системы служит Renga – программа для архитектурно-строительного проектирования сооружений [1].

Можно также привести примеры программ, позволяющих осуществлять расчет строительных конструкций и часто используемых российскими проектировщиками. Это SCAD Office, «ЛИРА-САПР», STARK ES.

Для обеспечения успешного процесса проектирования на всех стадиях жизненного цикла проекта существует возможность ускорить взаимодействие между архитектурными и расчетными программами посредством специального универсального формата файлов – Industry Foundation Classes (IFC).

Формат IFC – это основа обмена данными между различными приложениями [3]. Так, IFC позволяет обеспечить совместную работу программных платформ, увеличить производительность, сократить сроки и повысить качество работы специалистов [2].

#### ***Подготовка аналитической модели***

Расчетная схема для прочностного анализа несущих конструкций сооружения строится на основе архитектурной части проекта. Рассмотрим переход от архитектурной модели к расчетной схеме на примере связки продуктов ArchiCAD и SCAD Office.

В ArchiCAD интегрирована возможность разработки аналитической модели на основе созданных при помощи инструментов базовых элементов архитектурной BIM-модели:

- перекрытия,
- стены,
- колонны
- балки
- односкатной крыши.

В ArchiCAD имеется классификация объектов, в которой каждый базовый элемент соответствует элементам в структуре IFC. Например,

элемент «балка», созданный в ArchiCAD, в структуре IFC также будет отображаться как «балка» [3].

В свою очередь аналитическая модель через формат IFC может быть импортирована в расчетный комплекс. Это позволяет конструктору не выполнять повторное моделирование элементов, уже созданных в архитектурной модели.

Важно понимать, что невозможно создать абсолютно универсальный файл IFC, подходящий для решения различных задач проектирования, и поэтому такой файл формируется в соответствии с конкретными потребностями – сценариями его использования.

В формате IFC могут храниться различные данные, поэтому перед экспортом модели в целях повышения ее качества следует выполнить определенные действия, а именно:

- проверить соответствие конструктивной функции несущих элементов;

- настроить правила корректировки компонентов, применяемых для всей 3D-модели;

- провести проверку аналитической модели с целью уточнения соединений стержней и пластин для гарантии верной передачи нагрузок;

- настроить опирание концов и ребер элементов (ввод параметров жесткости и задание направления возможного перемещения элементов модели);

- назначить фильтрацию отверстий в конструктивных элементах, которая позволит не учитывать при анализе те из них, размеры которых меньше заданного диапазона;

- назначить для элементов, не имеющих в архитектурной модели условий опирания, конструктивные опоры (это возможно применить к колоннам, перекрытиям, стенам и балкам);

- назначить конструктивные связи, дающие возможность передавать нагрузки и пространственный характер работы, между компонентами модели, непосредственно не связанными между собой;

- проверить качество физической модели с помощью автоматической функции для устранения возможных ошибок, чтобы исключить их дальнейшее влияние.

При этом следует учитывать особенности взаимодействия приложений еще на этапе моделирования, чтобы уменьшить трудоемкость подготовки к экспорту.

Перед экспортом стоит проверить созданную модель, чтобы убедиться в качестве подготовки материала (действие выполняется с помощью графического переопределения). Например, благодаря этому инструменту можно визуально проверить, имеют ли все элементы заданную классификацию.

Отметим, что расчетная схема не может строго соответствовать архитектурному решению, но основные размеры, привязки несущих элементов должны повторять генеральные параметры проектируемого объекта. Чрезмерное стремление приблизить модель к реальному объекту, нагромождение большого числа незначительных конструктивных элементов усложняет расчетную схему и ухудшает возможности анализа результатов и поиска ошибок расчета.

### ***Экспорт модели***

Экспорт из ArchiCAD в IFC осуществляется с помощью трансляторов. Для качественного перехода от архитектурного решения к расчетной схеме можно воспользоваться имеющимися шаблонами или настроить их согласно внутренним требованиям и стандартам организации. Для этого должны быть заданы следующие параметры сценария трансляции:

- IFC-схема (позволяет определить версию стандарта схемы, поддерживаемую приложением, с которым предполагается обмен данными);

- определение модельного вида (оптимизация будущей IFC-модели за счет коррекции включения данных и элементов);

- фильтрация модели (определяет область экспортируемых элементов: можно экспортировать как все элементы, так и элементы только выбранных категорий);

- сопоставление типов (дает возможность проверить присвоенные классификации соответствующему типу в IFC);

- преобразование геометрии (позволяет сопоставить местоположение, а также назначить разбиение сложных элементов на отдельные части);

- сопоставление свойств (показывает, как атрибуты и свойства IFC сопоставляются с соответствующими параметрами ArchiCAD);

- преобразование данных (используется для отключения экспорта свойств, которым не заданы значения);

- преобразование единиц (позволяет выбрать систему линейных, угловых единиц, а также площади и объема).

Существует несколько вариантов экспорта, при этом оптимальным является использование возможностей издателя. С помощью данной функции можно выполнить публикацию в формат IFC нескольких файлов для различных смежных специалистов, в том числе и конструктора, используя для каждого свой транслятор.

В настоящее время формат IFC, несомненно, является востребованным в области информационного моделирования. Работая с этим форматом, проектировщики могут быть уверены, что специалисты смежных разделов, используя другие САПР, смогут открыть, посмотреть информационную модель и применить ее в своей области.

Таким образом, формат IFC служит не только эффективным средством переноса физических компонентов здания между различными САПР, но и средством стандартизации совместно используемой информации.

### **Библиографический список**

1. Обзор систем автоматизированного проектирования / О.Н. Дудко [и др.] // Современные материалы, техника и технологии. 2015. № 2 (2). С. 51–54.

2. Новикова А.А., Курбаковских О.Д. Проблемы и перспективы открытого стандарта IFC для обмена информационными моделями в России // Актуальные вопросы строительства: взгляд в будущее: сборник научных статей по материалам Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 40-летию создания Инженерно-строительного института. Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2022. С. 277–281.

3. Райкин Л.И., Райкин И.Л., Мерзляков И.Н., Об эффективности обмена информацией между САПР // Universum: технические науки. 2014. № 2 (3). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ob-effektivnosti-obmena-informatsiey-mezhdu-saprg> (дата обращения: 07.05.2024).

## **OPTIMIZATION OF THE PROCESS OF CREATION OF DESIGN DIAGRAM BASED ON ARCHITECTURAL MODEL DATA**

**T.R. Barkaya, A.V. Gavrilenko, V.A. Tomashova,  
L.S. Chernokozheva, I.A. Smirnov**

***Abstract.** This article examines the possibility of optimizing technical operations in the design process of buildings and structures through data exchange between various applications. The article focuses on the key processes of preparing an analytical model for export between software products that differ in functionality and manufacturer.*

***Keywords:** CAD, design, automation, design diagram, architectural model, analytical model, modeling, BIM, IFC.*

Об авторах:

БАРКАЯ Темур Рауфович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой конструкций и сооружений, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: btrs@list.ru

ГАВРИЛЕНКО Алексей Владимирович – старший преподаватель кафедры конструкций и сооружений, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: GavrilenkoAV@tstu.tver.ru

ТОМАШОВА Виктория Андреевна – магистрант кафедры конструкций и сооружений, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: tomashova3@gmail.com

ЧЕРНОКОЖЕВА Любовь Сергеевна – магистрант кафедры конструкций и сооружений, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: Luba-99-Tcher-8790@mail.ru

СМИРНОВ Иван Александрович – студент, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: tradi02@mail.ru

About the authors:

BARKAYA Temur Raufovich – Candidate of Technical Sciences, Associated Professor, Head of the Department of Constructions and Structures, Tver State Technical University, Tver. E-mail: btrs@list.ru

GAVRILENKO Alexey Vladimirovich – Senior Teacher of the Department of Constructions and Structures, Tver State Technical University, Tver. E-mail: GavrilenkoAV@tstu.tver.ru

TOMASHOVA Viktoria Andreevna – Master's Student of the Department of Constructions and Facilities, Tver State Technical University, Tver. E-mail: tomashova3@gmail.com

CHERNOKOZHEVA Lyubov Sergeevna – Master's Student of the Department of Constructions and Facilities, Tver State Technical University, Tver. E-mail: Luba-99-Tcher-8790@mail.ru

SMIRNOV Ivan Alexandrovich – Student, Tver State Technical University, Tver. E-mail: tradi02@mail.ru

**УДК 691.587**

## **СПОСОБЫ УХОДА ЗА БЕТОНАМИ ПРИ ТВЕРДЕНИИ В ЕСТЕСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ**

**Н.А. Белов, Т.Б. Новиченкова, М.А. Смирнов, Ю.Ю. Курятников**

© Белов Н.А., Новиченкова Т.Б., Смирнов М.А.,  
Курятников Ю.Ю., 2024

*Аннотация. В статье рассмотрен вопрос о способах ухода за бетонами при твердении в естественных условиях в разные времена года. Описаны методы выдерживания свежесуложенного бетона с применением различных защитных покрытий, оборудований, проведением мероприятий, основным назначением которых является создание благоприятных*

*температурно-влажностных условий для твердения бетона и нарастания его прочности, а также получение качественных и долговечных в эксплуатации бетонных изделий и конструкций.*

***Ключевые слова:** уход, свежесуложенный бетон, уход за бетоном, поливка бетона, периодическое увлажнение, срок службы, трещины, надежность, прочность, влажность, температура.*

## **Введение**

На сегодняшний день строительство – одна из самых динамично развивающихся отраслей отечественной промышленности. Наиболее распространенным конструктивом современных зданий и сооружений являются сооружения и изделия из бетона. Такие изделия в любое время года нуждаются в уходе [1]. Правильный и своевременный уход за свежесуложенным бетоном – необходимое мероприятие для получения долговечных конструкций с заданными показателями. Несмотря на то, что уход – один из основных этапов в изготовлении конструкций, на практике им зачастую пренебрегают либо выполняют недолжным образом. Это связано, во-первых, с необходимостью дополнительных затрат (использованием специальных составов, поддержанием в насыщенном состоянии влагоемких материалов, укладываемых на поверхность бетона, и т.д.) [2, 3]. Очевидно, что застройщики стремятся минимизировать издержки. Вторая причина кроется в том, что последствия недостаточного ухода выявляются не сразу, а зачастую уже во время эксплуатации сооружения либо конструкции.

Под уходом за свежесуложенным бетоном понимаются мероприятия по созданию оптимальных температурно-влажностных условий для протекания реакции гидратации и структурообразования до достижения критической прочности, после чего отсутствие какого-либо ухода не сказывается пагубно на свойствах бетона [4].

Вопрос об уходе за бетоном на сегодняшний день является актуальным. Бетон с правильным уходом в течение 28 суток, т.е. на всем протяжении набора прочности, будет иметь более высокие показатели по сравнению с бетоном, надлежащий уход за которым не производится.

Цель работы – изучение способов ухода за бетоном при твердении в естественных условиях.

## **Способы ухода за бетоном при твердении в естественных условиях**

Под естественными условиями принято принимать различные температурные показатели и погодные факторы, такие как сухая знойная погода в летнее время года, морозный день в зимнее время, дождливый день в весенне-осенний период.

Каждый из этих факторов предполагает свои методы по уходу за свежесуложенным бетоном. Далее разберем методы, применяемые в зависимости от периода года.

### *Зимний период*

Особенности погодных условий России оказывают значительное влияние на проведение строительных работ в холодное время года. В соответствии с СП 131.13330.2012 продолжительность зимнего периода, характеризующегося отрицательными и знакопеременными температурами окружающей среды, для климатических условий Урала и Поволжья составляет не менее 5–6 месяцев [1].

При проведении бетонных работ в зимнее время необходимо создать условия для набора бетоном требуемой (критической) прочности, так как для набора 100%-й проектной прочности требуются значительные энергозатраты. В случае замерзания бетона до приобретения им минимально требуемой прочности после оттаивания 100%-й набор марочной прочности становится недостижимым. Это объясняется тем, что свежесуложенная бетонная смесь содержит не связанную в процессе гидратации портландцемента воду, которая в случае замерзания расширяется и разрывает связи между заполнителем и слабо затвердевшим цементным камнем. Кроме того, из-за раннего замораживания снижается величина сцепления бетона с арматурой [1, 4].

Существует множество российских и зарубежных исследований на тему зимнего бетонирования. Отметим, что вклад отечественных ученых в изучение данной тематики более значителен. Однако, несмотря на наличие большого количества исследований по данной тематике, многие вопросы на практике по-прежнему остаются нерешенными.

Нормативные документы, регламентирующие технологию выполнения бетонных конструкций в зимних условиях, рекомендуют осуществлять выбор способа прогрева бетона в монолитных конструкциях в зависимости от их конструктивных особенностей и модуля поверхности охлаждения, который определяется как отношение площади конструкции, подвергаемой охлаждению, к общему объему бетонирования [5, 10].

Нормативные документы описывают следующие способы по уходу за бетоном в зимнее время года [5]:

- электродный метод,
- метод с греющей опалубкой,
- применение термоматов.

Все эти методы являются энергозатратными и недостаточно эффективными, но существуют и универсальные способы, например использование греющего кабеля [4].

Если в зимнее время года при проведении бетонных работ температура воздуха держится ниже нуля, в процессе приготовления бетонной смеси следует применять противоморозные добавки, а после ее

укладки поддерживать положительную температуру путем прогрева бетона тепловыми пушками, электропрогрева, укрывания бетона теплоудерживающими материалами и т.п. [6].

#### ***Весенне-осенний период***

В весенне-осенний период необходимо проводить методы по уходу за бетоном по правилам зимнего бетонирования, так как ночная температура близка к нулю или имеет минусовые значения.

Подогрев свежесуложенного бетона в опалубках, введение противоморозных добавок, использование тепломатов позволяют поддерживать положительную температуру (выше 15 °С) согласно СП 70.13330.2012 [3, 6, 7].

#### ***Летний период***

В летнее время года бетонные изделия применяются во всех сферах строительства и промышленности. Летом в знойных и сухих областях уход за бетоном должен осуществляться в установленные сроки, так как при температуре воздуха более 40 °С температура самого бетона может быть выше 100 °С. В таких условиях происходит испарение влаги с незащищенной поверхности свежесуложенного бетона, что приводит к образованию усадочных трещин и направленных капилляров, резко уменьшающих долговечность бетона [8, 9].

Из-за повышенных температур уход за бетоном в сухом жарком климате ограничивается созданием благоприятных влажностных условий. Продолжительность влажностного ухода зависит от температуры среды и составляет 3–7 дней. По классификации RILEM такой наружный уход разделяется на водный и безводный [9].

Водный уход предполагает создание барьера для испарения внутренней влаги бетона путем устройства на его поверхности водных запруд, водораспыления, использования водонасыщенных материалов и т.д. При своевременном и правильном использовании данного метода распыляемая вода не проникает внутрь бетона, она лишь служит защитным экраном для воды, находящейся в капиллярном пространстве бетона. Однако, как показывает опыт большинства стройплощадок, на практике распыление воды и создание запруд носит эпизодический характер, в связи с чем эффективность данного метода ограничена.

Безводный уход включает в себя применение специальных материалов (мембран, пленок, пленкообразующих материалов и т.д.), которые создают непроницаемый барьер между окружающей средой и поверхностью бетона, удерживая влагу в его теле. Несмотря на развитие теории и практики высокофункциональных бетонов с водосодержанием, близким к стехиометрическим значениям, водоцементное отношение большинства укладываемых бетонов выше 0,40, а следовательно, количество влаги в бетоне более чем достаточное для гидратации цемента.

Основной функцией безводного ухода за бетоном является удержание данной влаги в течение максимально долгого времени.

Уход после того, как прочность бетона достигнет 0,5 МПа, заключается в обеспечении влажности поверхности. В этом случае используются такие методы, как нанесение влажного герметика, увлажнение, распыление воды на открытые поверхности бетона.

Для того чтобы избежать негативного воздействия на монолитные конструкции солнечных лучей и возникновения напряжений от высокой температуры, необходимо покрыть свежешелюженный бетон саморазрушающейся пеной, тепло- и влагоизолирующими герметиками, полимерной пленкой с коэффициентом отражения более 50 %, или использовать любой другой теплоизоляционный материал.

В сухую и жаркую погоду текущий контроль качества бетонного покрытия включает в себя постоянное измерение температуры бетонной смеси при выходе с завода и укладке [8, 10].

Уход за бетонной смесью после заливки имеет цель создать близкие к идеальным управляемые условия гидратации раствора в объеме по влажности и температурному режиму независимо от погодных условий и времени года [2].

Гидротехнический бетон используется, например, на гидромелиоративных сооружениях на мелиоративных системах. В теплый период года на данных сооружениях свежешелюженный бетон подвергается воздействию ряда неблагоприятных факторов, которые ухудшают его физико-механические свойства, поэтому важно осуществлять уход за гидротехническим бетоном. Разработанные способы ухода можно разделить на две группы: приклеивание пленки только к прилегающей поверхности уложенной бетонной смеси и приклеивание пленки к уложенному бетону, который уже начал затвердевать, и к прилегающей к нему поверхности. Данные способы позволяют обеспечить достижение бетоном физико-механических требуемых показателей в проектные сроки, которые закладываются при изготовлении смеси [11].

Летнее время – основной период года, когда укладывают асфальтобетон и цементобетон на дорогах в центральной части России. Для того чтобы данные бетоны прослужили заявленный срок годности, они нуждаются в уходе.

К одному из наиболее перспективных методов ухода за дорожным бетоном в летний период можно отнести обработку поверхности бетонного покрытия пленкообразующими жидкостями. Главные преимущества этого метода заключаются в возможности механизировать процесс нанесения жидкости, подбирать композиции с заданными теплоотражающими свойствами, одновременно осуществлять пропитку поверхностного слоя бетона, а также снижать затраты.

Установлено, что уход за дорожным бетоном с применением полимерных пленок, пен, полимеризующихся и гидрофобных композиций с соблюдением технологии выдерживания позволяет получить долговечное бетонное дорожное покрытие. Причем наиболее перспективным направлением является одновременное проведение ухода за бетоном и пропитка его поверхности гидрофобными и полимеризующимися жидкостями [10, 11]. Показатели прочности бетона при различных температурах твердения и своевременном увлажнении приведены в таблице.

Набор прочности бетона при различных температурах твердения и своевременном увлажнении [3]

Бетон	Срок твердения, суток	Среднесуточная температура бетона, °С					
		-3	0	+5	+10	+20	+30
		Прочность бетона на сжатие, % от 28-суточной					
М200–М300 на порт- ландцементе М-400, М-500	1	3	5	9	12	23	35
	2	6	12	19	25	40	55
	3	8	18	27	37	50	65
	5	12	28	38	50	65	80
	7	15	35	48	58	75	90
	14	20	50	62	72	90	100
	28	25	65	77	85	100	–

### Заключение

Уход за бетоном – важная часть строительства с применением бетона. Соблюдение правил ухода помогает обеспечить требуемую прочность поверхности бетонных конструкций. Правильно произведенный уход способствует быстрому росту прочности, быстрому достижению разопалубочной прочности конструкций, что ускоряет производство работ. Правила ухода обязательно должны быть прописаны в паспорте производимых работ.

Итак, основные мероприятия по уходу за бетоном после его укладки включают:

- устройство влажных укрытий – равномерное распределение теплой воды;
- увлажнение деревянной опалубки;
- смазку опалубки водонепроницаемыми средствами;
- защиту стальной опалубки от прямого солнечного излучения;
- укрытие синтетическими пленками;
- нанесение образующих защитную пленку средств ухода;
- соблюдение сроков распалубки бетона;

прогрев бетона до рабочей температуры, утепление и использование противоморозных добавок в зимнее время.

Осуществляя в полном объеме мероприятия по уходу за бетоном после его укладки, следует избегать:

досрочного высыхания, прежде всего за счет попадания прямого солнечного света, ветра;

большого перепада температур в толще бетона;

вымывания цементного клея водой;

сотрясений и ударов.

### **Библиографический список**

1. Леонтьев С.В., Авдеев П.П., Грибков Г.В. Проблемы зимнего бетонирования и пути их решения // Инженерный вестник Дона. 2022. № 1. С. 1–4.

2. Давиденко А.Ю., Арчакова В.А. Уход за бетоном, необходимые мероприятия и правила их осуществления в экстремальных условиях // Проектирование и строительство: сборник научных трудов 4-й Международной научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов, магистров и бакалавров / отв. ред. С.В. Дубраков. Курск: Юго-Западный государственный университет, 2020. С. 93–96.

3. Добщиц Л.М. Пути повышения долговечности бетонов // Строительные материалы. 2017. № 10. С. 4–9.

4. Соловьяничик А.Р., Гинзбург А.В., Пуляев И.С. Обеспечение повышенных требований к уходу за твердеющим бетоном при возведении конструкций транспортных сооружений // Вестник МГСУ. 2016. № 10. С. 156–165.

5. Золотухин С.Н., Горюшкин А.Н. Бетонирование при отрицательных температурах // Научный вестник ВГАСУ. Серия «Высокие технологии. Экология». 2017. № 1. С. 81–85.

6. Осипов А.М. Бетонирование при низких температурах // Инженерный вестник Дона. 2016. № 4. С. 1–3.

7. Шулдяков К.В., Трофимов Б.Я., Крамар Л.Я. Структурный фактор долговечности бетона // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». 2020. Т. 20. № 1. С. 46–51.

8. Муминов К.О., Тухтаев М.Б., Исаев Ж.А. Особенности выполнения бетонных работ при высоких температурах // Экономика и социум. 2022. № 6 (97)-1. С. 736–738.

9. Ризаев Б.Ш., Мамадалиев А.Т., Умаров И.И. Деформации усадки бетона в условиях сухого жаркого климата // Экономика и социум. 2022. № 1 (92)-2. С. 455–462.

10. Руденко Н.Н., Доронина В.О. Особенности ухода за дорожным цементобетоном в летний период строительства // Наука и прогресс

транспорта // Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта. 2016. С. 1–4.

11. Дубяго Д.С., Новиков А.Е., Мажайский Ю.А. Повышение качества проводимых бетонных работ при ремонте и восстановлении конструкций гидротехнических сооружений на мелиоративных системах // Известия НВ АУК. 2022. № 4 (68). С. 561–568.

## METHODS OF CARE FOR CONCRETE DURING HARDENING IN NATURAL CONDITIONS

**N.A. Belov, T.B. Novichenkova, M.A. Smirnov,  
Yu.Yu. Kuryatnikov**

***Abstract.** The article considers the issue of how to care for concrete when hardening in natural conditions at different times of the year. The methods of maintaining freshly laid concrete with the use of various protective coatings, equipment, and measures are described, the main purpose of which is to create favorable temperature and humidity conditions for concrete hardening and increasing its strength, as well as to obtain high-quality and durable concrete products and structures.*

***Keywords:** care, freshly laid concrete, concrete care, concrete watering, periodic humidification, service life, cracks, reliability, strength, humidity, temperature.*

Об авторах:

БЕЛОВ Никита Александрович – студент кафедры производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: nikitka-belov-2001@bk.ru

НОВИЧЕНКОВА Татьяна Борисовна – кандидат технических наук, доцент кафедры производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: tanovi.69@mail.ru

СМИРНОВ Матвей Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: matiu.sm@yandex.ru

КУРЯТНИКОВ Юрий Юрьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: yuriy-@yandex.ru

About the authors:

BELOV Nikita Alexandrovich – Student of the Department of Production of Building Materials and Structures, Tver State Technical University, Tver. E-mail: nikitka-belov-2001@bk.ru

KURYATNIKOV Yury Yuryevich – Candidate of Technical Sciences, Docent, Associate Professor of the Department of Production of Building Materials and Structures, Tver State Technical University, Tver. E-mail: yuriy-k@yandex.ru

NOVICHENKOVA Tatiana Borisovna – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Building Products and Structures Production, Tver State Technical University, Tver. E-mail: tanovi.69@mail.ru

SMIRNOV Matvey Alexandrovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Building Products and Structures Production, Tver State Technical University, Tver. E-mail: matiu.sm@yandex.ru

**УДК 691.587**

## **ВЫСОКОПРОЧНЫЙ КЕРАМЗИТОБЕТОН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЗОЛЫ-УНОСА**

**М.Д. Иванов, М.А. Смирнов, В.И. Трофимов, В.В. Белов**

© Иванов М.Д., Смирнов М.А.,  
Трофимов В.И., Белов В.В., 2024

***Аннотация.** В статье проанализировано влияние золы-уноса на физические, механические свойства, теплопроводность керамзитобетона. Рассмотрены методики по подбору состава для высокопрочного керамзитобетона.*

***Ключевые слова:** керамзитобетон, зола-уноса, высокопрочный керамзитобетон, состав, прочность, теплопроводность, суперплатификатор, легкий бетон, добавки.*

### **Введение**

Один из основных методов выработки электроэнергии в России – сжигание твердого топлива (угля, сланца, торфа). Согласно данным 2020 г., на угольных ТЭС ежегодно образуется более 22 млн т золошлаковых отходов, в то время как уровень их потребления составляет менее 4 % . Это говорит о низком объеме утилизации отходов сжигания

твердого топлива, что является значимым вопросом в области экономии ресурсов. Остро стоящая на сегодняшний день проблема загрязнения окружающей среды и рационального природопользования может быть решена переработкой золошлаковых отходов.

Зола-уноса – несгораемый остаток минерального происхождения, который представляет собой мелкодисперсный порошок с размером частиц мельче 0,16 мм. Его можно задействовать во многих отраслях промышленности. В зависимости от различных факторов и присущих ей свойств, зола-уноса может использоваться в строительстве как добавка к цементу, бетону, вяжущим и теплоизоляционным материалам [1].

Керамзит – довольно прочный и легкий строительный материал, который обладает особой пористой структурой и производится способом обжига качественной легкоплавкой глины. Для изготовления изделий из такого материала применяется песок, вода и портландцемент. Изделия из керамзитобетона имеют высокие показатели прочности и низкую теплопроводность (табл. 1) [2]. При добавлении в керамзитобетон мелкодисперсной золы-уноса можно уменьшить расход цемента, а также улучшить многие механические и физические показатели бетона и бетонной смеси.

#### **Повышение прочности керамзитобетона**

Легкий бетон на пористых заполнителях представляет собой универсальный строительный материал, позволяющий при его рациональном использовании решать как актуальные задачи современного строительства, так и проблемы экологии и ресурсосбережения за счет утилизации технологических и техногенных отходов при изготовлении крупных и мелких пористых заполнителей [3].

На современном этапе основные усилия исследователей в области технологии бетонов направлены на повышение их прочности и долговечности. Однако не менее важным направлением развития является снижение материалоемкости и массы бетонных изделий и конструкций при сохранении их прочностных и эксплуатационных свойств, что в свою очередь позволяет повысить эффективность бетонов и, как следствие, строительства в целом.

Материалом, в полной мере удовлетворяющим всем вышеперечисленным требованиям, является конструкционный легкий бетон. Он обладает комплексом свойств, которые позволяют применять его в различных областях строительства – от жилищно-гражданского до дорожного, мостового и т.п. [4].

В работах [4, 5] анализируется влияние минеральных добавок на основные механические и физические свойства (табл. 1–6) легкого конструкционного бетона и повышение эксплуатационных свойств керамзитобетона класса В15.

Таблица 1

Характеристики контрольного состава керамзитобетона [4]

Показатель	Единица измерения	Величина
Расход материалов на 1 м <sup>3</sup> бетонной смеси		
Цемент	кг	322
Песок	кг	871
Керамзит	кг	345
Вода	л	235
Физико-механические характеристики		
Прочность при сжатии после тепловой обработки	МПа	13,8
Плотность после тепловой обработки	кг/м <sup>3</sup>	1 693
Прочность при сжатии в возрасте 28 сут	МПа	19,5
Плотность в сухом состоянии	кг/м <sup>3</sup>	1 590

Таблица 2

Характеристики составов керамзитобетона с микрокремнеземом [4]

Показатель	Единица измерения	Величина			
		Состав 1-1	Состав 1-2	Состав 1-3	Состав 1-4
Расход материалов на 1 м <sup>3</sup> бетонной смеси					
Цемент	кг	322	322	322	322
Песок	кг	882	880	884	884
Керамзит	кг	350	349	350	349
Вода	л	153	152	151	151
Дозировка микрокремнезема	%	5	10	15	20
Добавка микрокремнезема	кг	16	32	48	64
Добавка суперпластификатора	кг	17,84	18,61	19,52	20,38
Физико-механические характеристики					
Прочность при сжатии после тепловой обработки	МПа	20,2	22,5	24,9	27,1
Плотность после тепловой обработки	кг/м <sup>3</sup>	1 702	1 714	1 725	1 739
Прочность при сжатии в возрасте 28 сут	МПа	28,9	32,2	35,6	38,7
Плотность бетона в сухом состоянии	кг/м <sup>3</sup>	1 606	1 617	1 628	1 642

Таблица 3

Характеристики составов керамзитобетона  
с высокоактивным метакаолином [4]

Показатель	Единица измерения	Величина состава			
		2-1	2-2	2-3	2-4
Расход материалов на 1 м <sup>3</sup> бетонной смеси					
Цемент	кг	322	321	323	322
Песок	кг	880	879	883	881
Керамзит	кг	349	348	350	349
Вода	л	186	186	187	187
Дозировка микрокремнезема	%	5	10	15	20
Добавка микрокремнезема	кг	16	32	48	64
Добавка суперпластификатора	кг	5,63	5,89	6,1	6,36
Физико-механические характеристики					
Прочность при сжатии после тепловой обработки	МПа	18,9	21,3	24,5	28,5
Плотность после тепловой обработки	кг/м <sup>3</sup>	1 707	1 722	1 735	1 749
Прочность при сжатии в возрасте 28 сут	МПа	27,0	30,5	35,2	40,7
Плотность в сухом состоянии	кг/м <sup>3</sup>	1 610	1 624	1 637	1 650

Таблица 4

Характеристики составов керамзитобетона  
в зависимости от количества добавки “MasterPolyNeed 3040” [5]

Показатель	Номер состава						
	1-1	1-2	1-3	1-4	1-5	1-6	1-7
Расход воды, л	153	149	145	142	139	135	132
Расход добавки, %	0,3	0,55	0,85	1,15	1,4	1,7	2,0
Прочность после ТВО, МПа	15,4	15,8	18,1	19,5	20,5	22,0	23,4
Прочность в возрасте 28 сут, МПа	22,0	24,0	25,8	27,9	29,3	31,4	33,5
Плотность бетонной смеси, кг/м <sup>3</sup>	1 702	1 704	1 707	1 709	1 712	1 714	1 716
Плотность в сухом состоянии, кг/м <sup>3</sup>	1 597	1 601	1 605	1 610	1 613	1 616	1 620

Таблица 5

Характеристики составов керамзитобетона  
в зависимости от количества добавки «Полипласт СП-1» [5]

Показатель	Номер состава						
	1-1	1-2	1-3	1-4	1-5	1-6	1-7
Расход воды, л	175	176	176	175	175	175	175
Расход добавки, %	0,35	0,43	0,51	0,58	0,65	0,72	0,80
Прочность после ТВО, МПа	16,1	17,8	19,4	20,9	22,6	24,2	25,6
Прочность в возрасте 28 сут, МПа	23,1	25,4	27,8	29,9	32,2	34,6	36,7
Плотность бетонной смеси, кг/м <sup>3</sup>	1 718	1 725	1 728	1 725	1 725	1 727	1 738
Плотность бетона в сухом состоянии, кг/м <sup>3</sup>	1 601	1 605	1 610	1 613	1 617	1 621	1 624

Таблица 6

Характеристики составов керамзитобетона  
в зависимости от количества добавки «Muraplast FK 49» [5]

Показатель	Номер состава						
	1-1	1-2	1-3	1-4	1-5	1-6	1-7
Расход воды, л	187	186	186	184	183	182	181
Расход добавки, %	0,2	0,5	0,8	1,1	1,4	1,7	2,0
Прочность после тепловлажностной обработки, МПа	16,0	16,9	17,7	18,2	18,7	19,1	19,4
Прочность в возрасте 28 сут, МПа	22,9	24,0	25,1	26,0	26,8	27,5	28,3
Плотность бетонной смеси, кг/м <sup>3</sup>	1 728	1 731	1 736	1 738	1 740	1 748	1 750
Плотность в сухом состоянии, кг/м <sup>3</sup>	1 600	1 602	1 604	1 606	1 608	1 609	1 612

Из приведенных в табл. 4–6 данных наибольший интерес представляет зависимость прочности от дозировки мелкодисперсных добавок.

В работе [5] проведены исследования влияния различных добавок суперпластификаторов на изменение свойств керамзитобетонных смесей и керамзитобетонов.

Авторами [6] отмечена возможность использования керамзита в качестве звукоизолятора в строительных конструкциях. Сделан вывод о том, что кладка из керамзитобетонных блоков обеспечивает звукоизоляцию между жилыми помещениями. Кроме того, керамзитобетонные блоки класса В5 могут применяться в малоэтажном строительстве, а возведение цоколя одноэтажных домов возможно при использовании керамзитобетонных блоков марок В7,5. Для монолитного строительства расход цемента  $220 \text{ кг/м}^3$  отвечает требованиям по средней плотности и прочности для верхних этажей зданий, расход  $250 \text{ кг/м}^3$  – для нижних этажей, а для наружных стен цоколя рекомендованный расход цемента составляет  $280 \text{ кг/м}^3$  [6].

В работе [7] теплопроводность жаростойкого керамзитобетона определяли по методике ВНИПИ Теплопроекта, а коэффициент линейного температурного расширения (КЛТР) находили при помощи кварцевого емкостного дилатометра на базе института физики ДНЦ РАН (рис. 1).



Рис. 1. Общий вид установки для определения теплопроводности бетона (слева) и установки для определения КЛТР жаростойкого керамзитобетона (справа) [8]

На рис. 2 представлена зависимость коэффициента теплопроводности исследованного жаростойкого керамзитобетона от температуры нагрева (Э и Б – соответственно с предварительным форсированным электроразогревом смеси и без него; 950, 1 250, 1 350, 1 550 – температуры, °С, принимаемые по табл. 5.6 СП 27.13330.2017 [8]).

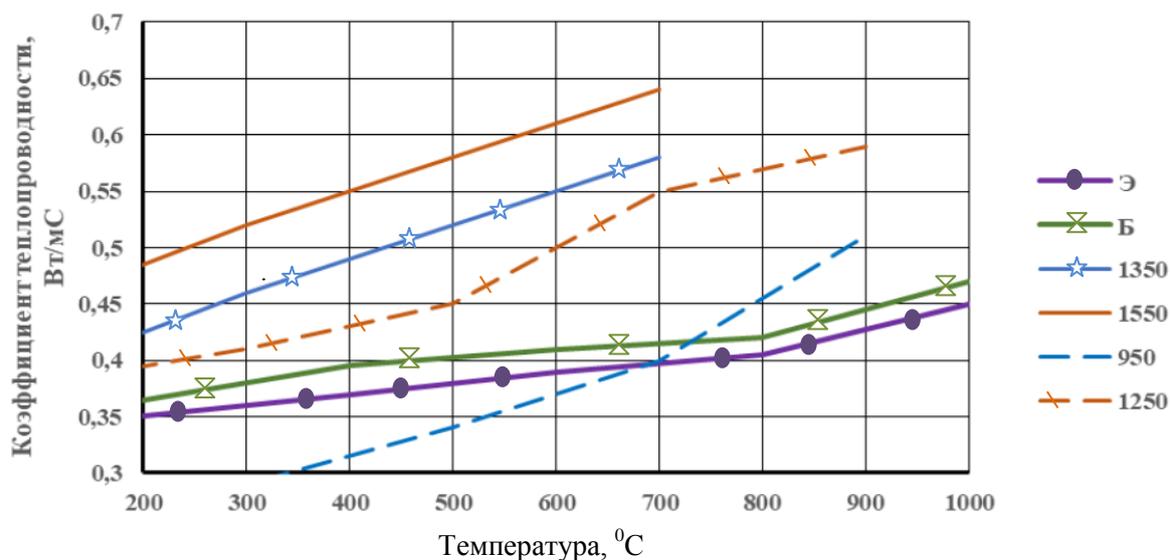


Рис. 2. Зависимость коэффициента теплопроводности жаростойкого керамзитобетона от температуры нагрева

Из представленных на рис. 2 данных очевидно существенное качественное различие закономерности изменения величины коэффициента линейного термического расширения от температуры нагрева исследованного жаростойкого керамзитобетона со средней плотностью  $1\,450 \dots 1\,500 \text{ кг/м}^3$  в сравнении с данными СП 27.13330.2017 для составов № 23, 24 по табл. 5.1. Увеличение теплопроводности исследованных бетонов при повышении температуры до  $1\,000 \text{ }^\circ\text{C}$  составило  $29 \dots 34 \%$ , тогда как для состава № 24 по табл. 5.1 СП 27.13330.2017 при росте температуры до  $900 \text{ }^\circ\text{C}$  повышение составляет  $55 \dots 90 \%$  [7].

Для улучшения характеристик бетонной смеси используют модифицирующие добавки, которые основаны на изменении структуры бетона посредством химического, физического и физико-химического взаимодействия.

Выделяют следующие основные добавки для получения легкого бетона [8]:

поризующие – вещества, способствующие снижению средней плотности благодаря образованию в теле бетона воздушных и других газообразных пор;

воздухововлекающие – поверхностно-активные вещества, способствующие созданию в бетонной смеси микропузырьков размерами  $0,015 \dots 0,030 \text{ мм}$ , которые выполняют роль смазки и облегчают взаимное перемещение заполнителей. К ним относятся древесная смола, клей таловый, омыленный таловый пек, сульфонол;

пенообразующие – поверхностно-активные вещества для получения технической пены определенной консистенции, которая используется в

производстве бетонов ячеистой или поризованной структуры. К таким добавкам относятся «Морпен», «Пеностром», ТЭАС, жидкостекольный и клеенекалевый пенообразователи;

газообразующие – вещества, способствующие возникновению в бетонной смеси замкнутых пор, равномерно распределенных по всему объему раствора. В бетоне образуется до 2 % микропузырьков, чем достигается частичная гидрофобизация внутренней поверхности пор.

В качестве заполнителя в работе [8] предложено использовать керамзит. Материал имеет низкий вес и применяется в производстве крупногабаритных изделий. Керамзитобетон является единственным представителем легких бетонов, не поддающимся усадке. Пропорции сырья для керамзитобетона различной плотности приведены ниже [8]:

Плотность керамзитобетона	Цемент	Керамзит насыпной плотностью			Песок	Вода
	кг	кг/м <sup>3</sup>	кг	м <sup>3</sup>	кг	л
1 000	250	700	720	–	–	140
1 500	430	700	–	0,8	420	
1 600	430	600	–	0,68	680	
1 600	400	700	–	0,72	640	
1 700	410	600	–	0,56	880	
1 700	380	700	–	0,62	830	

Для создания высокопрочных бетонов используются модификаторы, наиболее распространенными являются армирующие (металлическая фибра, базальтовые или полимерные микроволокна) и демпфирующие (добавки на эпоксидной основе, добавки из резины и каучуков) добавки, которые за счет снижения деформаций, развивающихся при эксплуатационных нагрузках, способствуют повышению прочностных свойств бетона (табл. 7) [8].

В работе [9] результаты экспериментальной оценки механического поведения конструкционного керамзитобетона по продольным и поперечным деформациям представлены на диаграмме осевого сжатия с однократной разгрузкой опытных образцов с уровня напряжения  $0,6-0,7 R_{пр}$  (расчетное сопротивление бетона осевому сжатию) с целью определения гистерезиса кривых продольной и поперечной деформаций и работы разрушения опытных образцов по пластической составляющей этих деформаций (рис. 3–5).

На рис. 6–8 приведены графические зависимости поперечных деформаций сравниваемых серий керамзитобетона также с однократной разгрузкой диаграммы сжатия и оценкой деформационных особенностей петли гистерезиса поперечной деформации.

Таблица 7

Вид и расход модифицирующих добавок для получения высокопрочного легкого бетона [8]

Модификатор	Характеристики	Распределение	Расход, % от массы цемента
Фибра полипропиленовая	$l = 12 \text{ мм}$ $d < 30 \text{ мкм}$	В объеме	0,7–1,3
Фибра базальтовая	$l = 12 \text{ мм}$ $d < 30 \text{ мкм}$	В объеме	0,7–1,3
Резиновая крошка	$r < 0,75 \text{ мм}$	В объеме	0,7–1,3
Углеродные нанотрубки	$l < 5 \text{ мкм}$ $d = 15 \text{ нм}$	По поверхности наполнителя	0,004–0,011
Комплексный наноразмерный модификатор “BisNanoActivus”	$r < 0,25 \text{ мм}$	По поверхности наполнителя	0,9–1,7

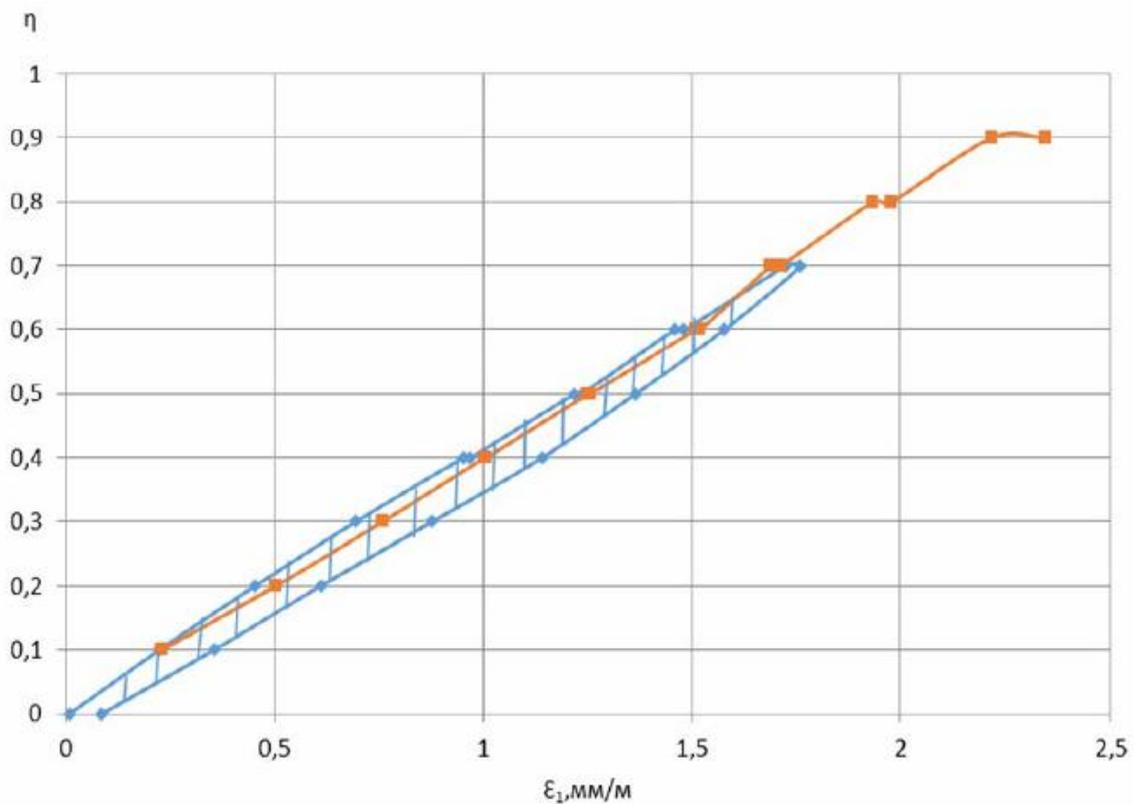


Рис. 3. Продольная деформативность керамзитобетона контрольной серии при осевом сжатии до разрушения:  $R_{пр} = 25 \text{ МПа}$ ;  $\rho = 1463 \text{ кг/м}^3$  [9]

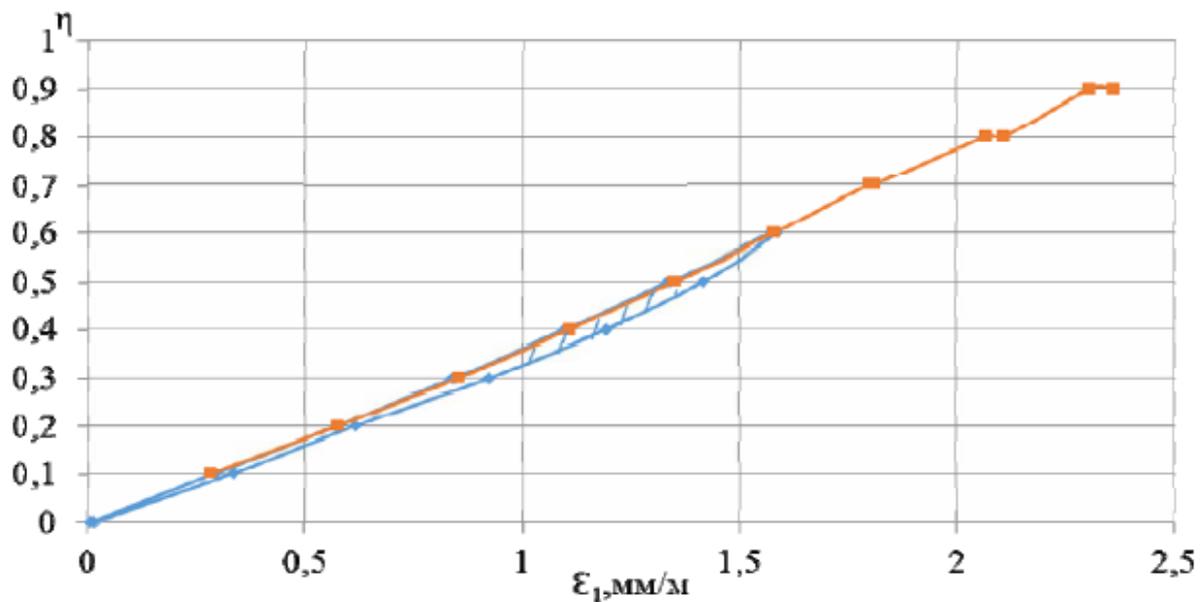


Рис. 4. Продольная деформативность керамзитобетона второй серии, испытанного сразу после разгрузки, на ползучесть:  
 $R_{np} = 26,5$  МПа;  $\rho = 1\,490$  кг/м<sup>3</sup> [9]

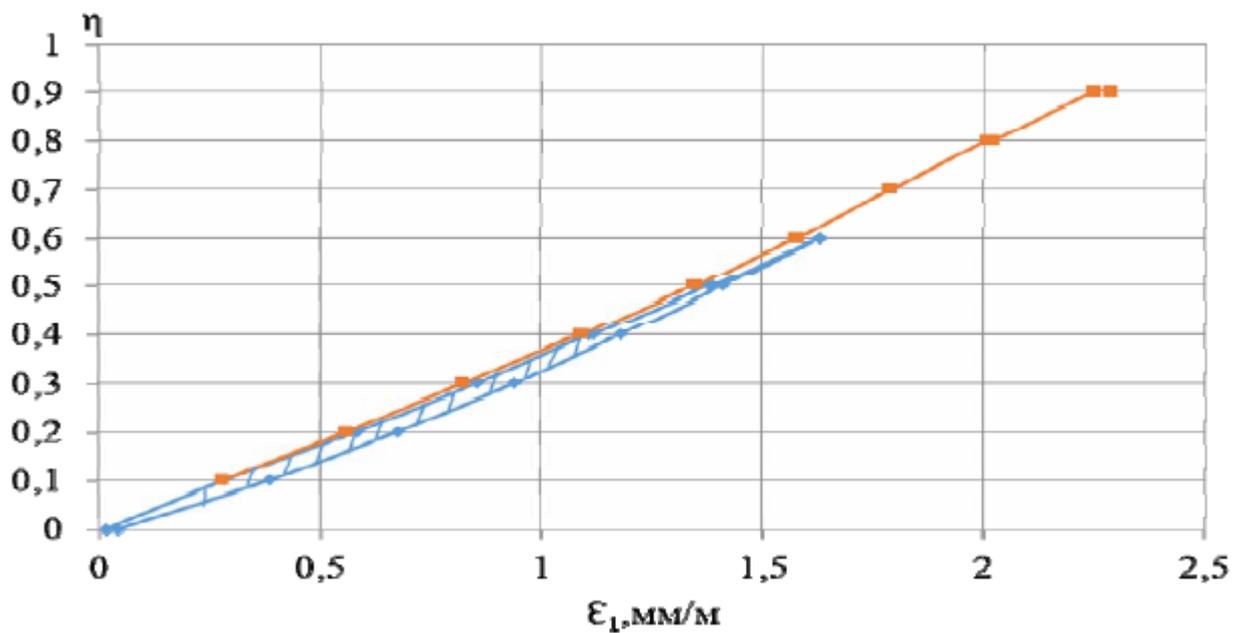


Рис. 5. Продольная деформативность керамзитобетона третьей серии, испытанного на седьмой день после разгрузки, на ползучесть:  
 $R_{np} = 26$  МПа;  $\rho = 1\,490$  кг/м<sup>3</sup> [9]

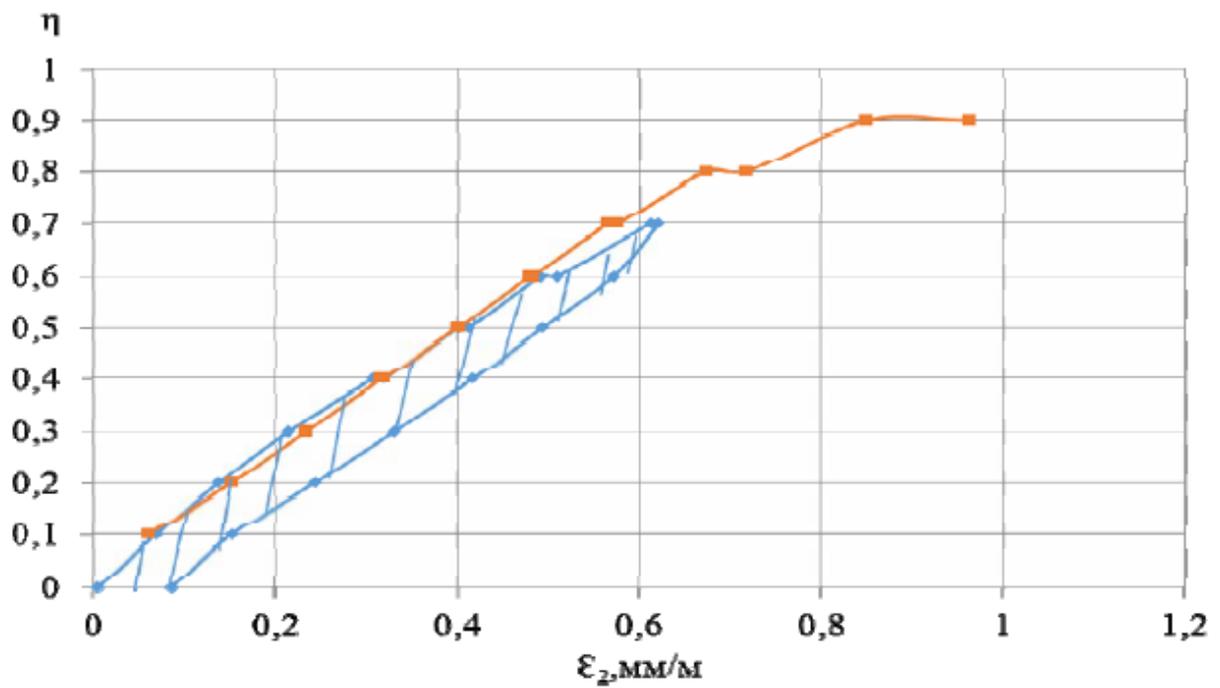


Рис. 6. Поперечная деформативность керамзитобетона контрольной серии при осевом сжатии после усадки:  $R_{пр} = 25$  МПа;  $\rho = 1\,463$  кг/м<sup>3</sup> [9]

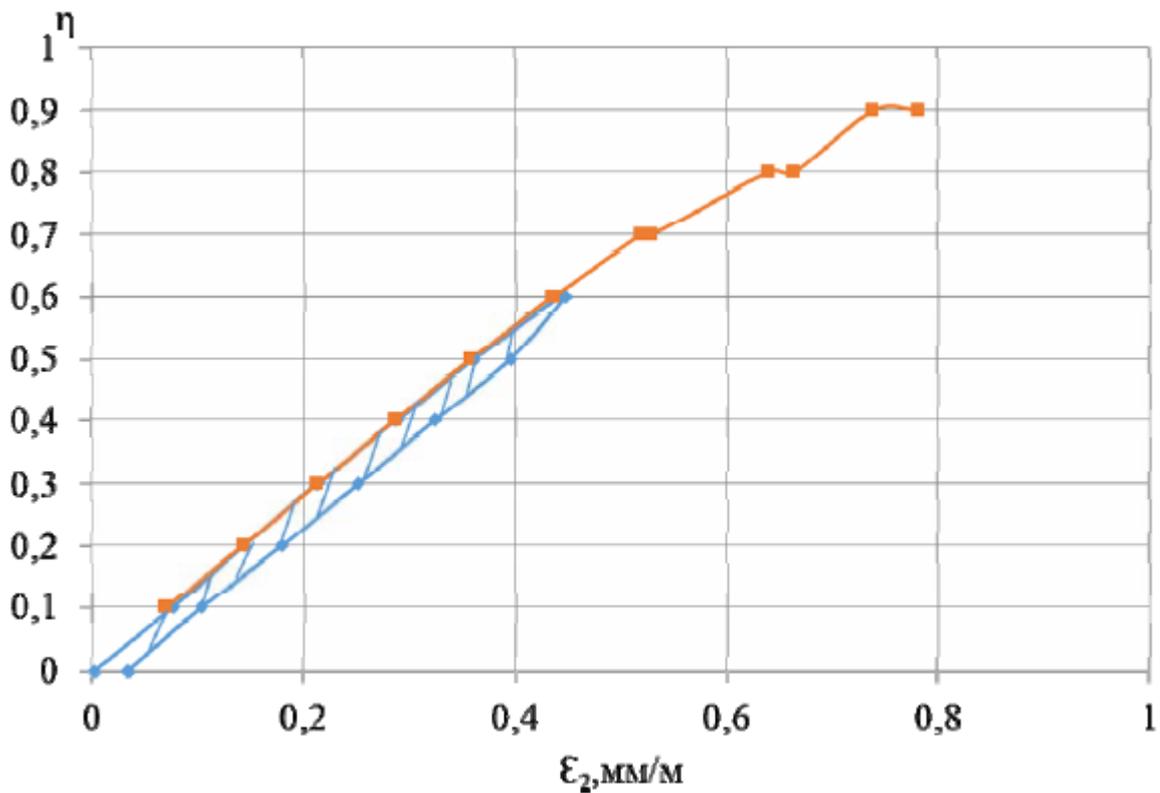


Рис. 7. Поперечная деформативность керамзитобетона второй серии, испытанного сразу после разгрузки, на ползучесть:  $R_{пр} = 26,5$  МПа;  $\rho = 1\,490$  кг/м<sup>3</sup> [9]

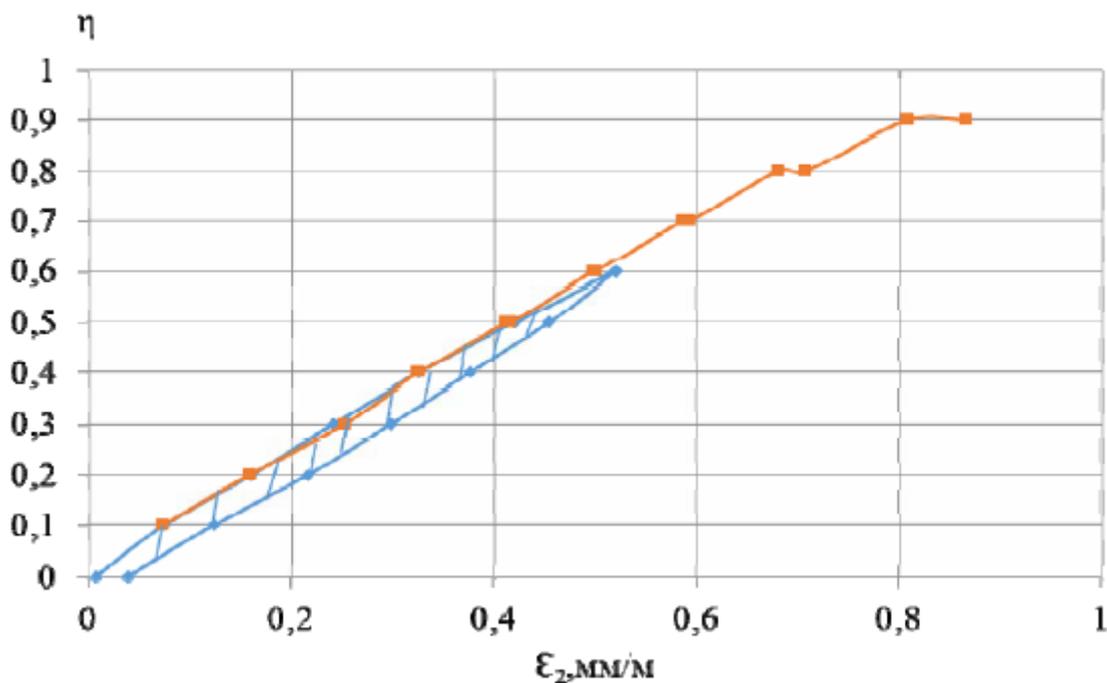


Рис. 8. Поперечная деформативность керамзитобетона третьей серии, испытанного на ползучесть на седьмой день после разгрузки:  
 $R_{np} = 26 \text{ МПа}$ ;  $\rho = 1490 \text{ кг/м}^3$  [9]

Таким образом, проведенные исследования показали специфические деформационные особенности конструкционного керамзитобетона, обусловленные прежде всего наличием двух пористых структур (матричной фазы и пористого заполнителя), взаимодействие и взаимовлияние которых в процессе структурообразования способствует накоплению упругой деформации пористого заполнителя, что приводит к повышению его предельной растяжимости. Задачей технологии является создание оптимального сочетания деформаций компонентов бетона при формировании его структуры. При этом комплексная оценка параметров конструкционной прочности и структурно-системный подход к анализу механического поведения керамзитобетона как композиционного материала позволяет более надежно выявлять синергетические эффекты взаимодействия или взаимовлияния структурных элементов композита и на этой основе устанавливать критерии предельного состояния, обладающие достаточной общностью для применения в современной практике проектирования [9].

#### **Использование золы-уноса в легких бетонах**

На сегодняшний день технологии изготовления современных и высококачественных строительных материалов могут базироваться на использовании многотонных отходов промышленного производства, например металлургических шлаков и золы-уноса ТЭС.

Не стоит забывать и о качестве самой золы, для улучшения которого существует несколько способов и технологий [10]:

- ситовая классификация;
- механический способ (тонкий помол, размер частиц менее 10 мкм);
- флотация (отделение микросфер с поверхности золоотстойников);
- электромагнитная сепарация (удаление ферромагнитных частиц);
- пневматическая сепарация в циклонах;
- электрическая сепарация.

В работе [10] рассмотрена эффективность способа сепарации в высоковольтном электростатическом поле. Исходную навеску золы массой 100 г, предварительно высушенную до постоянной массы, через дозатор по наклонному медному лотку пропустили сквозь электродное пространство электрического сепаратора. Свойства электросепарированной золы-уноса ТЭС [10] представлены ниже:

Показатель	Значение					
	К	І	ІІ	ІІІ	ІV	А
Количество, г / процент от общей навески	23/2,3	22/2,2	103/10,1	397/38,9	374/36,7	123/12,1
Потери при прокаливании, %	0,89	0,87	0,86	0,73	0,54	0,46
Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	1 086	988	1 114	1 142	1 137	1 129
Остаток на сите № 008, %	0,00	1,46	4,62	3,88	1,24	0,00

В работе [11] рассмотрена возможность использования низкокальциевой золы-уноса ТЭС для повышения эксплуатационных характеристик мелкозернистого бетона (табл. 8, 9). Традиционно зола-уноса вводится в бетон в качестве активной мелкодисперсной добавки взамен части цемента. Это обеспечивает повышение прочности, плотности, в некоторых случаях коррозионной стойкости, снижение водонепроницаемости и теплопроводности. Положительное влияние на свойства бетона обусловлено тонкой дисперсностью и гидравлической активностью, присущими золе-уноса. Низкокальциевая зола-уноса, в отличие от высококальциевой, по своим характеристикам, обусловленным минералогическим составом, не удовлетворяет условиям достижения высоких эксплуатационных свойств бетонов, в связи с чем используется в меньшей степени.

Таблица 8

Подбор дозировки гидрофобизатора и количества гранулированного гидрофобизирующего заполнителя (ГГЗ) [11]

Количество, %		Подвижность смеси, см	Прочность на сжатие, МПа	Водопоглощение, %
ГГЗ	Добавка			
10	0,1	7	31,89	4,25
	0,15	7	20,67	3,01
	0,2	8	29,71	2,59
30	0,1	6	18,54	3,85
	0,15	6	32,39	2,81
	0,2	7	35,04	2,4
50	0,1	5	16,82	5,96
	0,15	6	19,78	5,87
	0,2	6	23,47	5,58

Таблица 9

Влияние состава мелкозернистого бетона с ГГЗ на его пористость [11]

Соотношение цемента и песка	Водоцементное соотношение	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Пористость, %		
			Общая	Открытая	Закрытая
1/2	0,4	1 844	23,9	7,1	16,8
1/3		1 648	26,2	8,7	17,5
1/4		1 594	31,4	12,3	16,1
1/3	0,3	1 647	27,5	9,0	18,5
	0,4	1 648	26,2	8,7	17,5
	0,5	1 721	19,1	3,7	15,4

Коррозионная стойкость бетона определяется такими факторами, как проницаемость и химическая стойкость компонентов цементного камня к действию агрессивных сред. Активные минеральные добавки (микрокремнезем, зола-уноса) повышают коррозионную стойкость бетона, так как снижают его проницаемость (физический фактор) и превращают значительную часть растворимого гидроксида кальция в гидросиликаты кальция (химический фактор) [12].

При исследовании коррозионной стойкости бетона с высоким содержанием золы-уноса ТЭС в работе [12] установлено, что коэффициент коррозионной стойкости образцов бетона, в составах которых содержится зола-уноса ТЭС взамен части портландцемента, выше по сравнению с контрольным составом. Электрическая сепарация повышает качество золы-уноса и снижает количество органических остатков (ППП = 4,1 %). При содержании в составе бетона золы, отобранной с анода электрического сепаратора, коррозионная стойкость образцов на 35 % выше по сравнению образцами, в составе которых присутствует зола-

уноса, отобранная с катода или не обработанная в электрическом поле (рис. 9, 10).

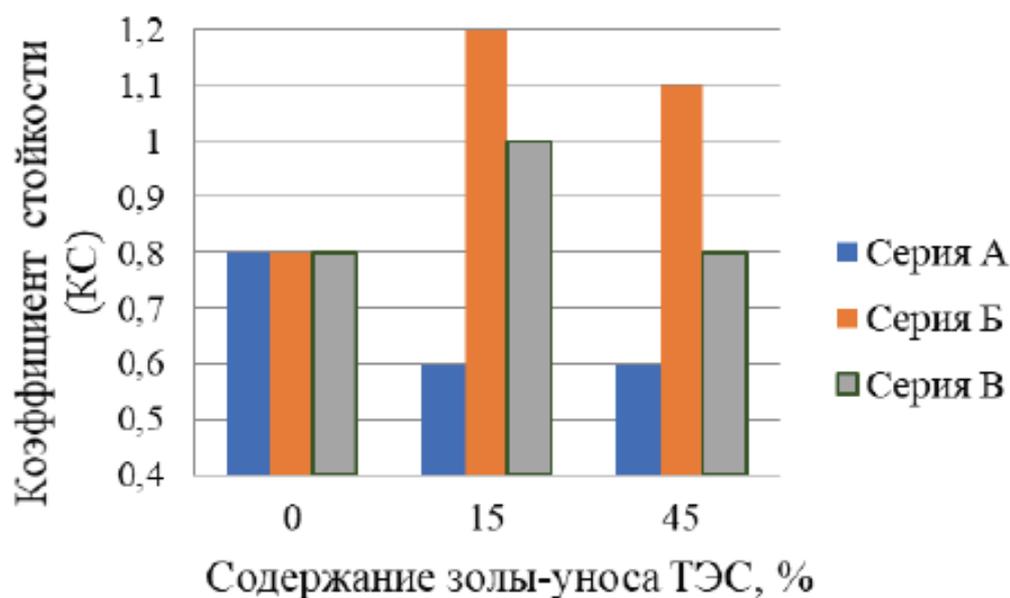


Рис. 9. Зависимость коэффициента коррозионной стойкости бетона от содержания золы-уноса ТЭС в образцах, выдержанных в 0,1N растворе HCl [12]

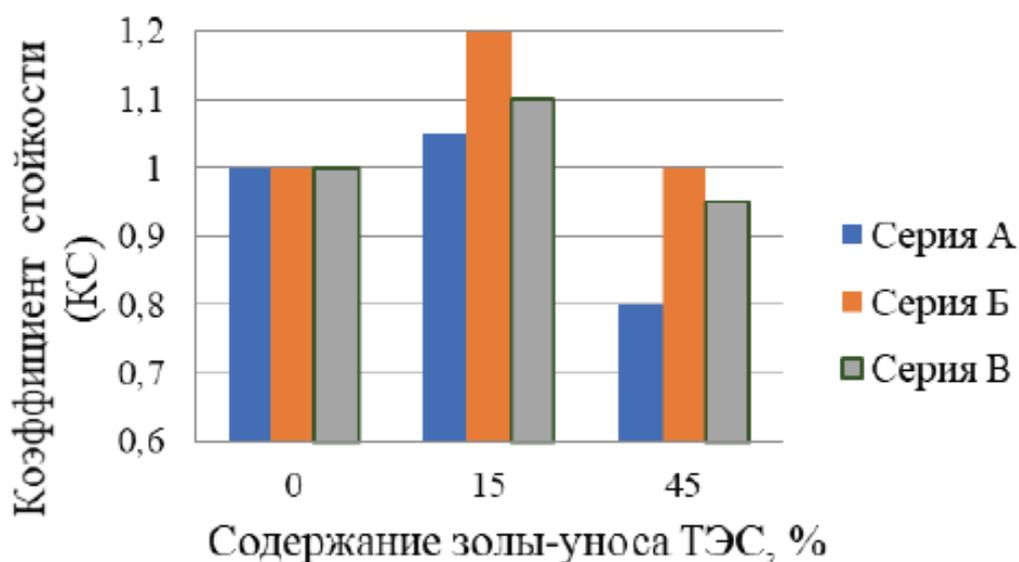


Рис. 10. Зависимость коэффициента коррозионной стойкости бетона от содержания золы-уноса ТЭС в образцах, выдержанных в 5%-м растворе MgCl<sub>2</sub> [12]

Актуальной проблемой является также введение в бетонную смесь суперпластификаторов. С позиции обеспечения эффективности встает проблема совместимости цемента и комплексной добавки. Данная проблема систематически изучается и обсуждается в связи с необходимостью длительного сохранения удобоукладываемости бетонной смеси. Понятие «совместимость» означает взаимное соответствие, способность добавки при взаимодействии с цементом и другими компонентами обеспечивать требуемые свойства бетонной смеси и твердеющего бетона на должном уровне. Совместимость – это основное свойство добавки при изготовлении бетона, количественно оценивать которую еще предстоит научиться [13].

Исследователи в работе [13] рассмотрели самоуплотняющиеся бетоны с применением золы-уноса и комплексных добавок Stachement 2481, Stachement 2280 и «Полипласт СП-4» (рис. 11, 12).

Благодаря введению в бетонную смесь золы, количество новообразований в цементном камне увеличивается, что способствует уплотнению и уменьшению пор в затвердевшем бетоне, а в сочетании с новейшими химическими добавками (суперпластификаторами, воздухововлекающими добавками) зола обеспечивает высокую прочность и долговечность бетона [13].

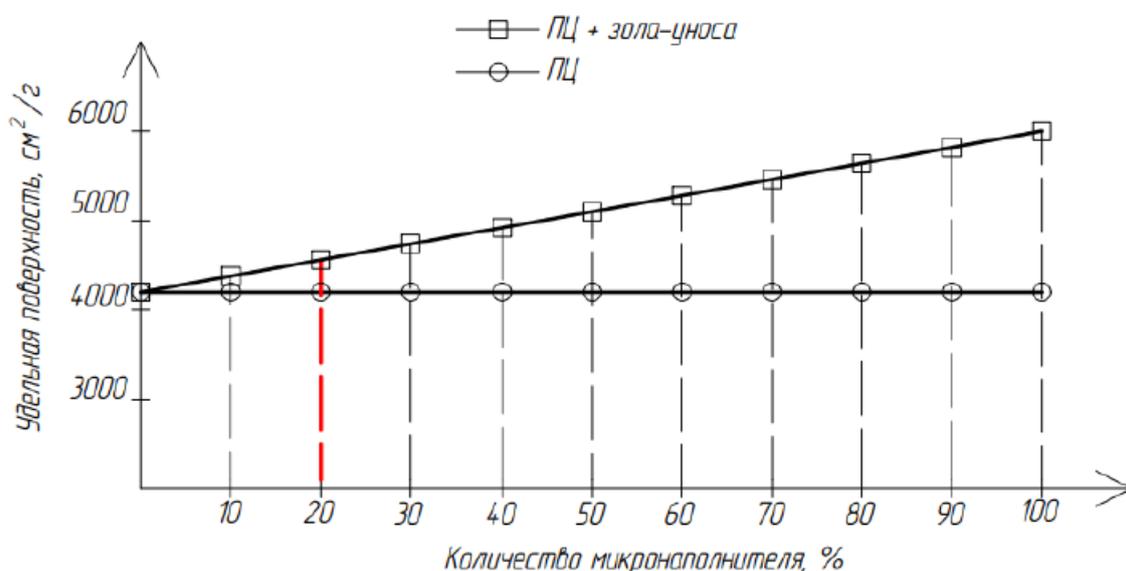


Рис. 11. Изменение расчетной удельной поверхности композиционного вяжущего при введении в портландцемент в качестве микронаполнителя золы-уноса [13]

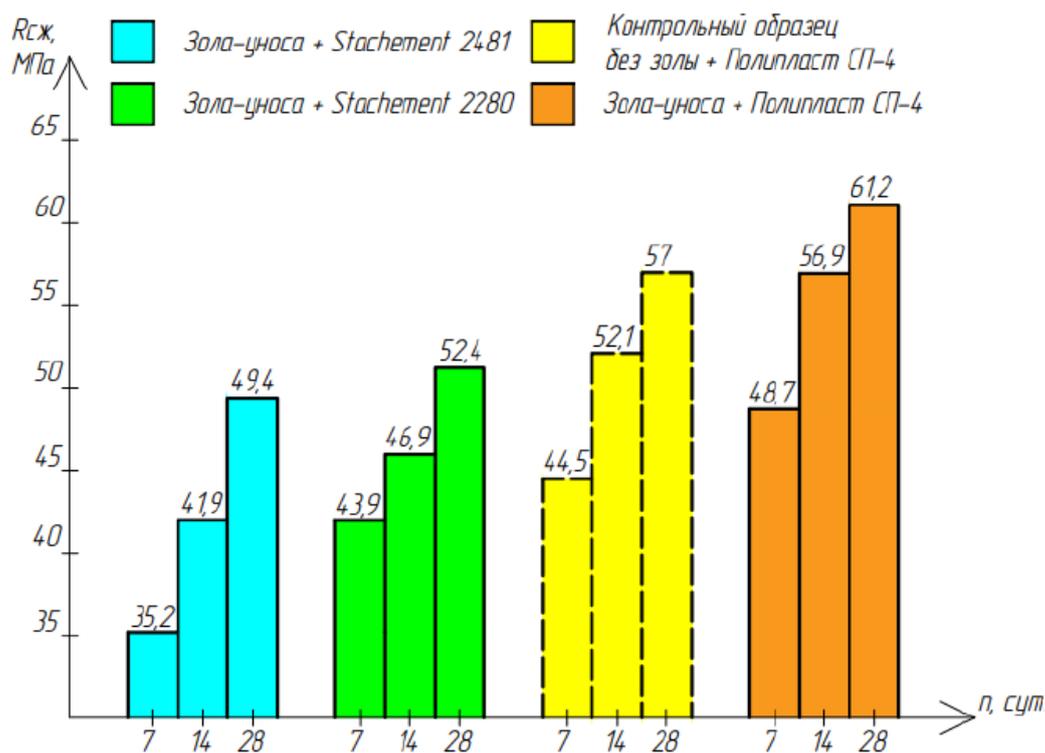


Рис. 12. Прочность образцов бетона на сжатие в возрасте 7, 14 и 28 сут твердения в нормальных условия [13]

В работе [14] исследовалось действие добавки золы-уноса на предел прочности бетона при сжатии. Для работы использовался состав бетона класса В30. Делались замесы контрольного образца и образцов с содержанием золы Костромской ТЭС и Рязанской ГРЭС (табл. 10, 11). В экспериментах 15 % цемента замещалось золой-уноса. Предел прочности бетона при сжатии определялся через 3, 7, 28 сут. Испытания проводились на гидравлическом прессе на образцах 70 x 70 x 70 мм по ГОСТ 25818-2017. Результаты представлены в табл. 12.

Таблица 10

Состав золы-уноса Костромской ТЭС [14]

Компонент	Содержание, % масс.	Компонент	Содержание, % масс.
SiO <sub>2</sub>	52,2–64,3	MgO	1,0–2,0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	23,5–29,0	K <sub>2</sub> O	1,0–2,3
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (3+)	6,0–10,0	SO <sub>2</sub>	0,2–0,8
FeO (2+)	0,8–1,5	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,2–1,0
CaO	2,2–5,8	С (углерод)	12,0–16,0

Таблица 11

## Состав золы-уноса Рязанской ГРЭС [14]

Компонент	Содержание, % масс.	Компонент	Содержание, % масс.
SiO <sub>2</sub>	34,3	TiO <sub>2</sub>	2,18
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,15	K <sub>2</sub> O	1,5–2,0
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (3+)	9,93	SO <sub>2</sub>	0,2–0,6
MgO (2+)	7,63	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,2–0,8
CaO	35,93	C (углерод)	1,5–2,0

Таблица 12

Изменения предела прочности при сжатии бетона В 30  
в зависимости от времени его твердения  
и добавки золошлаковых отходов (ЗШО) [14]

Состав	Предел прочности при сжатии, МПа, в возрасте, сут		
	3	7	28
Контрольный	21,10	28,40	35,30
С ЗШО Костромской ТЭС	16,25 (потеря 23 %)	21,65 (потеря 24 %)	27,35 (потеря 22 %)
С ЗШО Рязанской ГРЭС	18,70 (потеря 15 %)	25,60 (потеря 10 %)	35,30 (потеря 0 %)

В работе [16] исследована зависимость между перемешиванием смеси и набором прочности. Установлено, что при интенсивном перемешивании ингредиентов в дезинтеграторе прочность бетона увеличивается в 1,5–2 раза (табл. 13, рис. 13).

Таблица 13

Прочность твердеющей смеси  
с перемешиванием вручную и механически [15]

Линейная встречная скорость, м/с	Предельное напряжение сдвига, Па	Коэффициент отстоя воды, %	Прочность смеси, МПа, в возрасте, сут		
			7	14	28
30	123	90,3	0,50	1,8	3,4
40	117	91,2	0,52	1,9	2,7
50	110	90,3	0,56	1,4	2,5
60	107	88,7	0,53	1,1	2,4
80	105	89,3	0,48	1,1	2,7
100	108	90,6	0,50	1,5	3,9

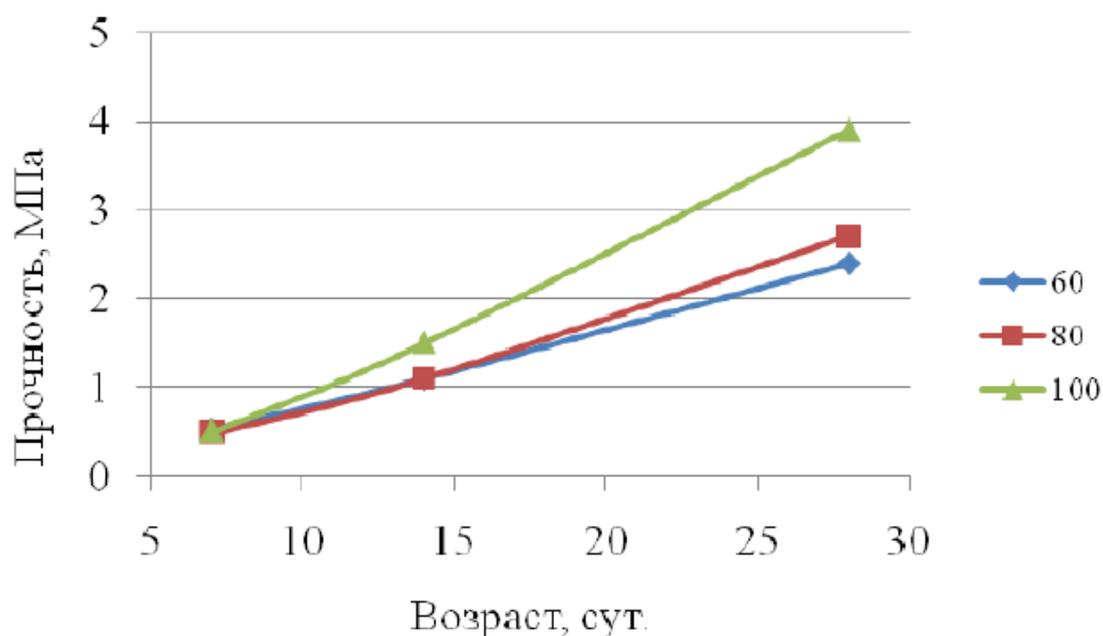


Рис. 13. Прочность бетона при различных режимах перемешивания компонентов смеси [15]

### Заключение

В данном литературном обзоре подробно рассмотрено влияние золы-уноса на физические, механические свойства керамзитобетона, а также на его теплопроводность. Отражена зависимость набора прочности от режима перемешивания смеси. Легкий бетон хорошо зарекомендовал себя как строительный материал с небольшим весом, высокой прочностью и низкой теплопроводностью.

Стоит подчеркнуть, что зола-уноса ТЭС является не просто отходом промышленности, а ценным сырьевым материалом, который при требуемом качестве оказывает положительное воздействие на бетон.

Электрическая сепарация повышает качество золы-уноса и снижает количество органических остатков. При содержании в составе бетона золы, отобранной с анода электрического сепаратора, коррозионная стойкость образцов на 35 % выше по сравнению образцами, в составе которых присутствует зола-уноса, отобранная с катода или не обработанная в электрическом поле.

Благодаря введению в бетонную смесь золы увеличивается количество новообразований в цементном камне, что способствует уплотнению структуры и уменьшению пор в затвердевшем бетоне, а в сочетании с новейшими химическими добавками (воздухововлекающими, суперпластификаторами) зола способствует получению бетона с высокой прочностью и долговечностью.

Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод о перспективности разработки составов высокопрочных легких бетонов, в

частности керамзитобетона с добавлением золы-уноса. Снижение веса конструкции элементов здания позволит решать сложные архитектурные задачи и расширять область применения легких бетонов при строительстве многоэтажных и высотных зданий, устройстве сложных строительных объектов, где применение высокоплотных материалов невозможно. Данный бетон зарекомендовал себя как материал с высокими физико-механическими и теплофизическими свойствами, а при грамотном подборе состава и добавлении отхода золы-уноса эти показатели можно улучшить. Стоит также отметить, что на данный момент стоимость керамзитобетона ниже, чем у других представителей его класса.

### **Библиографический список**

1. Истомина К.Р., Бургунутдинов А.М., Хусаинова К.А. Возможные технологии использования золы уноса // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. 2022. № 1. С. 36–44.

2. Клименко Н.Е., Пергун И.С., Коломиец В.И. Достоинства и недостатки керамзитобетонных блоков в современном строительстве // Современные условия взаимодействия науки и техники: сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции: в 3 ч. (Омск, 13 декабря 2017 года) / отв. ред. А.А. Сукиасян. Омск: ООО «ОМЕГА САЙНС», 2017. Ч. 2. С. 75–77.

3. Основны оптимизации подбора состава керамзитобетона для монолитного строительства / В.Н. Петкогло, И.Я. Пунцель, С.А. Кравченко, А.А. Постернак // Актуальные научные исследования в современном мире. 2020. № 4-1 (60). С. 171–179.

4. Повышение эффективности керамзитобетона при помощи мелкодисперсных добавок / П.Э. Соколов [и др.] // МНИЖ. 2021. № 3-1 (105). С. 75–83.

5. Оценка эффективности применения суперпластификаторов для повышения эксплуатационных свойств керамзитобетонов / П.Э. Соколов [и др.] // МНИЖ. 2020. № 8-1 (98). С. 132–143.

6. Ржевущкая В.А. Влияние состава керамзитобетонной смеси на среднюю кубиковую прочность на сжатие // Безопасный и комфортный город: сборник научных трудов по материалам V Международной научно-практической конференции (Орел, 6–8 июня 2022 года). Орел: Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, 2022. С. 319–322.

7. Гаджиев А.М., Хаджишалапов Г.Н., Хежев Т.А. Жаростойкий керамзитобетон на основе портландцемента с обожженным аргиллитом из смесей с предварительным форсированным электроразогревом // ИВД. 2023. № 6 (102). С. 526–540.

8. Рахимова О.Н., Шарипова И.А., Козюкова К.А. Пути улучшения физико-механических показателей легкого бетона // Синтез науки и общества в решении глобальных проблем современности: сборник статей

Всероссийской научно-практической конференции (Екатеринбург, 13 мая 2022 года) / отв. ред. А.А. Сукиасян. Уфа: ООО «Аэтерна», 2022. С. 97–100.

9. Макридин Н.И., Максимова И.Н., Полубарова Ю.В. Особенности механического поведения и структурных изменений конструкционного керамзитобетона // Региональная архитектура и строительство. 2019. № 3 (40). С. 50–57.

10. Губарь В.Н., Петрик И.Ю., Жибоедов А.В. Способы повышения качества золы-уноса ТЭС, применяемой в высококачественных бетонах // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2016. № 3 (119). С. 63–70.

11. Лабузова М.В. Использование низкокальциевой золы-уноса ТЭС // Молодежь и научно-технический прогресс: сборник докладов X Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых: в 4 т. (Губкин, 20 апреля 2017 года). Губкин: ООО «Ассистент плюс», 2017. Т. 3. С. 140–142.

12. Петрик И.Ю., Губарь В.Н., Корниенко С.В. Коррозионная стойкость бетона с высоким содержанием золы-уноса ТЭС // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2017. № 4 (126). С. 103–107.

13. Шишканова В.Н., Сяйлев Д.А. Зола-уноса как минеральная добавка при изготовлении самоуплотняющегося бетона // Новые научные исследования: сборник статей VII Международной научно-практической конференции, Пенза, 30 апреля 2021 года / отв. ред Г.Ю. Гуляев. Пенза: Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.), 2022. С. 48–51.

14. Кансеитов А.Ю., Начинкин С.А., Акулова М.В. Влияние добавки золы-уноса на физико-химические свойства тяжелого бетона // Экологические аспекты современных городов: сборник материалов IX межрегионального семинара (Иваново, 23 декабря 2022 года). Иваново: Ивановский государственный политехнический университет, 2023. С. 25–27.

15. Режим перемешивания компонентов при изготовлении бетона с добавкой золы уноса / В.И. Голик [и др.] // Известия ТулГУ. Серия «Науки о Земле». 2019. № 1. С. 201–210.

## **HIGH-STRENGTH EXPANDED CLAY CONCRETE USING FLY ASHES**

**M.D. Ivanov, M.A. Smirnov, V.I. Trofimov, V.V. Belov**

***Abstract.** The article analyzes the effect of fly ash on the physical, mechanical properties, thermal conductivity of expanded clay concrete. The methods of composition selection for high-strength expanded clay concrete are considered.*

**Keywords:** *expanded clay concrete, fly ash, high-strength expanded clay concrete, composition, strength, thermal conductivity, superplattifier, lightweight concrete, additives.*

Об авторах:

ИВАНОВ Максим Дмитриевич – студент кафедры производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: max.iva901@yandex.ru

СМИРНОВ Матвей Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: matiu.sm@yandex.ru

ТРОФИМОВ Валерий Иванович – кандидат технических наук, доцент кафедры производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: vitrofa@mail.ru

БЕЛОВ Владимир Владимирович – советник РААСН, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: vladim-bel@yandex.ru

About the authors:

IVANOV Maxim Dmitrievich – Student of the Department of Production of Building Materials and Structures, Tver State Technical University, Tver. E-mail: max.iva901@yandex.ru

SMIRNOV Matvey Alexandrovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Building Products and Structures Production, Tver State Technical University, Tver. E-mail: matiu.sm@yandex.ru

TROFIMOV Valery Ivanovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Production of Building Products and Structures, Tver State Technical University, Tver. E-mail: vitrofa@mail.ru

BELOV Vladimir Vladimirovich – Advisor to RAACS, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Production of Building Products and Structures, Tver State Technical University, Tver. E-mail: vladim-bel@yandex.ru

## КОМПАКТИРОВАНИЕ ПОРОШКОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОМПОЗИТОВ. ГИПЕРПРЕССОВАНИЕ

Ю.В. Килиянчук, В.Б. Петропавловская, В.В. Белов, В.И. Трофимов

© Килиянчук Ю.В., Петропавловская В.Б.,  
Белов В.В., Трофимов В.И., 2024

*Аннотация.* В статье представлен обзор литературы по технологии гиперпрессования. Изучено и описано влияние данного метода на физико-химические и физико-механические свойства материала.

*Ключевые слова:* гиперпрессование, кирпич, прочность, плотность, добавка, структура.

### **Введение**

Технология изготовления традиционных стеновых материалов, получаемых методом полусухого прессования с последующим обжигом (керамический кирпич) или автоклавированием (силикатный кирпич), связана с высоким расходом энергоносителей. Перспективным решением проблемы энерго- и ресурсосбережения является способ производства, который позволяет сократить или исключить тепловую обработку за счет увеличения сырцової прочности, ускорить процесс формирования структуры искусственного камня [1]. Такой способ – гиперпрессование строительных материалов [1–5] – отличается повышенным давлением прессования полусухих пресс-порошков (свыше 30 МПа) [2, 5].

Целью работы являлось изучение способов повышения энергоэффективности и прочности прессованных строительных материалов.

### **Физико-химические предпосылки использования гиперпрессования в производстве строительных материалов**

Основная суть способа гиперпрессования состоит в том, что под высоким давлением происходит взаимодействие частиц вещества, связанное со снижением количества макропор в материале. При протекании данного процесса с поверхности частиц срываются оксидные пленки, образуются открытые ювенильные поверхности и когезии между ними.

В присутствии вяжущих веществ с высоким химическим сродством к веществу мелкодисперсных частиц (например, цемента) необходимые давление прессования и глубина помола резко уменьшаются [2].

Известно, что способ гиперпрессования позволяет получать материалы с более плотной структурой. Особенность данного способа заключается в использовании малоувлажненных (8...10 % по массе) цементно-минеральных сырьевых смесей и повышении давления

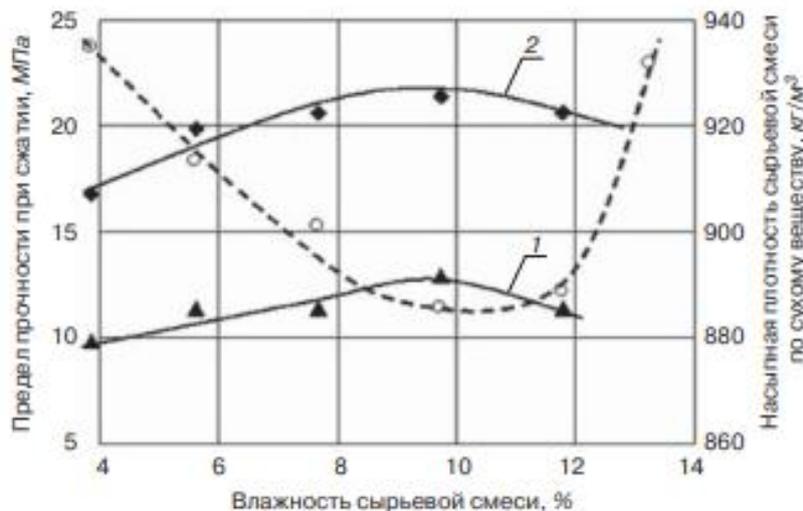
прессования сырца [3]. Гиперпрессованием увлажненной цементно-минеральной смеси были получены изделия, такие как гиперпрессованные кирпичи. Именно при давлении 40 МПа наблюдался максимальный прирост прочности изделий. В процессе гиперпрессования частицы сырьевой массы испытывают значительное взаимное трение, сцепляясь друг с другом на молекулярном уровне [2, 4, 5].

В момент приложения нагрузки возникают силы трения о стенки прессформы и между частицами твердой фазы, при этом не всегда удается достичь оптимального уплотнения по всей высоте изделия. При использовании специальных форм и увеличении продолжительности выдержки изделий под давлением возникающие напряжения могут не только не разрушать получаемую структуру, но и уплотнять ее [6].

При использовании технологии гиперпрессования большое значение приобретает подбор оптимальной гранулометрии заполнителя с целью достижения возможности плотной упаковки его зерен и уменьшения необходимого количества вяжущей части, а также снижения упругого расширения прессовки после снятия давления и исключения перепрессовочных трещин [1, 7]. Оптимизация гранулометрического состава смеси из условия наибольшей плотности упаковки может быть достигнута путем смешивания реальных сырьевых компонентов в оптимальном соотношении. Этот способ проверялся в технологии мелкоштучных бетонных изделий (кирпича) полусухого прессования на основе отсевов дробления известняка и цементной связки [1, 7].

Связь капиллярного структурообразования в сырьевой смеси и прочности готовых изделий основана на том, что при влажности максимального глобулирования, признаком которого является минимум насыпной плотности сырьевой смеси в пересчете на сухое вещество (рисунок), в результате действия капиллярных сил тонкодисперсные частицы цемента сосредоточиваются на поверхности грубодисперсных зерен песка и в зонах контакта последних, образуя ячеисто-глобулярную структуру. Эта структура смеси обуславливает наибольшую концентрацию вяжущего в зонах контакта заполнителя и, как следствие, повышенную прочность контактных зон и прессованного композита в целом [1].

С целью проверки этого предположения из увлажненных сырьевых смесей оптимальной гранулометрии в стальной форме прессовали образцы на лабораторном гидравлическом прессе в виде балочек размерами в плане 4 x 16 см и высотой около 4 см при давлении прессования, необходимом для уплотнения смеси до заданного объема (высоты формы) и получения образцов с одинаковой плотностью в пересчете на сухое вещество. Прессование образцов осуществляли при двукратном приложении нагрузки: 1-я ступень – около 25 %; 2-я ступень – 100 % максимального давления прессования [1].



Зависимость насыпной плотности сырьевой смеси по сухому веществу (пунктир) и прочность при сжатии образцов прессованного бетона состава № 2 при одинаковой плотности образцов (2,3 г/см<sup>3</sup>) по сухому веществу (сплошные линии) от влажности смеси: 1 – в возрасте образцов 3 сут; 2 – то же; 7 сут [1]

Экстремальный характер зависимостей прочности бетонных образцов при постоянной начальной пористости и одинаковом количестве цементирующего вещества от влажности сырьевой смеси (за возможным исключением наименьших значений влажности, при которых может ощущаться недостаток воды для гидратации цемента) объясняется влиянием капиллярного сцепления на структуру сырьевых смесей и полученных из них готовых изделий [1].

#### **Физико-механические свойства гиперпрессованных изделий**

Одним из наиболее популярных изделий, произведенных методом гиперспрессования, является кирпич.

Гиперпрессованный кирпич относится скорее к группе материалов под общим названием «искусственные камни» [4]. Кроме того, в последнее время все чаще можно услышать о таком строительном материале, как кирпич «Лего», который также относится к этой группе материалов [8].

Достоинствами данных изделий являются экологичность; высокие декоративные качества; высокая износостойчивость и долговечность, так как ввиду способа своего изготовления они не должны иметь сколов и трещин; долговечность; высокая прочность гиперпрессованных изделий на основе цементного раствора, что обеспечивает высокую прочность кладки и т.д. [4, 8].

В работе [9] были получены безобжиговые мелкоштучные стеновые изделия методом гиперспрессования с использованием асбестоцементных отходов (АЦО) и определены основные физико-механические характеристики изделий без использования портландцемента (табл. 1).

Таблица 1

Влияние давления на физико-механические свойства образцов на твердых АЦО без портландцемента [9]

№ образца	Давление прессования, МПа	Водо-твердое отношение	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Прочность при сжатии в возрасте 7 сут, МПа
1	20	0,120	1 720	6,5
2	40	0,110	1 820	11,4
3	30	0,100	1 880	14,4

Прикладываемое внешнее прессующее давление увеличивает сырцовую прочность, значительно ускоряет процесс формирования структуры цементного камня, оказывает влияние на кинетику физико-химических процессов, происходящих в цементном камне и кирпиче при твердении. При этом улучшаются физико-механические и гидрофизические характеристики кирпича в результате снижения количества макропор за счет отжатия воздуха, снижается расход вяжущего, уменьшаются энергетические затраты вследствие исключения тепловой обработки, появляется возможность использования некондиционных и техногенных продуктов. Процесс твердения при этом значительно ускоряется, и уже в 7-суточном возрасте прочность при сжатии образцов составляет 95–97 % от марочной прочности (табл. 2) [9].

Таблица 2

Физико-механические свойства образцов при расходе 5 % портландцемента [9]

№ образца	Давление прессования, МПа	Водо-твердое отношение	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Прочность при сжатии в возрасте 7 сут, МПа
1	20	0,130	1 860	15,3
2	40	0,125	1 980	16,4
3	30	0,120	2 000	16,9

Таким образом, при минимальном расходе цемента (5 %) давление прессования можно принять равным 20 МПа, тогда как для бесцементных образцов требуется давление от 30 МПа. Кроме того, прессование способствует образованию мелкокристаллической структуры цементного камня и в результате уплотнения цементного геля прессованием уменьшается количество микродефектов и внутренних напряжений [9].

В работе [2] рассмотрено влияние отсевов дробления на гиперпрессованные образцы. Составы образцов и результаты определения их физико-механических характеристик после тепловлажностной обработки представлены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты испытания гиперпрессованных образцов [2]

№ образца	Цемент, %	Отсев, %	Вода, %	Предел прочности на сжатие, МПа	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Водопоглощение, %
1	15	75	10	19,4	2 062	4,7
2	14,5	71	14,5	17,8	2 131	4,6
3	19	67	14	19,4	2 123	4,8
4	17	70	13	17,7	2 136	4,8

Данные табл. 3 показывают, что предел прочности при сжатии варьируется от 17,7 до 19,4 МПа, средняя плотность – от 2 060 до 2 136 кг/см<sup>3</sup>, а водопоглощение – от 4,6 до 4,8 %, что соответствует требованиям нормативно-технической документации, предъявляемым к данному виду изделий.

Таким образом, существует принципиальная возможность получения гиперпрессованных изделий марок М150-200 на основе отсевов дробления исследуемых горных пород, содержащих карбонат. Оптимальным в данном случае можно считать состав № 1: расход цемента – 15 %, отсев – 75 %, вода – 10 % [2].

Помимо определения плотности и прочности сырьевых образцов, в работе [10] исследовалось влияние гиперпрессования на процессы естественной сушки.

Гиперпрессование влияет на скорость испарения воды при сушке керамических изделий: с увеличением давления прессования скорость сушки увеличивается (табл. 4).

Таблица 4

Потери влаги при естественной сушке керамических изделий [10]

Показатели	Давление прессования, МПа					
	10	20	40	60	80	100
Формовочная влажность, %	10	10	9	9	8	8
Потери влаги при естественной сушке за 48 ч, %	15	19	40	46	68	91
Потери влаги при естественной сушке за 24 ч, %	8	10	33	42	64	90

Образцы, полученные при давлении прессования свыше 40 МПа, за двое суток теряют до 90 % влаги, в то время как образцы, изготовленные при давлении прессования 10 и 20 МПа, – 15 и 19 % соответственно [10].

### Заключение

Анализ данных источников показал, что метод гиперпрессования позволяет получать изделия высокого качества с использованием отходов

промышленности [2, 9, 10], при этом сохраняются физико-механические свойства.

Применение данного метода обеспечивает значительное снижение энергетических затрат. Кроме того, вследствие исключения тепловой обработки предоставляется возможность использования некондиционных и техногенных продуктов, какими являются отсеvy дробления. Метод гиперпрессования инвестиционно привлекателен, так как себестоимость гиперпрессованного кирпича снижается на 20–25 % по сравнению с силикатным кирпичом.

### **Библиографический список**

1. Белов В.В. Оптимизация зернового состава и влажности сырьевой смеси в технологии гиперпрессованного бетонного кирпича // Бетон и железобетон. 2021. № 5-6 (607-608). С. 44–47.

2. Леонтьев С.В., Шаманов В.А., Курзанов А.Д. Использование отсеvов дробления карбонатных горных пород для производства гиперпрессованных изделий // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. 2018. Т. 2. С. 286–293.

3. Береговой В.А., Басова М.А., Языкеев А.В. Утилизация отходов газобетона в производстве гиперпрессованных материалов // Вестник ПГУАС. Серия «Строительство, наука и образование». 2020. № 2 (11). С. 8–14.

4. Кирпич по технологии гиперпрессования / Ю.В. Сапрыгина [и др.] // Технические науки: современный взгляд на изучение актуальных проблем: сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. Н. Новгород: ООО «Ареал», 2017. Вып. 2. С. 36–39.

5. Зассеев А.А. Особенности изготовления гиперпрессованного кирпича на крупном производстве // Современный взгляд на науку и образование: сборник научных статей / науч. ред. А.С. Старун. М.: Перо, 2019. Ч. III. С. 91–94.

6. Петропавловская В.Б., Фишер Х.Б. Гиперпрессованные гипсовые структуры конденсационного твердения // Инновации и моделирование в строительном материаловедении / под ред. В.В. Белова. Тверь: Тверской государственный технический университет, 2017. С. 95–105.

7. Николаенко А.К., Головина Е.А. Исследование механических и теплофизических свойств гиперпрессованного высоконаполненного дисперсными частицами полимербетона // Технологии и оборудование химической, биотехнологической и пищевой промышленности: материалы XI Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием. Барнаул: АлтГТУ, 2018. С. 327–330.

8. Мамонтов И.А., Рыбалкина А.В., Бабаскин Е.С. Кирпич «Лего»: анализ преимуществ и недостатков современного строительного материала // Теория и практика модернизации научной деятельности: сборник статей Международной научно-практической конференции / отв. ред. А.А. Сукиасян. Уфа: ООО «ОМЕГА САЙНС», 2019. Т. 2. С. 69–72.

9. Щукина Е.Г., Зонхийев М.М. Исследование возможности получения безобжигового кирпича с использованием твердых асбестоцементных отходов // Вестник Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления. 2020. № 1 (76). С. 61–65.

10. Каддо М.Б., Розина В.Е. Перспективы применения гиперпрессования при производстве керамических изделий // Перспективы науки. 2019. № 10 (121). С. 41–43.

## COMPACTION OF POWDERS IN THE PRODUCTION OF BUILDING COMPOSITES. HYPERPRESSING

**Y.V. Kiliyanchuk, V.B. Petropavlovskaya, V.V. Belov, V.I. Trofimov**

***Abstract.** The article presents a review of the literature on hyperpressing technology. The influence of this method on the physico-chemical and physico-mechanical properties of the material has been studied and described.*

***Keywords:** hyperpressing, brick, strength, density, additive, structure.*

Об авторах:

КИЛИЯНЧУК Юрий Вадимович – студент кафедры производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: psktstu@yandex.ru

ПЕТРОПАВЛОВСКАЯ Виктория Борисовна – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: victoriapetrop@gmail.com

БЕЛОВ Владимир Владимирович – советник РААСН, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: vladim-bel@yandex.ru

ТРОФИМОВ Валерий Иванович – кандидат технических наук, доцент кафедры производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: vitrofa@mail.ru

About the authors:

KILIYANCHUK Yuri Vadimovich – Student of the Department of Production of Building Materials and Structures, Tver State Technical University, Tver. E-mail: psktstu@yandex.ru

PETROPAVLOVSKAYA Victoria Borisovna – Doctor of Technical Sciences, Docent, Professor of the Department of Building Materials and Structures, Tver State Technical University, Tver. E-mail: victoriapetrop@gmail.com

BELOV Vladimir Vladimirovich – Advisor to RAACS, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Production of Building Products and Structures, Tver State Technical University, Tver. E-mail: vladim-bel@yandex.ru

TROFIMOV Valery Ivanovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Production of Building Products and Structures, Tver State Technical University, Tver. E-mail: vitrofa@mail.ru

**УДК 691.542**

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИТОВ, АРМИРОВАННЫХ ВОЛОКНАМИ, В СТРОИТЕЛЬНЫХ РАСТВОРАХ ДЛЯ РЕМОНТА КОНСТРУКЦИЙ**

**А.А. Лаптев, Е.В. Ткач**

© Лаптев А.А., Ткач Е.В., 2024

***Аннотация.** В настоящее время особое внимание уделяется состоянию искусственных сооружений, необходимости проведения ремонтных работ и предупреждения разрушения искусственных сооружений. Эти цели могут быть достигнуты посредством проектирования, разработки, испытаний, оптимизации, а также применения ремонтных материалов или составов для предотвращения разрушения искусственных сооружений, подвергающихся влиянию различных разрушающих факторов. В статье рассматривается сверхвысокоэффективный цементирующий композит UHPFRC, армированный волокнами. Проанализированы его преимущества, такие как прочность, долговечность, трещиностойкость и водонепроницаемость.*

***Ключевые слова:** ремонтные составы, модифицированный тяжелый бетон, фибробетон, композитный материал, прочность, долговечность, водонепроницаемость, UHPFRC, оптимизация состава, устойчивость искусственных сооружений.*

Железобетонные конструкции различного назначения проектируются и возводятся во всем мире с середины прошлого века. В связи с этим больше половины из них имеют огромные сроки эксплуатации. Помимо сроков эксплуатации, нагрузки и воздействия могут меняться во времени и пространстве, т.е. изменяться по величине, режиму, области приложения и направлению. Кроме того, следует учитывать, что при проектировании, изготовлении конструкций, их монтаже и реконструкции, осуществляемых с учетом нормативных требований и по предусмотренным в проектах технологиям или с их нарушением, возникают и накапливаются предшествующие периоду эксплуатации дефекты, влияющие на силовое сопротивление зданий и сооружений. Часто эти дефекты меняют характеристики элементов конструкций и их соединений.

Одной из главных проблем при проектировании и строительстве искусственных сооружений является недостаточный запас прочности. Эта характеристика закладывается еще на стадии проектирования сооружения и должна быть полностью учтена во время производства строительных или ремонтных работ. Запас прочности необходим любому сооружению для сопротивления ненормативным нагрузкам и преодоления ситуаций, в которых возможен выход из строя одного или нескольких элементов конструкции, влекущий за собой ее полное разрушение.

При этом традиционные решения по ремонту и усилению искусственных сооружений с использованием бетона или ремонтного раствора не всегда обеспечивают достаточную долговечность, а значит, необходимо прилагать усилия для разработки эффективных, экономичных, экологичных материалов с требуемыми характеристиками. К таким материалам можно отнести высокоэффективные армированные волокнами композитные материалы на основе цементного вяжущего.

Материалы подобного типа обладают значительными прочностными свойствами, устойчивостью, водонепроницаемостью, сопротивляемостью агрессивной окружающей среде и проникновению ионов хлора, что положительно влияет на вымывание цементного камня из исследуемой конструкции. Высокоэффективные армированные волокнами композитные материалы на основе цементного вяжущего отлично зарекомендовали себя, проявив высокую пластичность и долговечность при землетрясениях и усталостных нагрузках. Однако им также присущи определенные недостатки, а именно:

углеродный след (влияние входящих в состав материалов на экологию);

высокая стоимость по сравнению с классическими составами.

Сверхвысокоэффективный армированный волокнами цементный композит UHPFRC может использоваться для улучшения существующих конструкций и проектирования новых инновационных конструкций. Его конструкционная прочность на сжатие и растяжение в

3–5 раз выше, чем у обычного бетона. Благодаря своей способности к деформационному упрочнению и плотной матрице конструкции из UHPFRC отличаются высокой трещиностойкостью и водонепроницаемостью, что гарантирует их долговечность.

Авторы рассматривают взаимодействие различных модификаций высокоэффективных армированных волокнами композитных материалов на основе цементного вяжущего на устойчивость искусственных сооружений, включая результаты параметрического исследования, влияние третьего предельного состояния и предела прочности на растяжение [1].

Первоначально для исследования механических характеристик мостов был выполнен анализ с использованием метода конечных элементов. Было выявлено, что разработанный состав обладает уникальными свойствами и большей прочностью на растяжение.

Затем проводилось исследование устойчивости. Под устойчивостью понимается способность сооружения поддерживать необходимый уровень надежности во время или после экстремального события, а также возможность восстановления необходимой надежности в кратчайшие сроки.

В задачу исследователей входила многоцелевая оптимизация, которая заключалась в улучшении механических свойств состава, минимизации его стоимости и углеродного следа.

Исследование, составление расчетной схемы и подбор необходимого состава производились на основе вантового моста общей длиной 83,2 м. Пролет состоял из предварительно напряженной бетонной ферменной конструкции. Согласно заключению судебной строительно-технической экспертизы, при проектировании данного искусственного сооружения были допущены ошибки, связанные с недооценкой требований по грузоподъемности и пропускной способности, что впоследствии привело к появлению дефектов в приопорных участках балки и ее дальнейшему разрушению.

Основной проблемой во время строительства стали холодные швы, которые не были предварительно обработаны.

Оценка устойчивости проводилась на основании экономических показателей всего цикла производимых работ и углеродного следа исследуемого состава. При этом ряд возможных составов был выбран на основе результатов параметрического исследования. Высокая прочность на сжатие достигалась за счет использования смесей с прочностью на сжатие выше 58,5 МПа.

В исследовании [2] представлена основа для одновременного повышения упругости и устойчивости искусственных сооружений с применением модифицированных высокоэффективных армированных волокнами композитных материалов на цементном вяжущем за счет оптимизации смеси. Было выявлено, что модифицированные смеси могут быть спроектированы таким образом, чтобы уменьшить стоимость работ

и материалов и минимизировать углеродный след, сохранив при этом необходимые механические характеристики.

Предлагаемый путь уменьшения повреждений мостов и повышения устойчивости к разрушению в условиях экстремальных нагрузок является перспективным. Что касается рассмотренного примера моста, то при замене обычного бетона на УНРС повреждения при растяжении были снижены до незначительных [2].

В исследовании проверяется возможность использования предлагаемой основы для повышения устойчивости мостов за счет оптимизации конструкционных материалов. Влияние высокопроизводительных цементных композитов, армированных волокном (HPFRCC), на стоимость жизненного цикла и долговечность объекта остается неизвестным. Необходимы дальнейшие исследования, чтобы выявить возможные проблемы, снизить стоимость производства работ и повысить долговечность. При этом следует учитывать свойство самовосстановления бетона.

Данное исследование фокусируется на этапах строительства до обрушения моста. Хотя использование HPFRCC дает возможность избежать обрушения моста, неясно, не произойдет ли обрушение на более позднем этапе. В будущих исследованиях необходимо учитывать весь жизненный цикл, чтобы получить целостное представление о безопасности и упругости мостов.

Армированные волокном высокопроизводительные цементные композиты (HPFRCC) продемонстрировали высокую пластичность и отличную долговечность при сейсмических и усталостных нагрузках [3]. Типичными представителями HPFRCC являются бетон сверхвысоких эксплуатационных характеристик (УНРС) [4, 5] и деформационно-твердеющие цементные композиты (SHCC) [6, 7]. Как УНРС, так и SHCC обладают высокой пластичностью и используют рубленые волокна для перекрытия трещин в HPFRCC. Проведенные исследования показали, что волокна повышают трещиностойкость, а при незначительном растрескивании позволяют HPFRCC выдерживать более высокие нагрузки. Композит УНРС предназначен для достижения высокой механической прочности (>120 МПа при сжатии) за счет максимизации плотности упаковки частиц [8–12], тогда как SHCC может использоваться для достижения высокой пластичности (>3 % при растяжении) путем настройки интерфейса «волокно – матрица» [13]. Композиты SHCC обладают многофункциональностью, в том числе способны к самовосстановлению [14] и самоочистке.

Исследования показали, что замена обычного бетона на УНРС или SHCC улучшила трещиностойкость, прочность на изгиб, прочность на сдвиг и усталостную долговечность балок, плит, колонн и соединений [3–5, 7]. Треснувшие элементы конструкции могли выдерживать более

высокие нагрузки, прежде чем они вышли из строя. На основе предыдущих исследований предполагается, что использование HPFRCC в мостах повысит их устойчивость.

Использование цементных композитов, армированных волокнами, в строительных растворах для ремонта конструкций представляется весьма перспективным. Сверхвысокоэффективный армированный волокнами цементирующий композит (UHPRC) обладает такими преимуществами, как прочность, долговечность, трещиностойкость и водонепроницаемость, что делает его идеальным материалом для предотвращения разрушения искусственных сооружений.

Однако традиционные решения по ремонту и усилению искусственных сооружений с использованием бетона или ремонтного раствора недостаточно долговечны, что требует разработки эффективных, экономичных, экологичных материалов, соответствующих необходимым характеристикам. В этом плане высокоэффективные армированные волокнами композитные материалы на основе цементного вяжущего являются отличной альтернативой. Они характеризуются высокой прочностью, устойчивостью, водонепроницаемостью, сопротивляемостью агрессивной окружающей среде.

Как отмечено выше, минусами композитных материалов на основе цементного вяжущего являются углеродный след и высокая стоимость.

Сверхвысокоэффективный армированный волокнами цементирующий композит позволяет улучшить существующие конструкции и проектирование новых инновационных конструкций. Конструкционная прочность UHPRC на сжатие и растяжение в 3–5 раз выше, чем у обычного бетона. Благодаря плотной матрице и способности к деформационному упрочнению, конструкции из UHPRC отличаются трещиностойкостью и водонепроницаемостью, что служит залогом их долговечности.

### **Библиографический список**

1. Optimizing high-performance fiber-reinforced cementitious composites for improving bridge resilience and sustainability / X. Tan [et al.] // *Journal of Infrastructure Preservation and Resilience*. 2023. № 4.

2. Cyclic behavior of damaged reinforced concrete columns repaired with high-performance fiber-reinforced cementitious composite / X. Li [et al.] // *Engineering Structures*. 2017. № 136 (2), pp. 26–35.

3. Transverse fatigue behaviour of steel-UHPC composite deck with large-size U-ribs / L. Yiming [et al.] // *Engineering Structures*. 2019. № 180, pp. 388–399.

4. Meng W., Khayat K.H. Mechanical properties of ultra-high-performance concrete enhanced with graphite nanoplatelets and carbon nanofibers // *Composites Part B Engineering*. 2016. 107, pp. 113–122.

5. Мэн В., Хаят К.Х., Бао Ю. Изгибное поведение высокоэффективных бетонных панелей, армированных волокнистой полимерной тканью // Цемент и бетонные композиты. 2018. № 93. С. 43–53.
6. Хуан Б.Т., Дж. Ю., Ву ЖК, Дай ЖГ, Люн СК, Композиты на основе морской воды и морского песка (SS-ECC) для морского и прибрежного применения // Композитные коммуникации. 2020. № 20.
7. Huang B.-T., Wang Y.-T., Wu J.-Q., Yu J. Effect of fiber content on mechanical performance and cracking characteristics of ultra-high-performance seawater sea-sand concrete (UHP-SSC) // Advances in Structural Engineering. 2021. № 24 (6), pp. 1182–1195.
8. Мэн В., Валипур М., Хаят К.Х. Оптимизация и производительность экономичного бетона со сверхвысокими эксплуатационными характеристиками // Материалы и конструкции. 2017. № 50 (1).
9. Прейс А., Джаудхари А., Фам А. Прочность выдергивания установленных разъемов в тонких элементах УНРС // Тонкостенные конструкции. 2022. № 181.
10. Поведение железобетонных балок, усиленных при изгибе гибридными накладками УНРС, армированными углепластиком / М.М. Кадхим [и др.] // Инженерные сооружения. 2022. № 262.
11. Kadhim M.M.A., Jawdhari A., Peiris A. Development of hybrid UHPC-NC beams: A numerical study // Engineering Structures. 2021. № 233.
12. Jawdhari A., Fam A. Thermal-Structural Analysis and Thermal Bowing of Double Wythe UHPC Insulated Walls // Energy and Buildings. 2020. № 223 (2).
13. Influence of TiO<sub>2</sub> incorporation methods on NO<sub>x</sub> abatement in Engineered Cementitious Composites / M. Xu [et al.] // Construction and Building Materials. 2019. № 221 (2), pp. 375–383.
14. Herbert E.N., Li V. Self-Healing of Microcracks in Engineered Cementitious Composites (ECC) Under a Natural Environment // Materials. 2013. № 6 (7), pp. 2831–2845.

## **PROSPECTS FOR THE USE OF FIBER-REINFORCED CEMENT COMPOSITES IN BUILDING SOLUTIONS FOR STRUCTURAL REPAIRS**

**A.A. Laptev, E.V. Tkach**

***Abstract.** Currently, special attention is being paid to the condition of artificial structures, the need for repair work and prevention of destruction of artificial structures. These goals can be achieved through design, development, testing, optimization, as well as the use of repair materials or formulations to prevent the destruction of artificial structures affected by various destructive*

*factors. The article discusses the ultra-high-efficiency UHPFRC fiber-reinforced cementing composite. Its advantages such as strength, durability, crack resistance and water resistance are analyzed.*

**Keywords:** *repair compounds, modified heavy concrete, fiber concrete, composite material, strength, durability, water resistance, UHPFRC, composition optimization, stability of artificial structures.*

Об авторах:

ЛАПТЕВ Александр Александрович – аспирант, ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», Москва. E-mail: alexandrlaptev908@gmail.com

ТКАЧ Евгения Владимировна – доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», Москва. E-mail: ev\_tkach@mail.ru

About the authors:

LAPTEV Alexander Alexandrovich – Postgraduate Student, Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow. E-mail: alexandrlaptev908@gmail.com

TKACH Evgeniya Vladimirovna – Doctor of Technical Sciences, Professor, Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow. E-mail: ev\_tkach@mail.ru

**УДК 691.535**

## **РАЗРАБОТКА СОСТАВА КОМПОЗИЦИОННОГО ГИПСОВОГО ВЯЖУЩЕГО ДЛЯ 3D-ПЕЧАТИ**

**И.А. Лесников, Т.Б. Новиченкова,  
В.Б. Петропавловская, Е.В. Смирнова**

© Лесников И.А., Новиченкова Т.Б.,  
Петропавловская В.Б., Смирнова Е.В., 2024

**Аннотация.** *В статье представлены результаты разработки композиционного гипсового вяжущего для строительной 3D-печати. Большинство строительных смесей непригодно для использования в строительной 3D-печати, поскольку не обладают достаточной прочностью на сжатие. Композиционные смеси для 3D-печати используют в специальных принтерах, поэтому они должны*

*соответствовать определенным требованиям по физико-механическим и эксплуатационным параметрам.*

**Ключевые слова:** композиционное гипсовое вяжущее, 3D-печать, гипсоцементно-пуццолановое вяжущее, добавка мела, доменный шлак, строительная смесь.

## **Введение**

В последние годы 3D-печать становится все более востребованным методом изготовления различных объектов, от прототипов до готовых изделий. Этот процесс позволяет создавать сложные структуры с высокой точностью и детализацией, что можно считать значительным преимуществом по сравнению с традиционными методами производства.

Одним из ключевых элементов 3D-печати является материал, из которого изготавливаются объекты. На сегодняшний день широкое распространение получили смеси на основе композиционных гипсовых вяжущих [1].

Композиционные гипсовые вяжущие представляют собой смесь гипса с добавлением специальных модификаторов, которые улучшают его свойства для 3D-печати. Эти модификаторы могут включать полимеры, стабилизаторы и другие вещества, которые улучшают прочность, эластичность и стойкость к воздействию внешней среды [2].

Одно из основных преимуществ композиционных гипсовых вяжущих – их улучшенная производительность по сравнению с обычными гипсовыми смесями. Они обладают высокой прочностью, что позволяет создавать крупные конструкции без дополнительного усиления, а также сохранять детали и плавные поверхности при печати объектов с высокой точностью и сложной геометрией. Благодаря хорошей адгезии к различным поверхностям, смеси на основе композиционных гипсовых вяжущих обеспечивают прочное соединение между слоями во время процесса печати [3].

Для формирования у материалов необходимых в каждом конкретном случае реологических свойств требуется разработка соответствующих композиционных вяжущих. Под ними подразумевается продукт, который получается при смешивании вяжущей основы и комплекса минеральных и химических добавок [4].

Свойства композиционных вяжущих можно регулировать и изменять под каждую конкретную задачу. Для выбора состава смеси следует уделять особое внимание тому, в какой области она будет применяться. Так, для создания композиционных вяжущих основой может являться портландцемент, гипс и др. В качестве минеральных добавок могут использоваться различные порошковые материалы [5].

Более подходящей разновидностью композиционных гипсовых вяжущих является гипсоцементно-пуццолановое вяжущее. Пуццолановые добавки, которые содержат кремнезем в активной форме, позволяют

уменьшить концентрацию гидроксида кальция, что приводит к снижению рН-среды до уровня, при котором формирующийся гидросульфоалюминат кальция меньше увеличивается в объеме, способствуя уплотнению матрицы, не создавая внутренних напряжений [6].

В ходе проведения испытаний было выявлено, что при добавлении в смесь гипсоцементно-пуццоланового вяжущего (ГЦПВ) небольшого количества технического мела последний активно участвует в процессе гидратации. Подтвердилось и наличие широкого спектра новообразований, способствующих стабильности сформировавшихся структур. Наряду с этим более крупные частицы мела выступают в роли центров кристаллизации и используются как микронаполнитель, благодаря чему улучшаются эксплуатационные характеристики затвердевшей смеси [7].

Однако в связи с тем, что в составе ГЦПВ присутствует большое количество гипса, сроки схватывания не увеличиваются, поэтому для изучения ранних стадий гидратации к ГЦПВ был добавлен суперпластификатор РС-1701. Было установлено, что данный суперпластификатор в количестве 0,1–0,5 % от массы ГЦПВ оказывает комплексное влияние на свойства смеси и затвердевшего ГЦПВ. Так, введение РС-1701 в количестве 0,3 % способствовало более чем двукратному увеличению сроков схватывания смеси, а также некоторому повышению прочности затвердевшего ГЦПВ [8].

### **Материалы и методы**

Целью данной научно-исследовательской работы являлось получение высокопрочных сырьевых смесей для 3D-печати с необходимой удобоукладываемостью, а также со сниженной себестоимостью за счет использования промышленных отходов и недорогих сырьевых материалов. За основу смеси принято ГЦПВ с добавками технического мела.

В качестве вяжущего за основу ГЦПВ были взяты портландцемент ЦЕМ I 42,5Н по ГОСТ 31108-20 и гипс Г-5 Б II по ГОСТ 125-2018. В качестве пуццолановой добавки применялся доменный шлак, измельченный по ГОСТ 3476-2019. В состав сухой строительной смеси вводилась добавка мела с содержанием  $\text{CaCO}_3 > 96\%$  по ГОСТ 12085-88 и суперпластификатор РС-1701.

Доменный шлак дробили в шаровой лабораторной мельнице в течение 45 мин до значения удельной поверхности  $1\,000\text{ м}^2/\text{кг}$ . Более тонкий помол является слишком энергозатратным. К тому же высокая дисперсность увеличивает водотвердое отношение. Тонкость помола оценивали по методу Козени – Кармана на приборе ПСХ-11(СП).

В соответствии с матрицей планирования трехфакторного планированного эксперимента типа В- $D_{13}$  составили смесь из портландцемента, гипса, дробленого доменного шлака, мела и суперпластификатора.

Из растворных смесей по стандартной методике были заформованы образцы-балочки с размерами 40 x 40 x 160 мм. После затвердения в нормальных условиях в возрасте 3 и 7 сут были определены физико-механические свойства полученных образцов по ГОСТ 5802 и ГОСТ 23789-2018.

### Результаты исследования

В ходе испытаний образцов в возрасте 3 и 7 сут нормального твердения и обработки планированного эксперимента были выявлены зависимости предела прочности при сжатии образцов от содержания добавок мела и суперпластификатора РС-1701 (табл. 1, 2).

Таблица 1

Матрица планированного эксперимента

№	Гипс, г	Портланд-цемент, г	Шлак, г	Вода, мл	Мел, г	РС-1701, г	Средняя прочность при сжатии, МПа (7 сут)	Средняя плотность, г/см <sup>3</sup>
1	530	340	130	200	10	3	45,2	5,6
2	530	340	130	400	10	3	41,6	4,9
3	530	340	130	200	20	3	47,8	6,7
4	530	340	130	400	20	3	43,0	5,2
5	530	340	130	200	10	2	47,2	6,2
6	530	340	130	400	10	2	42,3	5,1
7	530	340	130	200	20	2	44,6	5,5
8	530	340	130	400	20	2	44,3	5,4

Таблица 2

Составы смесей

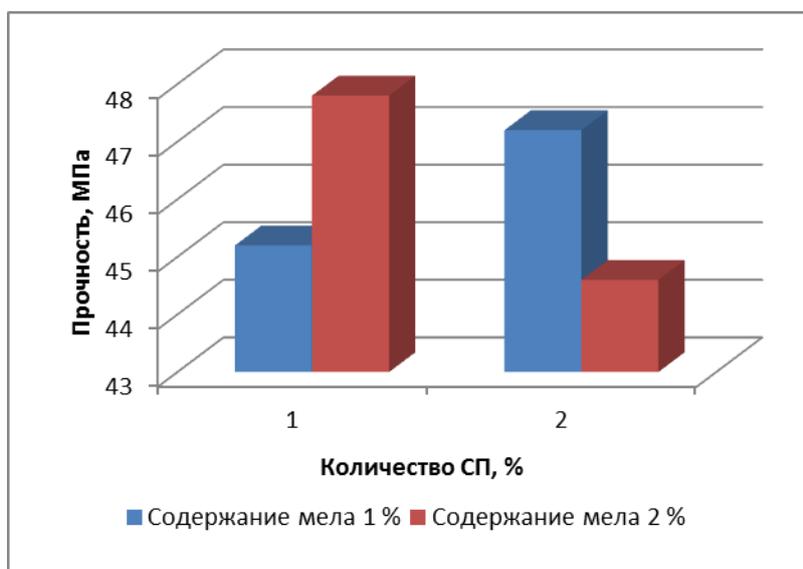
№	x1	x2	x3	X1 (водотвердое отношение)	X2 (мел), %	X3 (С), %
1	-1	-1	+1	0,25	1,0	0,3
2	+1	-1	+1	0,35	1,0	0,3
3	-1	+1	+1	0,25	2,0	0,3
4	+1	+1	+1	0,35	2,0	0,3
5	-1	-1	-1	0,25	1,0	0,2
6	+1	-1	-1	0,35	1,0	0,2
7	-1	+1	-1	0,25	2,0	0,2
8	+1	+1	-1	0,35	2,0	0,2

При введении добавки мела в количестве от 1–2 % от массы ГЦПВ наблюдается прирост прочности образцов. Наиболее большой прирост прочности (до 10 %) приходится на замес с добавкой мела в количестве 2 %, дальнейшее же повышение приводит к незначительному снижению

прочности. На основе статистической обработки данных по полученной регрессионной модели был построен график, отражающий данную зависимость. Мел активно вовлечен в процесс образования связей во время увлажнения. Кроме того, присутствует множество новообразований, которые повышают устойчивость созданных структур. Более крупные частицы также используются в качестве центров кристаллизации и микронаполнителя, увеличивая прочность затвердевшей смеси.

При добавлении суперпластификатора РС-1701 в количестве 0,2–0,3 % наблюдается снижение водотвердого отношения и, как следствие, увеличение плотности образцов (рисунок). При этом за счет снижения водотвердого отношения смесь при затворении водой переходит в вязкопластичное, пастообразное состояние, более подходящее для 3D-печати. Сроки схватывания увеличиваются от 3–5 до 10–15 мин. Затвердевшие образцы, полученные с использованием суперпластификатора, имеют более гладкую поверхность, что уменьшает затраты на их обработку.

Максимальный прирост прочностных характеристик происходит при одновременном внедрении в смесь добавки мела и суперпластификатора РС-1701 в количестве 0,3 % от массы ГЦПВ.



Зависимость прочности образцов от содержания мела и добавки суперпластификатора при водотвердом отношении 0,25

Наилучшие результаты по прочности образцов на сжатие показал состав сухой строительной смеси, содержащий 50,7 % гипса Г-5, 34 % портландцемента ЦЕМ I 42,5 Н, 13 % доменного шлака, 2 % мела и 0,3 % суперпластификатора РС-1701. Предел прочности при сжатии указанного состава составил в среднем 35, 47 и 64 МПа в возрасте 3, 7 и 28 сут соответственно.

## **Заключение**

Смесь на основе ГЦПВ имеет ряд преимуществ перед аналогами, представленными на рынке. Это повышенные физико-механические свойства, экологическая и экономическая составляющие. Применение данной смеси улучшит рынок строительной 3D-печати за счет получаемых изделий с высокой прочностью, не требующих дополнительной поверхностной обработки. Немаловажным фактором является также доступность всех компонентов, входящих в состав смеси. Данный продукт универсален и может быть использован в других областях строительства, таких как ремонт.

## **Библиографический список**

1. Лунева Д.А., Кожевникова Е.О., Калошина С.В. Применение 3D-печати в строительстве и перспективы ее развития // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. 2017. Т. 8. № 1. С. 90–101.
2. Иноземцев А.С., Королев Е.В., Зыонг Тхань Куй. Анализ существующих технологических решений 3D-печати в строительстве // Вестник МГСУ. 2018. Т. 13. Вып. 7 (118). С. 863–876.
3. Подбор составов смеси для 3D печати / Б.А. Бондарев, В.А. Баязов, О.О. Корнеев, И.А. Востриков, А.А. Мещеряков // Вестник Евразийской науки. 2021. Т. 13. № 3. С. 25.
4. Использование кремнеземсодержащих промышленных отходов в технологии композиционных гипсовых вяжущих / И.В. Старостина, Р.О. Ефремов, Е.В. Порожняк, Ю.Л. Старостина, И.Г. Шайхиев // Вестник технологического университета. 2016. Т. 19. № 13. С. 178–181.
5. Формирование свойств композиций для строительной печати / В.С. Лесовик, М.Ю. Елистраткин, Е.С. Глаголев, С.В. Шаталова, М.С. Стариков // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2017. № 10. С. 6–14.
6. Волженский А.В. Минеральные вяжущие вещества. М.: Стройиздат, 1986. 464 с.
7. Дребезгова М.Ю. Особенности микростроения затвердевшего КГВ с многокомпонентными минеральными добавками // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2017. № 12. С. 136–140.
8. Дребезгова М.Ю. Особенности гидратации композиционного гипсового вяжущего в присутствии суперпластификатора SikaPlast 2135\* // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2017. № 5. С. 20–22.

## DEVELOPMENT OF COMPOSITE GYPSUM BINDER COMPOSITION FOR 3D PRINTING

**I.A. Lesnikov, T.B. Novichenkova,  
V.B. Petropavlovskaya, E.V. Smirnova**

***Abstract.** The article presents the results of the development of a composite gypsum binder for 3D construction printing. Most building mixes are unsuitable for use in construction 3D printing because they do not have sufficient compressive strength. Composite mixtures for 3D printing are used in special printers, therefore they must meet certain requirements for physical, mechanical and operational parameters.*

***Keywords:** composite gypsum binder, 3D printing, gypsum cement-pozzolan binder, chalk additive, blast furnace slag, construction mix.*

Об авторах:

ЛЕСНИКОВ Илья Александрович – магистрант кафедры производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: lesnik\_2k@mail.ru

НОВИЧЕНКОВА Татьяна Борисовна – кандидат технических наук, доцент кафедры производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: tanovi.69@mail.ru

ПЕТРОПАВЛОВСКАЯ Виктория Борисовна – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: victoriapetrop@gmail.com

СМИРНОВА Елена Вячеславовна – специалист 1-й категории по учебно-методической работе кафедры производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: elena020269@yandex.ru

About the authors:

LESNIKOV Ilya Alexandrovich – Master's Student of the Department of Production of Building Materials and Structures, Tver State Technical University, Tver. E-mail: lesnik\_2k@mail.ru

NOVICHENKOVA Tatiana Borisovna – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Building Products and Structures Production, Tver State Technical University, Tver. E-mail: tanovi.69@mail.ru

PETROPAVLOVSKAYA Victoria Borisovna – Doctor of Technical Sciences, Docent, Professor of the Department of Building Materials and Structures, Tver State Technical University, Tver. E-mail: victoriapetrop@gmail.com

SMIRNOVA Elena Vyacheslavovna – 1<sup>st</sup> Category Specialist in Educational and Methodological Work of the Department of Building Products and Structures Production, Tver State Technical University, Tver. E-mail: elena020269@yandex.ru

УДК 691.32

## БЕТОНЫ С ЗАПОЛНИТЕЛЯМИ ИЗ СТЕКОЛЬНЫХ ОТХОДОВ

Т.Р. Мамедов, Ю.Ю. Курятников, В.Б. Петропавловская,  
Е.В. Смирнова

© Мамедов Т.Р., Курятников Ю.Ю.,  
Петропавловская В.Б., Смирнова Е.В., 2024

***Аннотация.** В статье рассмотрена проблема вовлечения отходов промышленности для производства материалов строительного назначения. Исследование показало, что технология производства строительных материалов на основе стеклобоя достаточно проста, не требует специального оборудования и больших материальных вложений. После предварительной очистки и разделения на фракции сырье (стеклобой) может быть использовано для производства широкого спектра композитных материалов.*

***Ключевые слова:** стеклобой, вяжущее, бетон, техногенные отходы, отходы стекла, строительные материалы.*

### **Введение**

Переработка, захоронение, обезвреживание и сбор промышленных отходов является одной из актуальных проблем окружающей среды. С экономической точки зрения вторичная переработка отходов невыгодна для хозяйствующих субъектов. Однако при использовании отходов можно решить экологические проблемы за счет экономии значительного количества топлива и энергии и сохранения природных ресурсов [2].

Наиболее ценными вторичными ресурсом является стеклянный бой. Переработка его экономически выгодна и не требует больших энергетических затрат.

Задачи реализации вторичной переработки стеклобоя:

эстетическая – возможное внедрение отдельного сбора отходов, позволяющее использовать контейнеры и мусоровозы, которые вписываются в эстетику города;

экологическая – сокращение использования природных ресурсов за счет вовлечения отходов в производство и увеличение срока службы полигонов твердых бытовых отходов;

экономическая – получение дохода от реализации и использования вторичных отходов и удешевление бетона за счет использования стеклобоя (вторичное сырье), а также усовершенствование физико-механических свойств бетона.

Вторичные сырьевые ресурсы – ценный материал, который аккумулирует в себе ранее осуществленные инвестиционные и энергетические затраты и к тому же не требует средств на разработку карьера и переработку сырья, что в большинстве случаев оказывается намного выгоднее, чем освоение природных ископаемых. Разработка новых эффективных композитов на основе вторичных ресурсов для высотного строительства является актуальной проблемой.

В основу получения высокопрочных бетонов положены современные технологические приемы, способствующие улучшению технических и физико-механических свойств при комплексном применении техногенного сырья и эффективных химических добавок.

Процесс строительства, особенно в крупных городах с дефицитом незастроенных площадей, сопряжен со сносом аварийных, морально устаревших зданий гражданского назначения, а также промышленных зданий и сооружений, которые в связи с ростом городов попали в селитебную зону, физически или морально устарели, а также не используются по прямому назначению. В России годовая стоимость работ по демонтажу выросла до 50 млрд руб., а объем строительных отходов составляет около 100 млн т. Кроме строительных отходов, в каждой стране большой объем составляют коммунально-бытовые и промышленные отходы. Ранее существовавшее стандартное решение о вывозе отходов на свалку в настоящее время недопустимо, так как ведет к загрязнению почвы и водных источников и противоречит требованиям безопасности и экологии. Вторичное использование строительных отходов не только соответствует требованиям экологии, но и позволяет утилизировать и повторно использовать материалы, полученные от сноса зданий и сооружений. Целью вторичной переработки в строительстве и ремонте является сокращение количества образующихся отходов, минимализация использования нового сырья и сохранение природных ресурсов. Кроме того, промышленная переработка отходов позволяет свести к минимуму транспортные и другие расходы.

Стеклобой представляет собой трудноутилизируемый отход, не подверженный воздействию воды, атмосферных явлений (осадков, солнечной радиации, температурных перепадов) и не разрушающийся под воздействиями органических, минеральных и биологически активных организмов. Дискуссии о возможности утилизации отходов стекла за счет

индустрии строительных материалов ученые вели еще с 1970-х годов, однако практические исследования в этой области не проводились. В настоящее время целый ряд отечественных и зарубежных вузов и НИИ заняты разработкой строительных композитов с использованием стеклобоя. Например, специалисты инженерного факультета и прикладных наук Колумбийского университета (штат Нью-Йорк) работают над проблемой замены каменного заполнителя в бетоне боем стекла. Решением подобных задач занимаются и отечественные ученые. Определенные успехи достигнуты специалистами Мордовского государственного университета. Таким образом, использование стеклобоя в качестве компонента при разработке составов строительных материалов является актуальной научно-технической задачей, решение которой позволяет получить значительный экономический и экологический эффект [3–5].

### **Преимущества использования стекла в производстве и влияние его минерального состава на свойства бетона**

По строению и физико-химическим свойствам стеклобой представляет собой минеральный ресурс антропогенного происхождения. Наиболее распространенным способом утилизации стеклобоя является технология изготовления бетона.

В настоящее время исследования ученых направлены на разработку и внедрение в строительную практику полимербетонов – легких строительных материалов, диапазон плотностей которых варьируется в зависимости от поставленных задач. Применение такой добавки, как стекло, улучшает физические свойства материала. Стеклобетон – композитный материал. В его состав входят бетон и стекло, и в зависимости от того, в каком виде добавлено стекло, может быть получен материал со стеклофиброй, с оптоволокном, с битым стеклом, с жидким стеклом, а также такой, в котором стекло используется в качестве связующего элемента.

Стеклобой заменяет крупный заполнитель (щебень или гравий). Прочностные характеристики данного материала не отличаются от обычного бетона, в котором применяются традиционные заполнители. Масса готового изделия получается значительно меньше, чем при использовании стандартных заполнителей. Стеклобетон применяется в производстве отделочных панелей, стен, перегородок, полов и декоративных изделий.

Одним из главных преимуществ такого бетона является возможность изменения физических свойств материала за счет добавки жидкого стекла в различных пропорциях с добавлением других вяжущих компонентов. Технология приготовления бетона со стеклобоем состоит в растворении битого стекла щелочью, в результате чего образуется вяжущее вещество, которое скрепляет заполнитель, а после затвердевания обладает повышенной прочностью и устойчивостью к кислотам [6, 7].

Экспериментальные исследования влияния минерального состава и структуры заполнителей на термические изменения бетонов достаточно трудоемки и дорогостоящи. Кроме того, экспериментально исследовать все многообразие бетонов на заполнителях различного минерального состава и структуры практически невозможно. Однако имеются разработанные и экспериментально апробированные методы аналитического определения радиационных, термических и радиационно-термических изменений бетонов и их составляющих. Эти методы в комплексе позволяют рассчитывать не только радиационные и радиационно-термические, но и термические изменения бетонов по данным о температуре нагревания, технологическом составе бетона, минеральном составе и структуре заполнителей, характеристикам цемента и добавок.

Применяемые в настоящее время способы изготовления строительных материалов на основе отходов стекла базируются на технологиях, предусматривающих спекание сырья при высоких температурах или его обработку в автоклавах. Измельченный стеклобой при взаимодействии с водой не проявляет вяжущих свойств несмотря на наличие в его составе большого количества щелочи. Для изучения кинетики изменения во времени прочностных характеристик вяжущих систем на основе тарного и листового стекла с различным типом щелочных активаторов были определены показатели прочности для систем в разном возрасте твердения.

В ходе проведенных исследований было установлено, что экспериментальные составы, активированные  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  и  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ , показали низкую прочность на всех этапах твердения. Кроме того, составы, активированные  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , имели на поверхности серьезные высолы, свидетельствующие о том, что часть вводимого в состав активатора не прореагировала со стеклопорошком. Отсюда следует, что данный компонент обладает низкой активирующей способностью.

Таким образом, для листового и тарного стекла щелочные агенты  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  и  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  не работают как активаторы, поэтому для получения композиционного вяжущего стеклянный наполнитель нужно использовать в комбинации с цементом.

Экспериментально установлено, что масштаб разрушений и, как следствие, снижение прочности цементной матрицы зависит от степени дисперсности вводимого стеклобоя. На основании экспериментов сделан вывод о том, что стекло с размером частиц 1–4 мм при введении в бетонную матрицу вызывает расширение образцов более чем на 0,2 %, что в пять раз превышает допустимые значения.

Установлено также, что стеклобой фракции 1,25–5 мм целесообразно использовать в бетонах в качестве заполнителей. При этом прочность бетонных композитов значительно превосходит прочность бетонов на другом заполнителе, например песчаном. Увеличение прочности бетонов

может достигаться путем поверхностной кристаллизации крупного (размер фракции более 1 мм) заполнителя при температуре 700–720 °С в присутствии центров кристаллизации, таких как порошок кварцевого стекла. При этом расширение образцов, приводящее к потере прочности, снижается в 2–7 раз по сравнению с образцами, полученными на немодифицированном заполнителе.

Что касается тонкодисперсного стекла (размер частиц 1–4 мм), то его целесообразно применять в качестве вяжущего или перерабатывать в гранулированное пеностекло. По имеющимся данным расширение образцов бетонов с заполнителем такого размера составляет 0,02–0,04 %. По мнению исследователей, это обусловлено тем, что силикатное стекло при взаимодействии с водой подвергается гидролизу с выделением в водную фазу ионов натрия. При этом на поверхности образуется пленка гидратированного оксида кремния и (при наличии в растворе необходимых соединений) происходит образование новых веществ на поверхности. Значит, в случае стекла с высокой дисперсностью материал приобретает более развитую поверхность и возможность направленного использования такого взаимодействия многократно возрастает.

Снижение щелочно-силикатного взаимодействия в бетонах достигалось путем введения добавок аморфного высокодисперсного оксида кремния в количестве от 0,5 до 5 мас. %. В качестве добавок применялись силикагель (размер частиц 60 мкм), аэросил и стекло, ионно-модифицированное заменой Na<sup>+</sup> на H<sup>+</sup>. Было установлено, что указанные добавки эффективно подавляют щелочно-силикатное взаимодействие. Количество применяемого стеклобоя, необходимое для получения бетонов, удовлетворяющих стандартам различных стран и производителей, зависит от назначения бетона [8–11].

### **Заключение**

Утилизация строительных отходов относится к важным экологическим проблемам, решению которых следует придавать большое значение.

Анализ литературных источников показал, что в настоящее время стеклобой является ценным вторичным ресурсом, позволяющим сократить расходы на дефицитные и дорогостоящие сырьевые материалы при производстве широкого спектра строительных материалов. В задачу строительной индустрии входит переориентация предприятий на потребление техногенного сырья. Количество неиспользуемого стеклобоя в отдельных регионах нашей страны достигает 100 %. Вторичное использование данного вида сырья позволит получить существенный экономический и экологический эффект.

Технология производства строительных материалов на основе стеклобоя достаточно проста, не требует специального оборудования и крупных материальных вложений. После предварительной очистки и

разделения на фракции стеклобой может использоваться для получения широкого спектра композиционных материалов.

### **Библиографический список**

1. Freyssinet устойчивая технология. URL: <https://www.freyssinet.com/solution/repair/structural-strengthening/uhpffc-2/> (дата обращения: 05.05.2024).
2. Мутазаев С-А.Ю., Омаров А.О., Саламанова М.Ш. Высокопрочные бетоны на основе использования вторичных техногенных ресурсов // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Серия «Технические науки». 2018. 45 (1) С. 204–213.
3. Нормирование в области демонтажа и утилизации конструкций зданий и сооружений / Н.Н. Трекин, Э.Н.Кодыш, И.А. Терехов, А.А. Кондратьев // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2023. № 8-2 (83) С. 156–160.
4. Строительные материалы на основе отходов стекла / А.Д. Богатов, С.Н. Богатова, Р.З. Ямбушев, Д.С. Аксенов, Г.П. Свитова // Эксперт: теория и практика. 2023. № 1 (20). С. 44–50.
5. Баруздин А.А., Закревская Л.В., Николаева К.А. Композиционный материал на основе техногенных отходов // Эксперт: теория и практика. 2023. № 2 (21). С. 17–23.
6. Смирнов А.С., Бирюков В.С., Чередниченко Т.Ф. Особенности и возможности конструкционного полимербетона в современном строительстве // Инженерный вестник Дона. 2021. № 6 (78). С. 28–34.
7. Минько Н.И., Калатоzi В.В. Использование стеклобоя в технологии материалов строительного назначения // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2018. № 1. С. 82–88.
8. Бондаренко Н.И., Басов В.О., Даценко А.О. Разработка составов вяжущих с использованием стеклоотходов // Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. 2022. № 1. С. 83–89.
9. Денисов А.В. Влияние минерального состава и структуры заполнителей на термическое расширение обычных и жаростойких бетонов // Московский государственный строительный университет. 2021. С. 3–30.
10. Материал с крупным заполнителем на обжиговой поризованной связке, полученной с использованием стеклобоя / С.А. Коротаев, А.Ф. Атманзин, Н.С. Коротаев, В.Т. Ерофеев // Эксперт: теория и практика. 2023. № 1 (20). С. 86–90.
11. Хмелевской Н.А. Эффективность переработки строительных отходов методом рециклинга // Международный журнал прикладных наук и технологий «Integral». 2020. № 3. С. 108–116.

## CONCRETES WITH GLASS WASTE AGGREGATE

**T.R. Mamedov, Yu.Yu. Kuryatnikov,  
V.B. Petropavlovskaya, E.V. Smirnova**

**Abstract.** *The article considers the problem of involving industrial waste for the production of construction materials. The study showed that the technology of production of building materials based on cullet is quite simple, does not require special equipment and large financial investments. After pre-purification and separation into fractions, the raw material (cullet) can be used to produce a wide range of composite materials.*

**Keywords:** *cullet, binder, concrete, industrial waste, glass waste, building materials.*

Об авторах:

МАМЕДОВ Теймур Ровшанович – студент кафедры производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: timeow@yandex.ru

КУРЯТНИКОВ Юрий Юрьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: yuriy-@yandex.ru

ПЕТРОПАВЛОВСКАЯ Виктория Борисовна – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: victoriapetrop@gmail.com

СМИРНОВА Елена Вячеславовна – специалист 1-й категории по учебно-методической работе кафедры производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: elena020269@yandex.ru

About the authors:

MAMEDOV Teymur Rovshanovich – Student of the Department of Production of Building Materials and Structures, Tver State Technical University, Tver. E-mail: timeow@yandex.ru

KURYATNIKOV Yury Yuryevich – Candidate of Technical Sciences, Docent, Associate Professor of the Department of Production of Building Materials and Structures, Tver State Technical University, Tver. E-mail: yuriy-k@yandex.ru

PETROPAVLOVSKAYA Victoria Borisovna – Doctor of Technical Sciences, Docent, Professor of the Department of Building Materials and

Structures, Tver State Technical University, Tver. E-mail: victoriapetrop@gmail.com

SMIRNOVA Elena Vyacheslavovna – 1<sup>st</sup> Category Specialist in Educational and Methodological Work of the Department of Building Products and Structures Production, Tver State Technical University, Tver. E-mail: elena020269@yandex.ru

**УДК 691.587**

## **САМОУПЛОТНЯЮЩИЕСЯ БЕТОНЫ НА ОСНОВЕ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ**

**А.С. Мицкевич, Ю.Ю. Курятников, Т.Б. Новиченкова, Е.В. Смирнова**

© Мицкевич А.С., Курятников Ю.Ю.,  
Новиченкова Т.Б., Смирнова Е.В., 2024

***Аннотация.** В статье представлены результаты разработки самоуплотняющихся бетонов (СУБ) для изготовления малых архитектурных форм (МАФ). При организации производства МАФ применение традиционных бетонных смесей с крупным заполнителем затруднено. В связи с этим обоснована целесообразность применения в заводских условиях безвибрационной технологии из высокоподвижных самоуплотняющихся смесей и использования в качестве минерального сырья техногенных отходов – мелкого и крупного заполнителя из бетонного лома для снижения себестоимости СУБ.*

***Ключевые слова:** самоуплотняющийся бетон, бетонный лом, техногенные отходы, молотый доменный шлак, модификаторы.*

### **Введение**

В последнее время в строительной отрасли большое внимание уделяется энерго- и ресурсоэффективным материалам. В современном строительстве зданий и сооружений все шире применяются высокотехнологичные бетонные смеси, способные самостоятельно, без какого-либо внешнего механического воздействия, заполнять опалубку, в том числе густоармированную либо со сложной геометрической формой, сохраняя при этом связность и однородность [1].

Использование самоуплотняющегося бетона (СУБ) обеспечивает экономию трудозатрат, не требует специального оборудования для уплотнения смеси, ускоряет производство работ [2]. Самоуплотняющийся бетон – высокотехнологичный материал, свойства которого в значительно

большой степени, чем характеристики обычного бетона, связаны со свойствами и точностью дозировки материалов, применяемых для его изготовления [3].

Несмотря на имеющиеся разработки отечественных ученых, комплексной зависимости *состав – структура – свойства* для СУБ на настоящее время еще не разработано. Структурные параметры бетона, такие как объемная концентрация цементного теста, истинное водоцементное отношение и водопотребность наполнителей, заполнителей и минеральных добавок, являются универсальными величинами для оценки и регулирования свойств и структуры бетона в процессе производства [4]. Установка таких зависимостей – актуальное научное направление в теории проектирования СУБ. По причине высокого расхода цемента, минеральных добавок и значительного объемного содержания растворной составляющей в смеси СУБ обладают пониженным модулем упругости и повышенными деформациями усадки по сравнению с бетонами из жестких смесей и смесей с подвижностью П1–П4 [5]. Кроме того, высокая стоимость компонентов смеси и их большой расход приводят к значительному удорожанию 1 м<sup>3</sup> смеси низких и средних классов по прочности.

Высокая стоимость СУБ обусловлена существенным расходом портландцемента, поэтому многие научные работы посвящены поиску методов сокращения расхода вяжущего без потери свойств СУБ. При проектировании СУБ важно ориентироваться на использование местных сырьевых компонентов в качестве крупных и мелких заполнителей, а также применять активные и инертные минеральные добавки с целью снижения удельной стоимости кубометра бетона. Для снижения стоимости компонентов СУБ целесообразно использовать минеральные добавки из отходов промышленности. Основными активными минеральными добавками техногенного происхождения являются зола-уноса ТЭС и молотый доменный гранулированный шлак [5].

Проблема утилизации отходов промышленности и их применение в качестве сырья для производства строительных материалов актуальна как за рубежом, так и в нашей стране. Это в первую очередь связано с улучшением экологической ситуации и сокращением площадей, необходимых для их хранения. В современном мире использование вторичных заполнителей в качестве альтернативы природным стало распространенной практикой, поскольку это позволяет экономить природные ресурсы, сокращает потребление энергии и уменьшает количество отходов, отправляемых на полигоны [6, 7].

Доменный гранулированный шлак всегда рассматривался в качестве одной из наиболее перспективных минеральных добавок, способных заменить часть клинкера в цементе без значительного снижения его свойств. За счет такой замены в различные периоды развития строительной индустрии решались разнообразные задачи, связанные со

снижением дефицита цемента и себестоимости его производства, повышением стойкости к сульфатной коррозии и эффективности тепловой обработки бетона, уменьшением ресурсоемкости производства и выбросов  $\text{CO}_2$  в атмосферу [8]. Введение шлака в состав СУБ может понижать его морозостойкость и прочность, особенно в раннем возрасте, но при этом шлак повышает коррозионную стойкость, а также улучшает другие характеристики бетона. Снижение ранней прочности бетона при частичной замене портландцемента молотым доменным шлаком может быть компенсировано щелочными активаторами твердения, например:  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{NaOH}$ .

Наряду с минеральными добавками неотъемлемым компонентом СУБ является высокоэффективный поликарбоксилатный суперпластификатор. Эффективные суперпластификаторы на основе модифицированных поликарбоксилатных эфиров снижают предельное напряжение сдвига смесей, существенно повышая их текучесть, в то время как тонкодисперсные минеральные добавки (и/или модификаторы вязкости) повышают вязкость растворной части для предотвращения расслоения бетонной смеси [9]. В то же время разжижающая способность суперпластификаторов весьма чувствительна к особенностям химико-минералогического состава цемента, а также минеральных добавок, что в современном бетоноведении трактуется как «совместимость добавок». Так, поликарбоксилатные суперпластификаторы, как правило, плохо совместимы с высокоалюминатными цементами; их эффективность снижается в условиях повышенного содержания щелочей, низкой температуры окружающей среды [10].

На основании анализа литературных источников установлено, что оптимальное сочетание эффективных суперпластификаторов и высокодисперсных кремнеземсодержащих материалов техногенного происхождения (микрокремнезема, кварцевой муки, молотого доменного шлака) позволяет управлять реологическими свойствами бетонных смесей, модифицировать структуру и свойства самоуплотняющихся бетонов [1, 3].

Стоимость суперпластификаторов на основе поликарбоксилатных эфиров, а также микрокремнезема остается достаточно высокой. Это обуславливает необходимость поиска решений по разработке составов полифункциональных модификаторов на основе различных отходов промышленности для получения бетонных смесей и бетонов с нормируемыми показателями качества [5].

Для снижения стоимости СУБ в качестве заполнителей используют вторичный щебень из бетонного лома. Однако при этом возникает проблема повышения водопотребности бетонной смеси и, как следствие, снижения прочности бетона. Ее решение возможно путем активации вторичного щебня, но это направление требует дальнейших исследований [7–10].

## Материалы и методы

Целью данной научно-исследовательской работы является получение СУБ для изготовления малых архитектурных форм (МАФ) с маркой по удобоукладываемости РК1 без признаков расслоения, классов по прочности В25–В30, а также снижение себестоимости СУБ за счет применения вторичного щебня и отечественного суперпластификатора.

В качестве вяжущего использовался портландцемент ЦЕМ I 42,5Н, в качестве мелкого и крупного заполнителя – соответственно кварцевый песок с  $M_k = 2,1$  и вторичный щебень фракции 5–10 мм. Как минеральная добавка применялся тонкомолотый гранулированный доменный шлак с удельной поверхностью  $450 \text{ м}^2/\text{кг}$ . Натрий сернокислый безводный использовался как активатор твердения, а в качестве суперпластификатора применялся «Полипласт ПК тип S» (15 % сухого вещества) на основе поликарбоксилатных эфиров.

Для изготовления образцов все сухие компоненты смеси дозировались согласно рецепту и перемешивались до получения однородной смеси. Затем добавлялась вода до получения требуемой удобоукладываемости РК1, после чего бетонную смесь заливали в формы с размерами ячеек 10 x 10 x 10 см и ставили в камеру нормального твердения. Образцы испытывали через 7 сут.

## Результаты исследования

По результатам планированного эксперимента получены математические модели зависимостей водоцементного отношения, средней плотности, предела прочности на сжатие от содержания доменного шлака и суперпластификатора. Результаты представлены в таблице и на рис. 1–4.

Матрица планирования и физико-механические свойства СУБ на седьмые сутки твердения в нормальных условиях

№	Уровни факторов		Значения факторов, %		Полученные результаты		
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	Молотый шлак	Полипласт ПК тип S (концентрация 15 %)	Водоцементное отношение	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Прочность на сжатие, МПа
1	–1	–1	20	1	0,57	2,20	28,5
2	+1	–1	30	1	0,67	2,19	26,5
3	–1	+1	20	2	0,49	2,25	35,3
4	+1	+1	30	2	0,57	2,23	29,7
5	0	0	25	1,5	0,56	2,21	29,5
6	+1	0	30	1,5	0,61	2,20	27,9
7	–1	0	20	1,5	0,62	2,21	33,4
8	0	+1	25	2	0,57	2,24	31,8
9	0	–1	25	1	0,62	2,20	27,6



Рис. 1. Зависимость предела прочности СУБ на сжатие от содержания суперпластификатора «Полипласт ПК тип S»

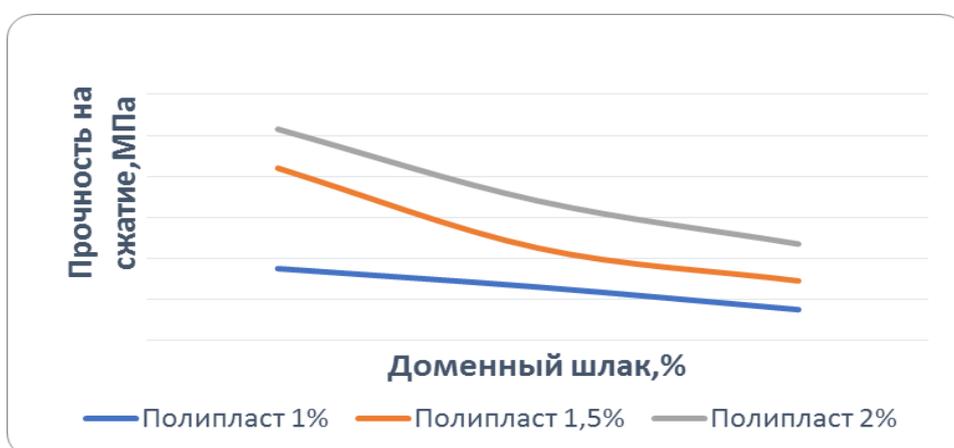


Рис. 2. Зависимость предела прочности СУБ на сжатие от содержания молотого шлака

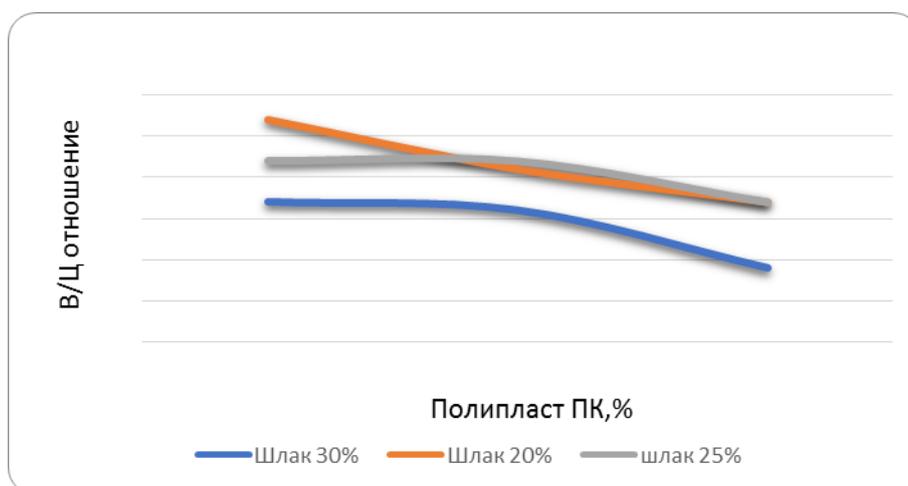


Рис. 3. Зависимость водоцементного (В/Ц) отношения СУБ от содержания суперпластификатора «Полипласт ПК тип S»

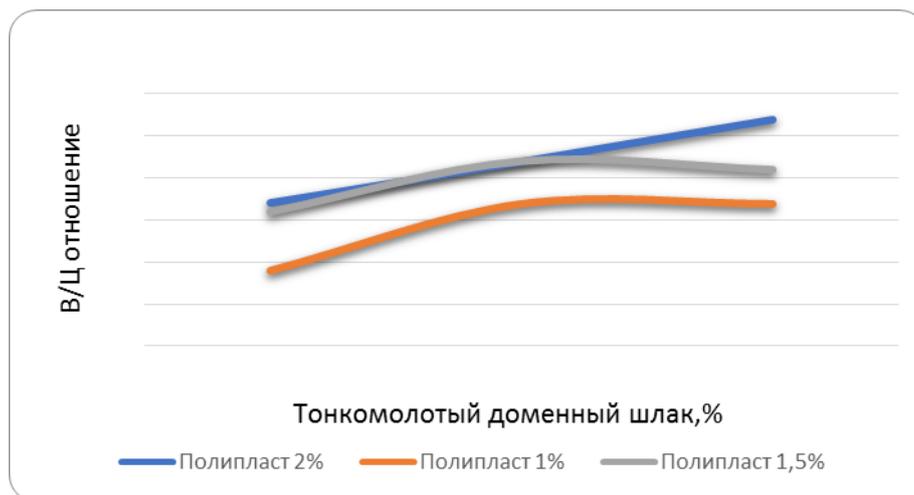


Рис. 4. Зависимость В/Ц-отношения СУБ от содержания молотого шлака

### Обсуждение результатов

Увеличение содержания суперпластификатора ведет к снижению В/Ц отношения и увеличению прочности на сжатие в возрасте 7 сут. При варьировании содержания пластификатора от 1 до 2 % и содержания шлака 20 % рост прочности составляет 27,8 %; при содержании шлака 25 и 30 % рост прочности составляет 22,3 и 10,8 % соответственно, т.е. при увеличении количества шлака в смеси рост прочности уменьшается. Оптимальное количество «Полипласт ПК тип S» (с содержанием 15 % сухого вещества) составляет 1,5–2 % от массы цемента. Цена добавки в 2–2,5 раза ниже аналогов.

Молотый доменный шлак является наполнителем СУБ, регулирует гранулометрический состав зерновой части и реологические свойства смеси, снижает водоотделение смеси, повышает коррозионную стойкость, вводится вместо части цемента, что дает экономический эффект. Увеличение содержания молотого доменного шлака ведет к повышению В/Ц отношения и уменьшению прочности на сжатие в возрасте 7 сут. Введение шлака в количестве менее 20 % экономически нецелесообразно и не дает заметного снижения водоотделения. При варьировании шлака от 20 до 30 % прочность на сжатие уменьшается от 7 до 16 %. Компенсировать уменьшение прочности при введении шлака возможно увеличением дозировки суперпластификатора «Полипласт ПК тип S».

Оптимальным составом при проектировании СУБ класса по прочности В25 можно считать 30 % шлака и 1,5 % «Полипласт ПК тип S». Прочность на седьмые сутки 27,9 МПа составляет 87,2 % от проектной. При проектировании СУБ класса по прочности В30 оптимальным составом является 20 % шлака и 1,5 % «Полипласт ПК тип S» – на седьмые сутки его прочность составляет 33,4 МПа (86,9 % от проектной).

## **Заключение**

Разработанные СУБ можно использовать для изготовления МАФ: цветочниц, урн, скамей, вазонов, которые служат украшением парка, сада или придомовой территории. При организации производства МАФ применение традиционных бетонных смесей с крупным заполнителем затруднительно из-за небольших размеров, тонких стенок и сложной геометрической формы таких изделий. Поэтому в заводских условиях для изготовления МАФ целесообразно применять безвибрационную технологию из высокоподвижных самоуплотняющихся смесей, а в качестве минерального сырья использовать техногенные отходы (мелкий и крупный заполнитель из дробленого бетона) для снижения себестоимости.

## **Библиографический список**

1. Иванова Т.А., Колесникова Л.Г. Оценка эффективности применения бетонного лома в качестве крупного заполнителя для бетона // Инженерный вестник Дона. 2022. № 3. С. 7–10.
2. Шевченко В.А., Шатрова С.А. Исследование возможности получения заполнителя для бетонов из бетонного лома // Эпоха науки. 2017. № 9. С. 2–6.
3. Повышение эффективности бетонов с использованием рециклингового заполнителя / О.А. Ларсен, Н.С. Дмитриев, В.В. Наруть, В.А. Швецова // Техника и технология силикатов. 2021. Т. 26. № 2. С. 46–52.
4. Наруть В.В. Разработка составов самоуплотняющегося бетона на основе бетонного лома с использованием структурных характеристик / О.А. Ларсен, С.В. Самченко, О.В. Александрова, Б.И. Булгаков // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2021. № 4. С. 4–6.
5. Наруть В.В., Ларсен О.А. Оптимизация состава самоуплотняющегося бетона на основе бетонного лома промышленных зданий // БСТ – Бюллетень строительной техники. 2020. № 3 (1027). С. 56–59
6. Физико-механические особенности материалов на основе бетонного лома / Д.С. Денисевич, А.В. Димакова, А.В. Шнайдер, Е.Е. Ибе // Вестник Евразийской науки. 2020. № 3. С. 4–6.
7. Повышение коррозионной стойкости бетонов путем применения активных заполнителей второго типа / Н.М. Тольпина, Е.М. Щигорева, М.В. Головин, Д.С. Щигорев // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2019. № 2. С. 27–32.
8. Композиционные вяжущие на основе бетонного лома / Р.В. Лесовик, А.А.А. Ахмед, С.К.Ш. Аль Мамури, Т.С. Гунченко // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. 2020. № 7. С. 1–3.

9. Магсумов А.Н. Шарипьянов Н.М. Использование бетонного лома в качестве крупного заполнителя для производства бетонных смесей // Символ науки. 2018. № 6. С. 3–4.

10. Бедов А.И. Ткач Е.В., Пахратдинов А.А. Вопросы утилизации отходов бетонного лома для получения крупного заполнителя в производстве железобетонных изгибаемых элементов // Вестник МГСУ. 2016. № 5. С. 91–93.

## SELF-COMPACTING CONCRETE BASED ON MAN-MADE WASTE

A.S. Mitskevich, Yu.Yu. Kuryatnikov, T.B. Novichenkova, E.V. Smirnova

***Abstract.** This article presents the results of the development of self-compacting concrete (SUB) for the manufacture of small architectural forms (MAF). When organizing the production of IAF, due to the small size, thin walls and complex geometric shape of the products, the use of traditional concrete mixes with a large filler is difficult. Therefore, it is advisable to use vibration-free technology from highly mobile self-compacting mixtures in factory conditions for the manufacture of MAF, and to use man-made waste as mineral raw materials - small and large aggregates from concrete scrap to reduce cost.*

***Keywords:** self-compacting concrete, concrete scrap, man-made waste, ground blast furnace slag, modifiers.*

Об авторах:

МИЦКЕВИЧ Анастасия Сергеевна – студентка кафедры производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственной технической университет», Тверь. E-mail: anastasiamickevic85@gmail.com

КУРЯТНИКОВ Юрий Юрьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственной технической университет», Тверь. E-mail: yuriy-@yandex.ru

НОВИЧЕНКОВА Татьяна Борисовна – кандидат технических наук, доцент кафедры производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственной технической университет», Тверь. E-mail: tanovi.69@mail.ru

СМИРНОВА Елена Вячеславовна – специалист 1-й категории по учебно-методической работе кафедры производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственной технической университет», Тверь. E-mail: elena020269@yandex.ru

About the authors:

MITSKEVICH Anastasia Sergeevna – Student of the Department of Production of Building Materials and Structures, Tver State Technical University, Tver. E-mail: anastasiamickevic85@gmail.com

KURYATNIKOV Yury Yuryevich – Candidate of Technical Sciences, Docent, Associate Professor of the Department of Production of Building Materials and Structures, Tver State Technical University, Tver. E-mail: yuriy-k@yandex.ru

NOVICHENKOVA Tatiana Borisovna – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Building Products and Structures Production, Tver State Technical University, Tver. E-mail: tanovi.69@mail.ru

SMIRNOVA Elena Vyacheslavovna – 1<sup>st</sup> Category Specialist in Educational and Methodological Work of the Department of Building Products and Structures Production, Tver State Technical University, Tver. E-mail: elena020269@yandex.ru

**УДК 691.1**

## **ПРИМЕНЕНИЕ ТОРФА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

**Т.Б. Новиченкова, К.С. Петропавловский, В.Б. Петропавловская**

© Новиченкова Т.Б., Петропавловский К.С.,  
Петропавловская В.Б., 2024

***Аннотация.** Статья посвящена изучению физико-механических свойств материала, полученного на основе торфа и поливинилацетата. Показано, что при различных концентрациях раствора поливинилацетата получается материал прочностью порядка 6 МПа.*

***Ключевые слова:** торф, поливинилацетат, прочность, экологичные строительные материалы.*

Заторфованность на территории Российской Федерации достигает 14 %. Тверская область располагает самыми богатыми запасами торфа в Центральном экономическом районе России. По количеству разведанных месторождений торфа регион занимает первое место в Центральном федеральном округе.

Торфяные ресурсы области сосредоточены на 2 834 месторождениях, из которых 980 месторождений, площадью более 10 Га, имеют балансовые запасы торфа 661 859 тыс. т. Месторождения торфа отмечены во всех

административных районах области. В настоящее время в лицензионном пользовании находится десять месторождений с общими запасами торфа 5 933 тыс. т [1].

Основу торфа составляют структуры переплетения остатков растений-торфообразователей, надмолекулярные комплексы продуктов распада и вещества органического и минерального происхождения, находящиеся в равновесии со свободным раствором низко- и высокомолекулярных соединений, таких как целлюлоза, гемицеллюлоза, гуминовые вещества, фульвокислоты и др.

Основу макроструктуры торфа составляют переплетенные между собой растительные остатки. Растительные неразложившиеся волокна являются полуколлоидно-высокомолекулярной составляющей, которая может быть непосредственно связана с грубодисперсной фракцией или может механически заполнять ячейки структурного каркаса. В свою очередь, растительный каркас состоит из растворимых, легко-, трудно- и негидролизруемых веществ, процентное содержание которых зависит от типа растений и степени разложения торфа. Микроструктура самих растительных волокон представлена заполненными водой клетками, стенки которых армированы ориентированными цепями макромолекул целлюлозы, образующими фибриллы с боковыми поверхностями, заполненными гемицеллюлозой и лигнином. Чем больше степень разложения торфа, тем меньше в нем содержится целлюлозы [2].

Эффективное и рациональное использование такого запаса ресурсов дает возможность получить уникальный материал низкой стоимости за счет применения недефицитного сырья, малых энергозатрат и простой технологии производства.

К приоритетным направлениям развития новых строительных материалов относится создание теплосберегающих и малоотходных технологий, позволяющих максимально использовать природные сырьевые компоненты, а также местные некондиционные отходы. Многие теплоизоляционные материалы, применяемые в строительной индустрии, производятся на основе полимеров, недостатками которых являются невысокая долговечность, плохая адгезионная способность, выделение токсических веществ при эксплуатации, а также невысокая прочность при сжатии и при изгибе и др. Кроме того, при создании строительных материалов мало внимания уделяется их экологической безопасности, хотя это один из важнейших показателей при строительстве зданий как жилого, так и промышленного назначения [3].

Помимо применения торфа в энергетическом, промышленном и агрохимическом комплексах открыта еще одна широкая область применения – сырье для производства строительных материалов [4, 5].

Особого внимания при производстве строительных материалов с улучшенными теплофизическими свойствами заслуживает применение торфа, представляющего собой почвенную массу с достаточно высокими теплоизолирующими свойствами, с добавлением поливинилацетата в качестве связующего [6].

Поливинилацетатные полимерные материалы в виде водных эмульсий находят широкое применение в строительной отрасли. Поливинилацетат входит в различные клеевые составы для строительных работ, лакокрасочные материалы, добавки в штукатурку, связующее для теплоизоляционных материалов [7, 8]. Это связано с его хорошими адгезионными характеристиками ко многим материалам, сравнительно невысокой стоимостью и малой токсичностью [9, 10].

Существенным недостатком поливинилацетатных связующих является недостаточная устойчивость к воздействию неблагоприятных внешних факторов, таких как влага, УФ-излучение [11].

Как известно, повысить влагостойкость полимеров можно введением кремнийорганических соединений, однокомпонентных и двухкомпонентных полиуретанов [12].

В ходе исследования свойств основного заполнителя для строительных материалов – верхового торфа Редкинского месторождения с фракцией 0–40 мм – в качестве связующего был использован раствор воды и поливинилацетата с вязкостью 7 000–12 000 МПа\*с, теплостойкостью от –30 до 110 °С и силой схватывания до 30 кг/см<sup>2</sup>. Были изготовлены образцы-кубы размерами 2 x 2 x 2 см с разным содержанием раствора, состоящего из воды и поливинилацетата (табл. 1).

*Таблица 1*

Составы композиций

№ состава	Содержание торфа, %	Эмульсия поливинилацетата, %
1	35,7	64,3
2	38,5	61,5
3	41,7	58,3

Приготовление сырьевых смесей из торфа, высушенного до постоянной массы, и раствора воды и поливинилацетата выполнялось вручную с перемешиванием в течение пяти минут. Формовка образцов производилась штыкованием в количестве 10 раз. Образцы-кубы сушились при естественных условиях с влажностью воздуха  $\varphi = 60\%$  в течение двух дней.

Испытание по определению прочности на сжатие ( $R_{сж}$ ) проводилось на гидравлическом прессе (по ГОСТ 28840-90) по стандартной методике определения прочности на сжатие материалов и изделий строительных теплоизоляционных по ГОСТ 17177-94.

В первом варианте использовались торф измельченный и эмульсия поливинилацетата. Соотношение «вода : поливинилацетат» было принято равным 1 : 2. Испытания производились на образцах-кубах размерами 2 x 2 x 2 см с разным содержанием эмульсии (табл. 2).

Таблица 2

Составы композиций

№ состава	Содержание торфа, %	Содержание раствора, %
1	38,5	61,5
2	41,7	58,3
3	45,5	54,5

В ходе исследований были получены зависимости прочности на сжатие образца от процентного содержания раствора (рис. 1), плотности образца от процентного содержания раствора (рис. 2).

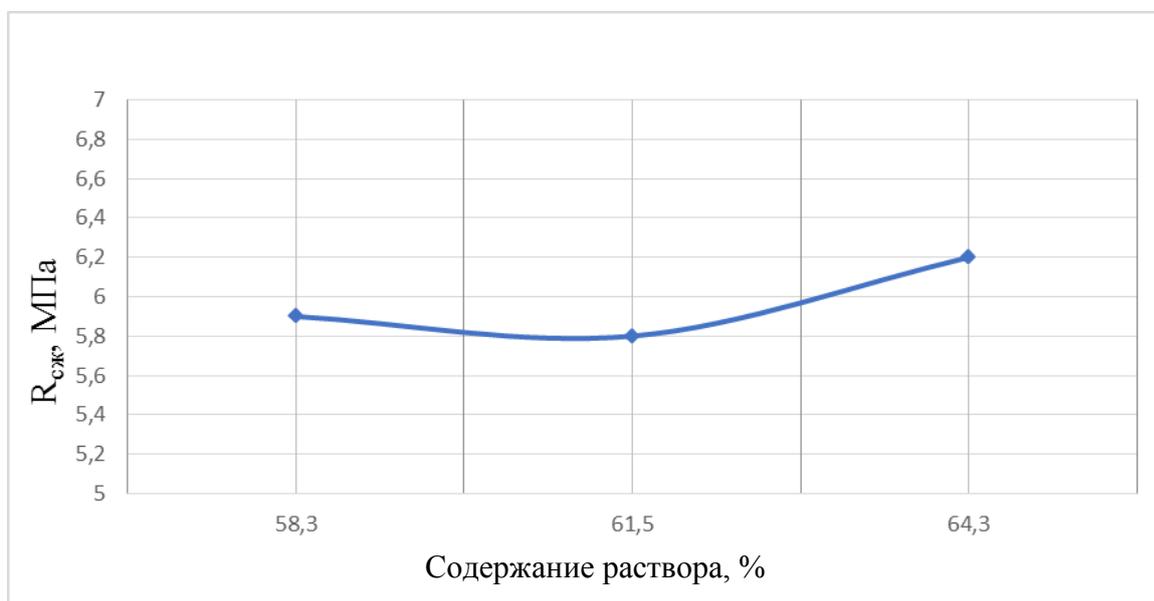


Рис. 1. Зависимость прочности на сжатие от процентного содержания раствора

Как видно из приведенного выше графика зависимости прочности от процентного содержания раствора, наиболее высокой прочностью на сжатие ( $R_{сж} = 6,2$  МПа) обладает образец с содержанием 64,3 % раствора.

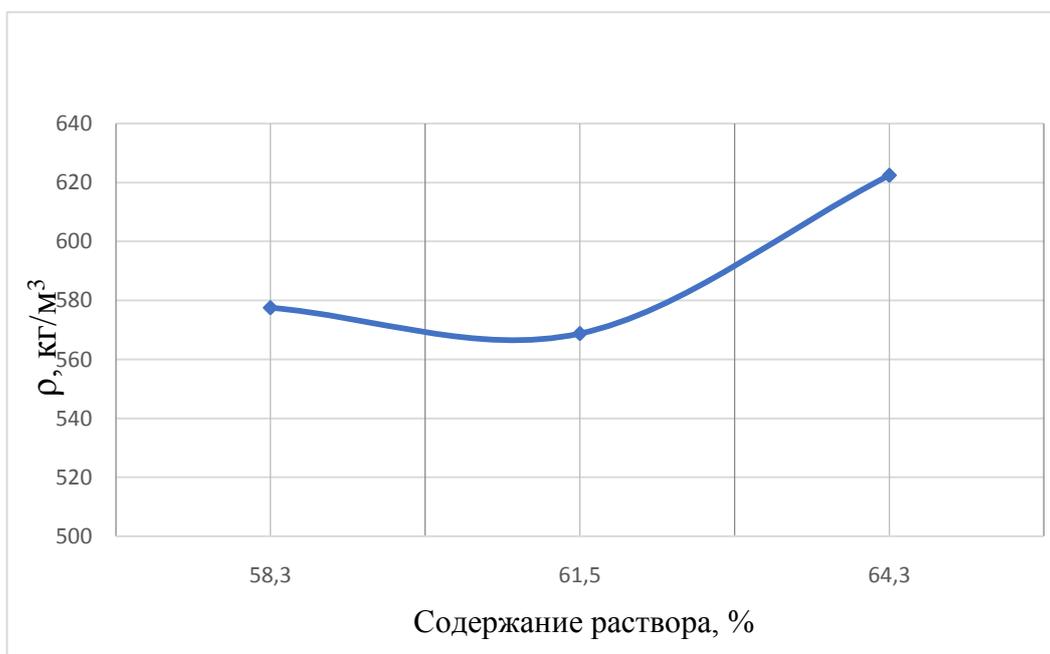


Рис. 2. Зависимость плотности от процентного содержания раствора

Из данного графика зависимости плотности ( $\rho_0$ ) от процентного содержания раствора следует, что наибольшую плотность ( $\rho_0 = 622,5$  кг/м<sup>3</sup>) имеет образец с содержанием раствора 64,3 %.

Во втором варианте использовались торф измельченный и раствор вода : поливинилацетат в концентрации 1 : 1. Были изготовлены образцы-кубы размерами 2 x 2 x 2 см с разным содержанием раствора, состоящего из воды и поливинилацетата (см. табл. 2).

В ходе исследований были получены зависимости прочности на сжатие образца от процентного содержания раствора (рис. 3), плотности образца от процентного содержания раствора (рис. 4).

Как видно из графика зависимости прочности на сжатие ( $R_{сж}$ ) от содержания раствора, наиболее высокой прочностью ( $R_{сж} = 5,85$  МПа) обладает образец, содержащий 61,5 % раствора.

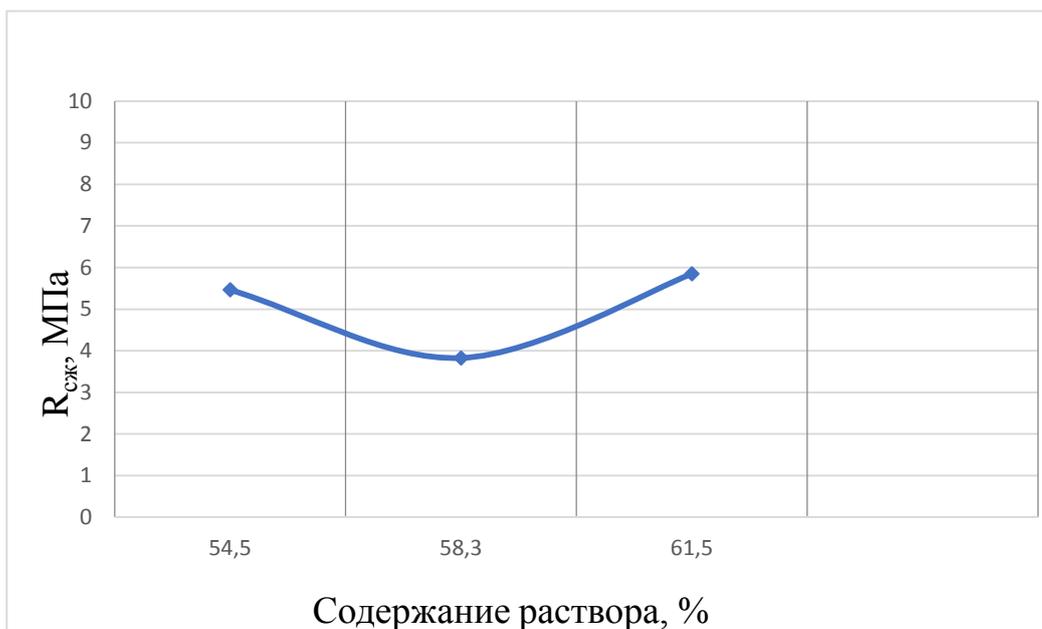


Рис. 3. Зависимость прочности на сжатие от содержания раствора

Из графика зависимости плотности ( $\rho_0$ ) от процентного содержания раствора видно, что самой большой плотностью ( $\rho_0 = 664,55 \text{ кг/м}^3$ ) обладает образец с процентным содержанием раствора 61,5 %.

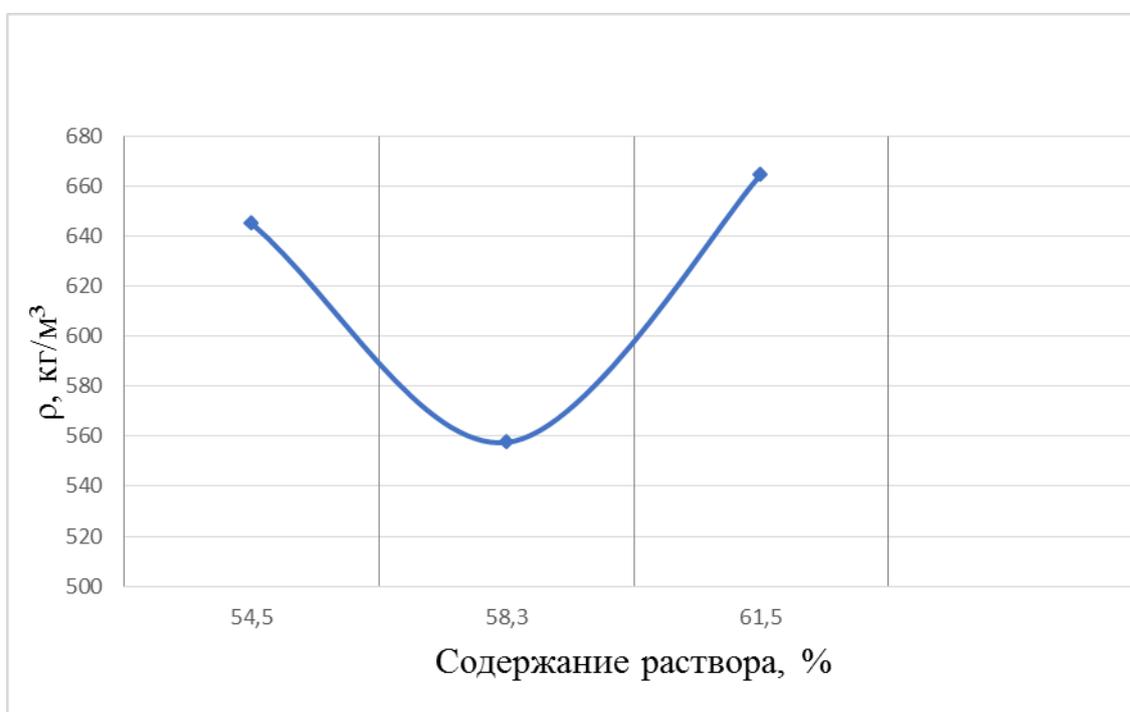


Рис. 4. Зависимость плотности от содержания раствора

Таким образом, на основе торфа и поливинилацетата можно получить материал с прочностью  $R_{сж} = 6,2$  МПа и плотностью  $\rho_0 = 622,5$  кг/м<sup>3</sup>. Варьируя концентрацию раствора, а также содержание его в составе сырьевой смеси, можно получить материал с характеристиками, соответствующими различным категориям.

Из вышеизложенного следует, что разработка материала на основе торфа и поливинилацетата является перспективным направлением в области теплоизоляционных материалов.

### **Библиографический список**

1. Правительство Тверской области, официальный сайт. Актуальная версия страницы на 21 апреля 2021 г. URL: <https://тверская.область.рф/ekonomika-regiona/prirodopolzovanie-v-tverskoj-oblasti/ned/?print=y#:~:text=Торфяные%20ресурсы%20области%20сосредоточены%20на,во%20всех%20административных%20районах%20области> (дата обращения: 23.03.2024).

2. Жигульская А.И. Использование добавок на основе торфа и его древесных включений // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2012. № 3 С. 118–124.

3. Гуюмджян П.П., Ветренко Т.Г., Виталова Н.М. Производство экологически безопасных строительных материалов на основе торфа и гипса // Вестник МГСУ. 2012. № 1. С. 94–99.

4. Копаница Н.О., Кудяков А.И., Ковалева М.А. Теплоизоляционные торфо-древесные теплоизоляционные строительные материалы. Томск: SST, 2009. 183 с.

5. Радаев С.С., Кудоманов М.В., Юмина В.А. К вопросу о применении торфа в производстве эффективных теплоизоляционных строительных материалов // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. 2018. № 4. С. 83–85.

6. Горкольцева Д.С. Исследование физико-механических свойств теплоизоляционных материалов на основе торфа // Перспективы развития фундаментальных наук: сборник научных трудов XVII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Томск: Издательство Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники, 2020. Т. 6. С. 36–38.

7. Поливинилацетатные лакокрасочные материалы, модифицированные водными парафиновыми дисперсиями / А.Е. Терешко [и др.] // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. 2006. Т. 49. № 3. С. 67–69.

8. Модификация поливинилацетатной дисперсии глиоксалем для получения защитных покрытий и клеев / В.Т. Новиков [и др.] // Лакокрасочные материалы и их применение. 2012. № 10. С. 32–33.

9. Chukhlanov V.Yu., Ionova M. Water Repellent Polymer Coating Based on Oligopiperillene styrene and Alkoxysilane // American Journal of Polymer Science. 2013. Vol. 3. № 1, pp. 1–5.

10. Кислова Ю. Российский рынок дисперсий ПВА // Лакокрасочные материалы и их применение. 2011. № 1–2. С. 8–9.

11. Новые лакокрасочные материалы на основе модифицированных пипериленистирольных связующих с использованием гальваношлама в качестве наполнителя / В.Ю. Чухланов [и др.] // Лакокрасочные материалы и их применение. 2012. № 12. С. 52–55.

12. Чухланов В.Ю., Ионова М.А. Полиуретановое покрытие, модифицированное алкоксисиланом с повышенными эксплуатационными свойствами // Строительные материалы. 2012. № 4. С. 60–61.

## THE USE OF PEAT IN CONSTRUCTION

**T.B. Novichenkova, K.S. Petropavlovskii, V.B. Petropavlovskaya**

*Abstract.* The article is devoted to the study of the physical and mechanical properties of the material obtained on the basis of peat and polyvinyl acetate. It is shown that at different concentrations of the polyvinyl acetate solution, a material with a strength of about 6 MPa is obtained.

*Keywords:* peat, polyvinyl acetate, strength, eco-friendly building materials.

Об авторах:

НОВИЧЕНКОВА Татьяна Борисовна – кандидат технических наук, доцент кафедры производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: tanovi.69@mail.ru

ПЕТРОПАВЛОВСКИЙ Кирилл Сергеевич – кандидат технических наук, научный сотрудник, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: kspetropavlovsky@gmail.com

ПЕТРОПАВЛОВСКАЯ Виктория Борисовна – доктор технических наук, профессор кафедры производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: victoriapetrop@gmail.com

About the authors:

NOVICHENKOVA Tatiana Borisovna – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Production of Building Materials and Structures, Tver State Technical University, Tver. E-mail: tanovi.69@mail.ru

PETROPAVLOVSKII Kirill Sergeevich – Candidate of Technical Sciences, Research Associate, Tver State Technical University, Tver. E-mail: kspetropavlovsky@gmail.com

PETROPAVLOVSKAYA Victoria Borisovna – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Production of Building Materials and Structures, Tver State Technical University, Tver. E-mail: victoriapetrop@gmail.com

УДК 691.587

## ЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ СУХИЕ СМЕСИ ДЛЯ ПЕНОБЕТОНА

Д.С. Паньшин, М.А. Смирнов, В.И. Трофимов, В.В. Белов

© Паньшин Д.С., Смирнов М.А.,  
Трофимов В.И., Белов В.В., 2024

*Аннотация.* В данной работе проанализированы современные перспективы использования теплоизоляционных сухих смесей для пенобетона, а также приведены данные исследования об изменении свойств пенобетона в зависимости от его состава и добавок.

*Ключевые слова:* эффективные пенобетоны, теплоизоляционные пенобетоны, пенобетоны на различных вяжущих.

### Введение

На сегодняшний день в России растут темпы и объемы строительства, что ведет к увеличению спроса не только на основные строительные материалы, такие как бетон, сталь, древесина и другие, но и на материалы, имеющие специальные свойства. К ним, в частности, относятся теплоизоляционные материалы. Как правило, в настоящее время используют готовые плиты теплоизоляционного материала, но как с финансовой, так и с технологической точки зрения данный вид теплоизоляции не полностью удовлетворяет требованиям современного строительства. Для замены этих плит можно предложить сухие теплоизоляционные смеси, которые дешевле и технологичнее при возведении здания, а также более долговечны и эффективны. Одним из видов таких сухих теплоизоляционных смесей может стать пенобетон, который помимо своих теплоизоляционных свойств обладает улучшенными прочностными и эксплуатационными свойствами и может быть использован для производства готовых изделий на заводах.

Целью работы является изучение возможности улучшения свойств пенобетона путем изменения его состава.

### Способ получения сухой смеси для пенобетона

Для приготовления сухой смеси для легких поризованных бетонов (ЛПБ) в работе использовали портландцемент ПЦ500 ДО (ЦЕМ 142.5); в качестве заполнителей – гранулированное пеностекло на основе стекольного боя с насыпной плотностью от 130 до 275 кг/м<sup>3</sup>, керамзитовый гравий по ГОСТ 324962013 марок D300, D400 и вспененные гранулы полистирола с насыпной плотностью 10 кг/м<sup>3</sup>. Для вспенивания цементной матрицы применяли пенообразователь «Роатисет» на основе гидролизованного протеина – кератина. В качестве наномодификатора использовали золь поликремниевой кислоты КЗ-ТМ-30. Выполненные ранее исследования показали высокую эффективность кремнезоль, которые также могут быть использованы в технологии получения сухих смесей [1].

Производство легких поризованных бетонов на основе сухих механоактивированных смесей (рис. 1) включает в себя выпуск трех видов товарной продукции: сухой смеси для пенобетона, сухой смеси с легким заполнителем для изготовления ЛПБ (ССЛПБ) и товарной легкобетонной смеси для монолитного строительства и изготовления стеновых блоков заводского изготовления [1].

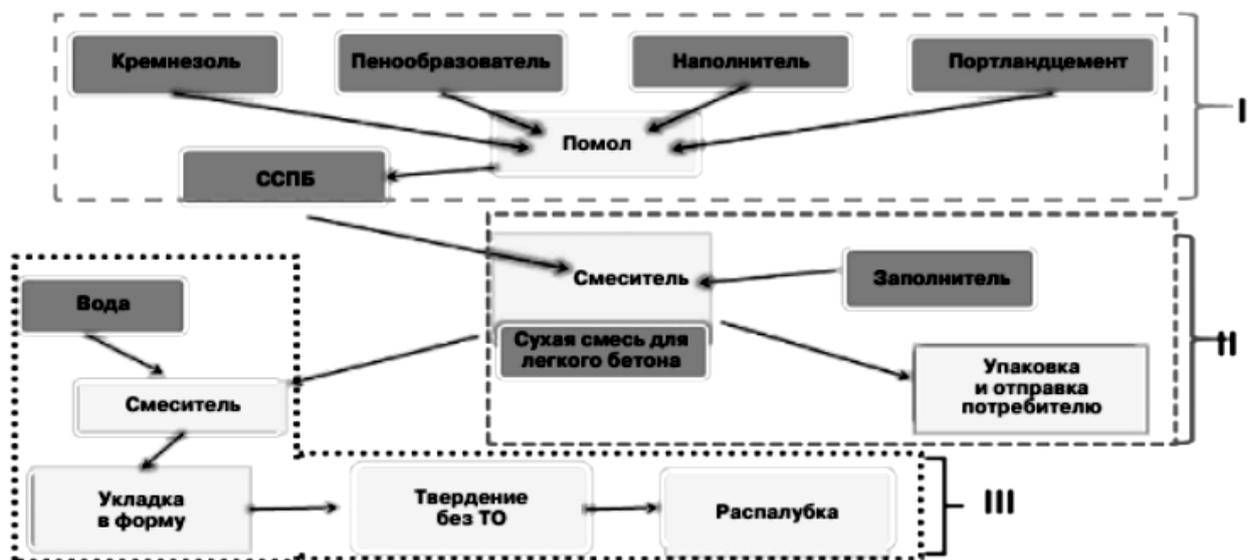


Рис. 1. Принципиальная схема производства ЛПБ с пористым заполнителем [1] (ТО – тепловая обработка)

Затворение ССЛПБ водой производится в смесителе с образованием бетонной массы. После ее заливки в формы изделия выдерживаются в камере при температуре 25–30 °С в течение восьми часов. Затем блоки из

ЛПБ извлекаются из форм и в течение семи суток дозревают на складе при температуре не ниже +15 °С [2, 3].

### **Зависимость свойств пенобетона от вяжущего**

При производстве любых сухих смесей в первую очередь встает вопрос о составе этой смеси. Сначала нужно определиться с видом вяжущего, так как именно от него в большей степени будут зависеть свойства как самой смеси, так и изделий из нее. На основе обзора научных статей [4–7] была составлена зависимость важных свойств пенобетонной смеси от вида вяжущего, входящего в ее состав.

Выявлено, что максимальное значение средней плотности имеют изделия на основе портландцемента. Средняя плотность пенобетонного образца из смеси, состоящей из 30 % цемента и 70 % песка, равна 970 кг/м<sup>3</sup>, а при увеличении доли цемента до 70 % средняя плотность изделий уменьшается до 810 кг/м<sup>3</sup>, т.е. на 20 %. В данном случае это связано с плотностью цемента, значительно меньшей, чем у песка (табл. 1).

*Таблица 1*

Влияние вида вяжущего на свойства пенобетона [4]

Вид вяжущего	Состав смеси, %	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Водопоглощение, %	Предел прочности при сжатии, МПа
Портландцемент	Ц – 30 П – 70	970	23,5	2,1
	Ц – 50 П – 50	880	24,5	2,8
	Ц – 70 П – 30	810	26,3	3,2
Строительный гипс	Г – 30 П – 70	780	31,4	1,8
	Г – 50 П – 50	670	33,6	1,5
	Г – 70 П – 30	590	37,4	1,3
Известь	И – 30 П – 70	860	24,7	1,6
	И – 50 П – 50	770	26,4	1,3
	И – 70 П – 30	680	27,1	0,9

В случае использования местного строительного гипса в качестве вяжущего средняя плотность полученного материала уменьшается. Пенобетон, содержащий 30, 50 и 70 % гипса, имеет среднюю плотность 780, 670, 590 кг/м<sup>3</sup> соответственно. По сравнению с пенобетоном на основе цементного вяжущего, при применении строительного гипса средняя

плотность изделий снижается на 20–30 %, что связано с малым весом самого строительного гипса и получением более пластичного гипсового теста [5]. Выявлено, что в случае со строительным гипсом количество воды на 25 % больше, чем при использовании цемента. Установлено, что пористость пенобетона на основе строительного гипса значительно выше по сравнению с пенобетоном из цемента. Большая микропористость гипсового камня между твердыми зернами песка обусловлена воздухововлекающей способностью гипса [6].

При использовании извести средняя плотность получаемого материала занимает промежуточное положение между цементным и гипсовым пенобетоном. При содержании 30, 50 и 70 % извести в составе смеси объемная масса получаемого пенобетона равна 860, 770 и 680 кг/м<sup>3</sup> соответственно, что значительно больше, чем в случае с гипсопенобетоном [7].

Следует отметить, что по сравнению с гипсопенобетоном и цементным пенобетоном пенобетон на основе извести затвердевает значительно дольше в силу другого механизма твердения. Образование кристаллов гидрооксида кальция и карбонизация  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  происходит намного медленнее, чем гидратация гипсовых и цементных частиц [7].

#### **Зависимость свойств пенобетона от количества воды затворения**

Для того чтобы сухая смесь была пригодна к использованию, она должна быть затворена определенным количеством воды, но, как известно из опыта обращения с другими смесями, количество воды затворения напрямую влияет на свойства готового изделия, пенобетонная смесь не является исключением из данного правила [8].

Для подбора оптимального количества воды затворения (далее – В/Ц отношение) была проанализирована научная статья [8], где исследовано влияние В/Ц отношения на свойства получаемого пенобетона.

Незначительный объем твердых компонентов и увеличение содержания пенообразователя, снижающего смачиваемость поверхности гидратационных вяжущих, требуют для формирования структуры пенобетона пониженной плотности достаточного количества воды. Согласно исследованиям, при увеличении В/Ц отношения теплоизоляционного пенобетона наблюдаются оптимизация макроструктуры и рост прочности материала [8].

Одной из распространенных технологических мер в решении ряда проблем, имеющих место при получении материала (усадочные трещины, неоднородность характеристик конечного продукта и потеря устойчивости вспениваемой массы), является водоредуцирование. Так, по данным публикации, разработанный способ изготовления пенобетона, основанный на двухстадийном вспенивании, позволяет снизить В/Ц отношение и повысить качество структуры. Проводятся исследования и в области усовершенствования пенобетона за счет применения комплексных

модификаторов из мелкодисперсных наполнителей и пластифицирующих добавок [8].

Между тем назначение количества воды в пенобетонной смеси без учета степени заполнения межпорового пространства чревато недоиспользованием потенциала вяжущего компонента и снижением качества продукции. Особенно это касается пенобетона пониженной плотности, где объем твердых компонентов ничтожно мал [8].

Чтобы правильно сориентироваться в многообразии предложений по модификации пенобетона, необходимо определить оптимальное количество воды в пенобетонной смеси, обозначить и исследовать факторы, влияющие на ее значение (например, параметры макроструктуры материала). Одно из условий проявления вяжущих свойств – наличие хорошо смачиваемой дисперсионной среды. При этом смачиваемость поверхности обеспечивается как особенностями дисперсионной среды – полярной жидкости, так и спецификой смачиваемой поверхности. Межпоровое пространство в пенобетоне ограничено наличием молекул пенообразователя, поэтому при сужении толщины межпоровой перегородки в результате исключения доли воды возможно изменение поверхностных свойств вяжущего компонента. В связи с этим толщина перегородки, размер пор и их упаковка приобретают решающую роль в назначении В/Ц отношения пенобетонной смеси [8].

При планировании состава пенобетона следует исходить как из характеристик сырьевых компонентов, так и из заданных параметров микро- и макроструктуры материала с учетом необходимых условий для их образования. Развитие математического моделирования и решение задач плотной упаковки позволяют осуществить такой подход к проектированию состава пенобетона. Если в области производства тяжелого бетона подбору зернового состава заполнителя уделено достаточно внимания (на предмет сокращения расхода цемента и воды), то применительно к пенобетону эта тема практически не затронута [8].

#### **Зависимость свойств пенобетона от добавок**

Для улучшения свойств любых смесей, в том числе и сухих, традиционно используются различные добавки и наполнители, которые могут служить как для улучшения определенных свойств смесей, так и для уменьшения его себестоимости. Рассмотрим возможность и целесообразность введения новейших наполнителей – перлитовых микросфер и целлюлозных волокон.

Влияние наполнителя на основе перлитовых микросфер на свойства пенобетона исследовано авторами статьи [9].

Основными преимуществами использования перлита в строительстве являются отличные звукоизоляционные и высокие теплоизоляционные свойства, огнеупорность, низкая плотность, неограниченный срок годности. Благодаря своим качествам, вспученный перлит нашел широкое

применение в промышленности и строительстве в качестве теплоизоляционных засыпок в температурном диапазоне от  $-200$  до  $875$  °С. На его основе изготавливают многочисленные теплоизоляционные продукты (стенные блоки и изоляционные панели), применяют в качестве заполнителя при производстве теплоизоляционных и жаростойких бетонов. Кроме того, вспученный перлит служит в качестве легкой добавки для штукатурок, гипса, строительных растворов и стяжек [9].

С развитием современных технологий на рынке строительных материалов появились микросферы перлита, которые представляют собой сферические поликамерные замкнутые полые микрочастицы со средним размером  $130$  мкм, заполненные разреженным газом. По химическому составу они состоят в основном из оксида кремния и оксида алюминия. Это пожаробезопасный, нетоксичный, радиационно безопасный материал. Микросферы перлита обладают большей прочностью по сравнению с перлитовым песком, который может разрушаться при смешивании его с растворной или бетонной смесью [9].

При введении микросфер в раствор для всех составов наблюдается повышение качественных показателей пены. Наилучшее влияние на пену оказывает совместное введение перлита и золы. При добавлении в пенобетон микросфер перлита вместо золы коэффициент использования пены увеличивается на  $18\%$  и достигает  $30\%$  (для количества микросфер  $25\%$ ) [9].

При введении микросфер плотность материала снижается до марки  $0350$  (что составляет  $53\%$ ). При полном замещении золы микросферами плотность соответствует марке  $D250$ , при этом наблюдается достаточно равномерная пористость. Наибольшая плотность и прочность образцов отмечаются при процентном соотношении перлита и золы  $50 : 50$ . Результаты исследования приведены в табл. 2 [9].

Таблица 2

Зависимость прочности при сжатии и плотности образцов пенобетона от количества микросфер перлита [9]

№	$\frac{\text{Перлит}}{\text{Зола}}, \%$	Средняя плотность, $\text{кг/м}^3$	Предел прочности при сжатии, МПа	Коэффициент теплопроводности, $\text{Вт/(м}^\circ\text{C)}$
1	0/100	547	1,22	0,122
2	25/75	347	0,68	0,074
3	50/50	383	1,04	0,079
4	75/25	313	0,70	0,069
5	100/0	258	0,56	0,062

Влияние волокнистого целлюлозного наполнителя на свойства пенобетона рассмотрено авторами статьи [10].

В целях повышения прочности пенобетонных изделий с уменьшением их плотности и теплопроводности использовался волокнистый целлюлозный наполнитель с размером волокон 10–40 мкм [10].

В результате проведенных исследований способов введения волокнистого целлюлозного наполнителя в пенобетонную смесь отмечено, что при использовании способа сухой минерализации наблюдались неравномерная структура модифицированного пенобетона, повышение средней плотности пенобетонного массива и снижение прочностных характеристик. Данный дефект объясняется разрушением пены при быстром истечении жидкости через каналы Плато [10].

Частицы наполнителей активно участвуют в организации структуры пенобетонной смеси и образцов на ее основе, влияя на формирование средней плотности и пористости пенобетона. Введение технического углерода приводит к снижению сорбционного водопоглощения по сравнению с контрольным образцом, не содержащим технический углерод. Данный эффект объясняют частичной механической коагуляцией внутренней поверхности пор и капилляров гидратирующихся цементных частиц за счет высокой дисперсности и гидрофобности частиц технического углерода [10].

Наиболее качественные образцы получаются при отдельной стабилизации пены техническим углеродом (состав № 4). Стабилизация пены происходит в результате эффекта «бронирования» каналов Плато частицами гидрофобного углерода, который препятствует быстрому истечению жидкости, при этом создавая в пене пространственный каркас, обеспечивающий ее устойчивость при введении цементного раствора, где аналогичным образом работает волокнистый целлюлозный наполнитель. Последний, покрытый тонкой пленкой цементного раствора, при попадании в ячеистую среду пены фиксируется в межпоровых перегородках вместе с частицами технического углерода на протяжении всего процесса гидратации и твердения цементного камня [8]. Тем самым волокнистый целлюлозный наполнитель при концентрации 1,4 % от общей массы компонентов смеси (10–12 кг/м<sup>3</sup> конструкционно-теплоизоляционного пенобетона) выполняет роль стабилизатора ячеистой структуры, обеспечивая повышение прочности до 2,9–3,15 МПа, при низких значениях средней плотности (до 530 кг/м<sup>3</sup>) и коэффициенте теплопроводности до 0,12 Вт/(м\*К) [10].

### **Заключение**

С учетом вышеизложенного можно подобрать наиболее эффективные сухие смеси для разных способов применения. Так, для теплоизоляции на объектах и площадках лучше всего подойдут сухие пенобетонные смеси на основе портландцементного вяжущего с высоким

количеством воды затворения (для придачи смеси большей подвижности). В связи с тем, что с увеличением количества воды прочность пенобетона падает, предлагается вводить в состав смеси перлитовые микросферы. Для производства теплоизоляционных изделий можно использовать смеси на основе гипсового вяжущего с низким количеством воды затворения, а для улучшения свойств готового изделия предлагается вводить целлюлозные волокна, которые плохо подходят для сухих смесей, применяемых на стройплощадках. В то же время сухие смеси на основе известкового вяжущего в настоящее время не выдерживают конкуренции с другими наполнителями. В перспективе могут быть получены специальные добавки, которые позволят использовать пенобетоны на основе известкового вяжущего более эффективно, но на данный момент стоит воздержаться от их применения, так как для своего нормального твердения они требуют особых условий, которые невозможно обеспечить на стройплощадке. Таким образом, оптимальным вариантом для получения пенобетона являются сухие смеси.

#### **Библиографический список**

1. Хозин В.Г., Красникова Н.М., Ерусланова Э.В. Легкие поризованные бетоны на основе сухих смесей // Строительные материалы. 2018. № 9. С. 40–45.
2. Особенности структурообразования пенобетона в зависимости от некоторых технологических параметров / А.В. Яконовская [и др.] // Вестник евразийской науки. 2019. № 4. С. 1–8.
3. Бруяко М.Г., Баженова С.И., Ву Ким Зиен. Ячеистые бетоны с вариатропной структурой на стадии формирования изделия // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2022. № 7. С. 8–18.
4. Мухамедбаев Аг.А., Тулаганов А.А. Неавтоклавный пенобетон на основе шлакощелочного вяжущего // Химия и химическая технология: достижения и перспективы: материалы IV Всероссийской конференции, Кемерово, 27–28 ноября 2018 года. С. 131.1–131.4.
5. Глаголов Е.С., Воронов В.В. Эффективное композитное вяжущее для монолитного пенобетона // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. № 6. С. 79–84.
6. Шаталова С.В. Эффективный ячеистый бетон на композиционном гипсовом вяжущем / С.В. Шаталова [и др.] // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 10. С. 11–18.
7. Хозин В.Г., Красникова Н.М., Ерусланова Э.В. Легкие поризованные бетоны на основе сухих смесей // Строительные материалы. 2018. № 9. С. 40–45.
8. Винокурова О.В., Баранова А.А. К вопросу выбора оптимального водоцементного отношения при производстве теплоизоляционного пенобетона // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2022. № 11. С. 19–29.

9. Машкин Н.А., Малахов Д.А., Русаков В.Е. Неавтоклавный пенобетон на основе перлитовых микросфер // Вестник Тувинского технического университета. 2017. № 3. С. 65–70.

10. Иващенко Ю.Г., Багапова Д.Ю., Страхов А.В. Конструкционно-теплоизоляционный пенобетон, модифицированный волокнистым наполнителем // Инженерный вестник Дона. 2017. № 4. С. 44–51.

## EFFECTIVE THERMAL INSULATION DRY MIXES FOR FOAM CONCRETE

**D.S. Panshin, M.A. Smirnov, V.I. Trofimov, V.V. Belov**

***Abstract.** This paper analyzes the current prospects for the use of thermal insulation dry mixes for foam concrete, and also provides research data on changes in the properties of foam concrete depending on its composition and additives.*

***Keywords:** effective foam concrete, heat-insulating foam concrete, foam concrete on various binders.*

Об авторах:

ПАНЫШИН Даниил Сергеевич – студент кафедры производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: psktstu@yandex.ru

СМИРНОВ Матвей Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: matiu.sm@yandex.ru

ТРОФИМОВ Валерий Иванович – кандидат технических наук, доцент кафедры производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: vitrofa@mail.ru

БЕЛОВ Владимир Владимирович – советник РААСН, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: vladim-bel@yandex.ru

About the authors:

PANSHIN Daniil Sergeevich – Student of the Department of Production of Building Materials and Structures, Tver State Technical University, Tver. E-mail: psktstu@yandex.ru

SMIRNOV Matvey Alexandrovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Building Products and Structures Production, Tver State Technical University, Tver. E-mail: matiu.sm@yandex.ru

TROFIMOV Valery Ivanovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Production of Building Products and Structures, Tver State Technical University, Tver. E-mail: vitrofa@mail.ru

BELOV Vladimir Vladimirovich – Advisor to RAACS, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Production of Building Products and Structures, Tver State Technical University, Tver. E-mail: vladim-bel@yandex.ru

**УДК 658.567.1**

## **МОДИФИКАЦИЯ ВЫСОКОПРОЧНОГО ГИПСОВОГО ВЯЖУЩЕГО ЗОЛОШЛАКОВЫМИ ОТХОДАМИ**

**В.Б. Петропавловская, К.С. Петропавловский, Т.Б. Новиченкова**

© Петропавловская В.Б., Петропавловский К.С.,  
Новиченкова Т.Б., 2024

***Аннотация.** В статье представлены результаты исследования физико-механических характеристик высокопрочного гипса марки Г-16, модифицированного золошлаковыми отходами (ЗШО). Дана сравнительная характеристика применения алюмосиликатного и углеродного компонента отхода. Сделан вывод о целесообразности применения ЗШО для получения строительных материалов с целью снижения их стоимости и экологической нагрузки.*

***Ключевые слова:** высокопрочный гипс, золошлаковые отходы, прочность, эффективность.*

В последние десятилетия усиливается тенденция к экономичности строительных материалов и внедрению вторичных ресурсов. В большинстве случаев речь идет о сокращении расхода вяжущих веществ, так как именно они являются наиболее дорогостоящим компонентом смесей. Введение отходов позволяет уменьшить отрицательное влияние на окружающую среду [1], снизить расход вяжущего с сохранением баланса между различными характеристиками получаемого материала.

Комплексное использование золошлаковых отходов (ЗШО) для производства таких строительных материалов приводит к ликвидации крупнотоннажных отвалов, скопившихся за многие годы. Эффективность использования отходов определяется относительно низкой стоимостью золы по сравнению с другим сырьем [3], а также возможностью регулирования физико-механических свойств образцов. Так, при введении оптимального количества золы гидроудаления в состав бетонной смеси улучшается ее удобоукладываемость, снижается водопроницаемость и усадка, обеспечивается высокая морозостойкость. Применение ЗШО не оказывает отрицательного воздействия на модуль упругости бетона [4]. В источнике [4] рассматриваются свойства мелкозернистого бетона, полученного с добавлением в смесь топливной золы. Исследование проводилось с учетом условий естественной сушки образцов. Установлено, что наиболее эффективная дозировка этого компонента составляет 7–15 %.

В работе [5] описываются технологические решения по получению алюмосиликатных микросфер из ЗШО – частиц с диаметром от 10–20 до 500 мк. Такой компонент обладает рядом уникальных свойств: низкой плотностью, высокой механической прочностью, химической инертностью, термостойкостью, низкой теплопроводностью [5].

В исследовании [6] отмечено, что углеродные нанотрубки в силикатных системах способствуют метаморфозам структур кристаллогидратов с образованием гидросиликатов кальция повышенной основности. При комплексном применении добавок различной дисперсности можно добиться синергетического эффекта и значительно повысить физико-механические характеристики [6].

Таким образом, цель данной работы – определение оптимального содержания исследуемой золы гидроудаления в комплексе с гипсовым вяжущим.

В работе в качестве основного компонента использовалось гипсовое вяжущее марки Г-16 по ГОСТ 125-2018 «Вяжущие гипсовые. Технические условия».

В качестве минеральной добавки вводилась зола гидроудаления двух разных химических составов: алюмосиликатный и углеродный концентраты. В табл. 1 представлены основные характеристики сырья. Зола вводилась в соотношениях 5, 10, 15, 20, 25 и 30 % от массы вяжущего. Дозирование воды в обоих случаях оставалось на постоянном уровне.

Твердение полученных образцов осуществлялось при нормальных условиях. На седьмые сутки твердения были проведены испытания и получены основные физико-механические характеристики гипсового композита в зависимости от содержания зольного компонента (табл. 2).

Таблица 1

## Характеристики используемого сырья

Наименование показателя	Единица измерения	Фактическое значение
Гипсовое вяжущее		
Водотвердое отношение	–	0,4
Тонкость помола на сите 0,2 м	%	0,5
Прочность на изгиб	МПа	6,8
Прочность при сжатии	МПа	16,3
Алюмосиликатный концентрат (АС)		
Истинная плотность	г/см <sup>3</sup>	2,07
Насыпная плотность	кг/м <sup>3</sup>	1 025
Удельная поверхность	м <sup>2</sup> /кг	15 972
Средний диаметр частиц	мкм	1,8
Углеродный концентрат (УГ)		
Истинная плотность	г/см <sup>3</sup>	1,94
Удельная поверхность	м <sup>2</sup> /кг	4 590
Средний диаметр частиц	мкм	5,9

Таблица 2

## Физико-механические характеристики образцов гипсо-зольного композита

№	Зола, % (алюмо-силикатный компонент)	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Пористость, %	Прочность при сжатии, МПа
С алюмосиликатным компонентом				
1	0	1,651	16,57	39,68
2	5	1,641	21,05	27,0
3	10	1,535	27,08	33,87
4	15	1,533	26,18	28,19
5	20	1,479	31,35	23,6
6	25	1,508	28,37	18,5
7	30	1,480	31,29	15,0
С углеродным компонентом				
1	0	1,651	16,57	39,68
2	5	1,505	29,92	24,62
3	10	1,490	25,40	23,87
4	15	1,426	32,57	24,37
5	20	1,349	33,58	22,5
6	25	1,457	28,26	20,0
7	30	1,450	20,19	20,25

Согласно представленным данным, после введения алюмосиликатного компонента прочность гипсового камня снижается, наименьшая потеря прочности от нулевой точки составила 14,64 % при количестве золы в 10 %. При этом значение по плотности оптимально при 20 % вводимого компонента и ниже на 8,89 % по сравнению с контрольной точкой. В то же время зависимость пористости модифицированного гипсового камня от содержания золы является обратной результатам по плотности образцов. Пористость увеличилась почти в два раза по сравнению с контрольным образцом.

Полученные зависимости по составу «гипс – алюмосиликатный компонент» представлены на рис. 1. Такой вид графика позволяет провести анализ и определить оптимальное количество вводимого модификатора.

Результаты исследований влияния вводимого углеродного компонента на свойства гипсового камня показаны на рис. 2–4.

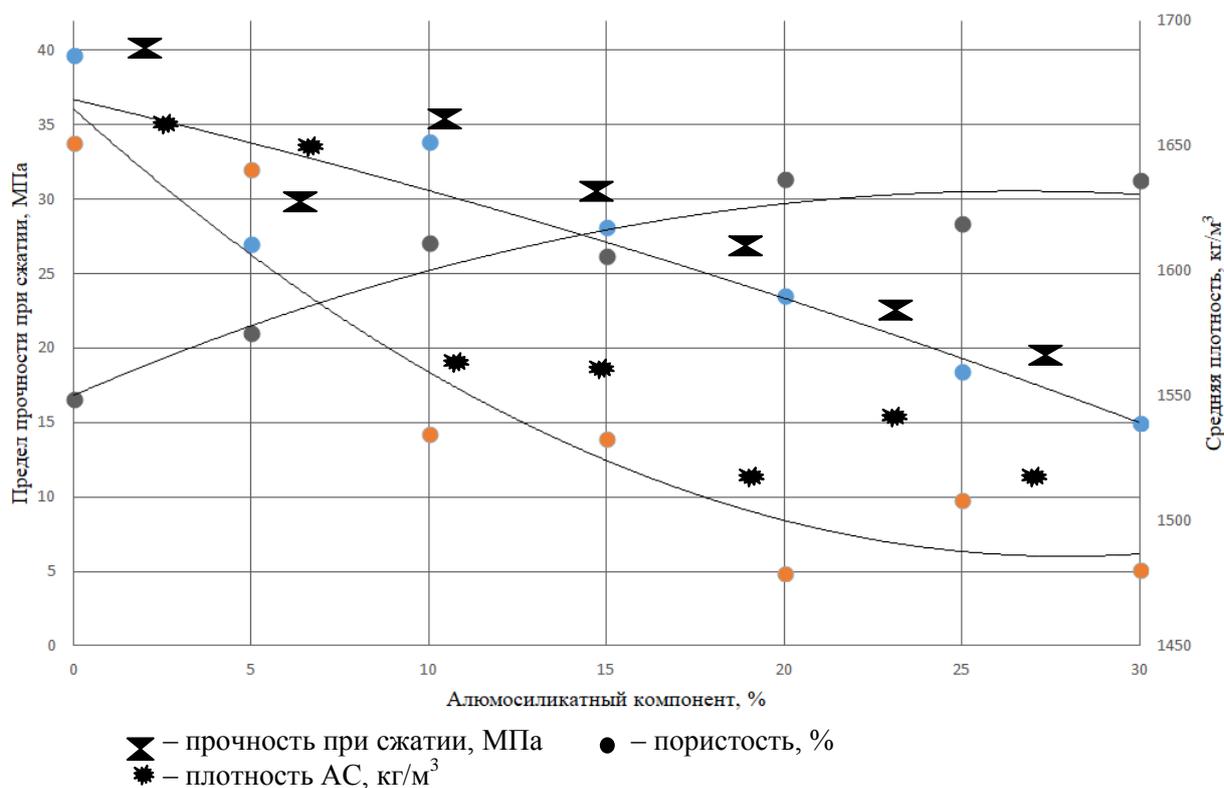


Рис. 1. Зависимость пористости, средней плотности и прочности модифицированного гипсового камня при сжатии от содержания золы (алюмосиликатный компонент)

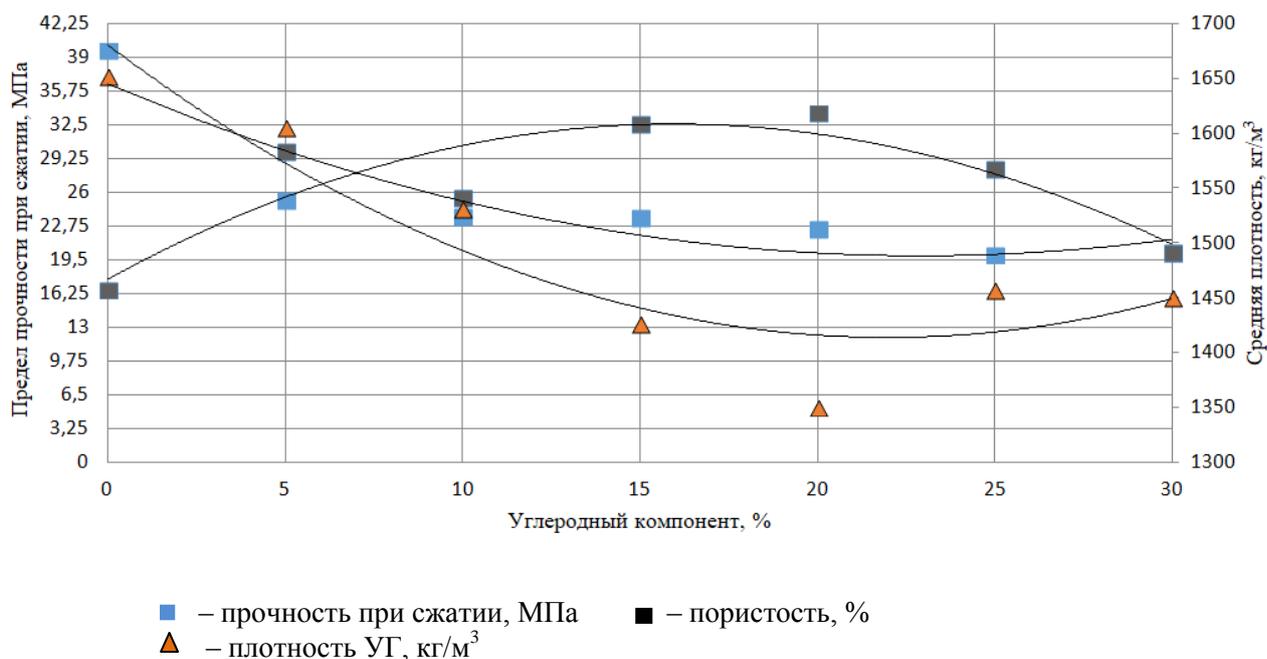


Рис. 2. Зависимость средней плотности и прочности модифицированного гипсового камня при сжатии от содержания золы (углеродный компонент)

Исходя из графика на рис. 2, можно сделать вывод, что введение углеродного компонента дает понижение прочности. При этом наиболее близким значением к контрольным находится при добавлении золы гидроудаления в 5 %. Уменьшение прочности получено равным 37,95 %.

На рис. 2 показаны зависимости прочности, плотности и пористости от содержания углеродного концентрата. Наиболее подходящим значением является 20 % золы. В данном случае плотность имеет максимально низкий показатель, который на 19,25 % меньше плотности исходных кубиков. В этой же точке полученное значение пористости является наиболее высоким – 33,58 %, т.е. пористость бездобавочных образцов превышена более чем в два раза.

На рис. 3 и 4 показаны зависимости прочности при сжатии и плотности модифицированного гипсового камня от содержания золы гидроудаления двух типов. Приведенные графики позволяют лучше обработать полученные данные и понять, какой компонент оптимален по взаимодействию с гипсовым вяжущим.

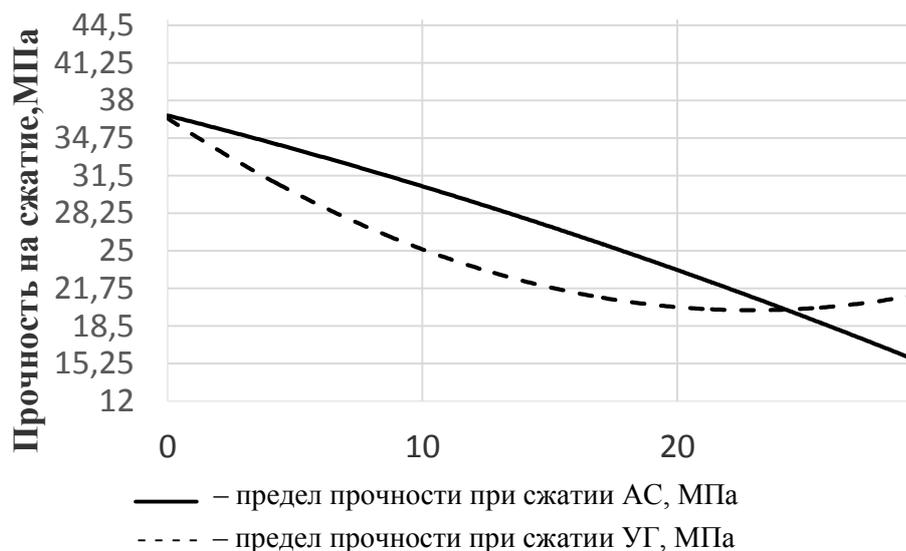


Рис. 3. Зависимость прочности модифицированного гипсового камня при сжатии от содержания золы гидроудаления двух типов

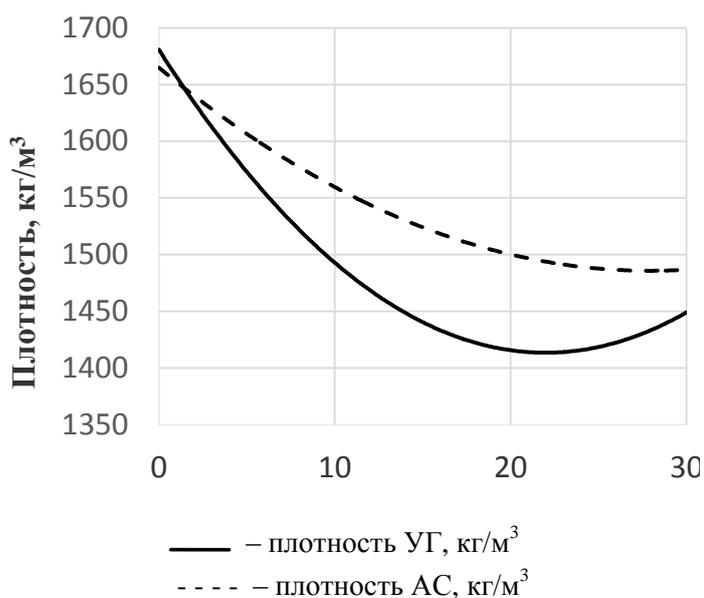


Рис. 4. Зависимость плотности модифицированного гипсового камня от содержания золы гидроудаления двух типов

### Выводы

На основе взаимосвязи алюмосиликатного концентрата с вяжущими сделано большое количество работ и различных исследований. В то же время углеродный концентрат не рассматривался в достаточной мере и требует дополнительного изучения для определения сфер применения и его влияния на вяжущие вещества и свойства получаемых образцов, в том числе на характеристики и структуру гипсового камня.

### **Библиографический список**

1. Machine Learning-Based Modeling with Optimization Algorithm for Predicting Mechanical Properties of Sustainable Concrete / M.I. Shah, S.A. Memon, M.S.K. Niazi, M.N. Amin, F. Aslam, M.F. Javed // *Advances in Civil Engineering*. 2021. № 2021 (9), pp. 1–15.
2. Ефременко А.С. Легкие бетоны повышенной прочности на основе тонкомолотых композиционных вяжущих: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05. Улан-Удэ, 2013. 158 с.
3. Юрьев И.Ю., Скрипникова Н.К., Луценко А.В. Применение зол гидроудаления ТЭС в производстве строительных материалов // *Научный альманах*. 2015. № 7. С. 78–81.
4. Джусупова М.А. Получение мелкозернистого бетона с использованием золы гидроудаления // *Современные научные исследования и инновации*. 2015. № 10. С. 52–56.
5. Парфенова Л.М., Высоцкая М.Н. Обзор зарубежных технологий утилизации золошлаковых отходов теплоэлектростанций // *Геодезия, картография, кадастр, гис-проблемы и перспективы развития: материалы международной научно-технической конференции*, 2016. Ч. 2. С. 138–143.
6. Оценка влияния ультрадисперсной пыли и углеродных наносистем на структуру и свойства гипсовых вяжущих / Г.И. Яковлев [и др.] // *Интеллектуальные системы в производстве*. 2013. № 1 (21). С. 185–188.
7. Федюк Р.С. Цементные композиционные материалы для специальных сооружений: дис. ... докт. техн. наук: 21.50.00. Белгород, 2022. 455 с.
8. Истомина К.Р., Бургонутдинов А.М., Хусаинова К.А. Возможные технологии использования золы уноса // *Транспорт. Транспортные сооружения. Экология*. 2022. № 1. С. 36–44.

### **USE OF ASH AND SLAG WASTE AS A FILLER BASED ON GYPSUM BINDER**

**V.B. Petropavlovskaya, K.S. Petropavlovskii,  
T.B. Novichenkova**

***Abstract.** The article presents the results of a study of the physical and mechanical characteristics of high-strength gypsum of the G-16 brand modified with ash and slag waste (ASH). A comparative characteristic of the application of the aluminosilicate and carbon component of the waste is given. The conclusion is made about the expediency of using ASH to obtain building materials in order to reduce their cost and environmental burden.*

*Keywords: high-strength gypsum, compressive strength, ash and slag waste, medium density.*

Об авторах:

НОВИЧЕНКОВА Татьяна Борисовна – кандидат технических наук, доцент кафедры производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: tanovi.69@mail.ru

ПЕТРОПАВЛОВСКИЙ Кирилл Сергеевич – кандидат технических наук, научный сотрудник, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: kspetropavlovsky@gmail.com

ПЕТРОПАВЛОВСКАЯ Виктория Борисовна – доктор технических наук, профессор кафедры производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: victoriapetrop@gmail.com

About the authors:

NOVICHENKOVA Tatiana Borisovna – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Production of Building Materials and Structures, Tver State Technical University, Tver. E-mail: tanovi.69@mail.ru

PETROPAVLOVSKIИ Kirill Sergeevich – Candidate of Technical Sciences, Research Associate, Tver State Technical University, Tver. E-mail: kspetropavlovsky@gmail.com

PETROPAVLOVSKAYA Victoria Borisovna – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Production of Building Materials and Structures, Tver State Technical University, Tver. E-mail: victoriapetrop@gmail.com

**УДК 378.14**

**ПОДХОДЫ К ОБЕСПЕЧЕНИЮ КАЧЕСТВА ПОДГОТОВКИ  
БАКАЛАВРОВ ПРОФИЛЯ «ПРОИЗВОДСТВО  
СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ИЗДЕЛИЙ И КОНСТРУКЦИЙ»**

**Е.А. Раткевич, М.Ю. Завадько**

© Раткевич Е.А., Завадько М.Ю., 2024

*Аннотация. В статье рассматривается опыт вовлечения студентов в научную деятельность как эффективный инструмент развития профессиональных кадров. Такой подход позволяет подготовить*

*специалистов, умеющих творчески мыслить и успешно применять полученные навыки. Реализация проекта «Будущее за наукой молодых» позволяет повысить качество образования в ТвГТУ и сформировать новое поколение ученых, способных внести свой вклад в развитие науки и техники.*

**Ключевые слова:** *научно-исследовательская деятельность, студенческое научное сообщество, устойчивое развитие, управление качеством, мыслительная деятельность, обучающиеся, презентация, доклад.*

В современном мире наука и образование играют ключевую роль в развитии общества. Молодые ученые – это будущее науки, и их успех во многом зависит от того, насколько они подготовлены к своей работе. Цель высшего образования – подготовить специалистов с широким набором компетенций, демонстрирующих высокие междисциплинарные результаты. Для этого нужно проводить планомерную комплексную работу. Примером такой работы на инженерно-строительном факультете является участие студентов в исследовательских проектах. С первого курса студенты учатся работать в научных группах, что представляет собой сложный вид сотрудничества и призвано вывести инженерное образование на новый уровень. Теперь оно будет включать не только фундаментальные и технические знания, но и личностные качества: умение решать проблемы, используя междисциплинарный подход, владение методами проектного управления, готовность к общению и работе в команде. Задача университета – помочь студентам раскрыть свой потенциал, проявить себя в научной и других сферах, а также создать условия для успешного трудоустройства после окончания учебы [1].

Для формирования заинтересованности обучающихся необходимо также создать такие формы и методы обучения, которые позволят студентам перейти от получения знаний к их практическому применению. Обучающимся важно наличие постоянной обратной связи и оценка достигнутых ими результатов. Это предполагает изменение мотивов, целей, действий, средств и результатов обучения. Вовлечение студентов в научно-исследовательскую деятельность способствует развитию у них творческих способностей, аналитического мышления и профессиональной компетентности [2].

Научно-исследовательская работа помогает студентам стать профессионалами через развитие личных качеств, т.е. благодаря личностному росту. Участие в научно-исследовательской работе позволяет открывает студенту возможность реализовать свой потенциал, что приводит к изменению мотивации и постепенному формированию новых качеств, необходимых для профессионального роста будущего специалиста. К наиболее важным чертам характера, которые формируют набор профессионально

значимых качеств, можно отнести ответственность, самоконтроль, профессиональную самооценку, эмоциональную устойчивость и др. [2].

То, как обучающиеся занимаются научно-исследовательской работой, во многом определяется их интересом к этой деятельности, который, в свою очередь, может меняться под воздействием различных факторов. Если он поверхностен и неустойчив, это мешает заниматься исследованиями. Известно, что подлинный интерес к какому-либо предмету или явлению возникает, когда человек начинает постепенно погружаться в его суть. В этом случае предмет или явление становится занимательными для него [3]. Для обеспечения регулярного вовлечения обучающихся в научную сферу в 2023–2024 учебном году в Тверском государственном техническом университете при поддержке сервиса «Росмолодежь. Гранты» был запущен образовательный проект «Будущее за наукой молодых».

Проект направлен на вовлечение студентов в научную деятельность университета и повышение их интереса к исследованиям. Он включает комплекс мероприятий, направленных на развитие научной активности студентов:

- проведение мастер-классов от приглашенных экспертов;
- расширенное информационное сопровождение научной деятельности университета;
- конкурс проектов;
- выставку достижений;
- публикацию методических материалов.

Мастер-классы от приглашенных экспертов позволяют студентам получить новые знания и навыки, необходимые для успешной научной работы. Информационное сопровождение помогает студентам быть в курсе последних новостей и событий в области науки и техники.

Конкурс проектов предоставляет студентам возможность проявить свои творческие способности и представить свои идеи на суд жюри. Выставка достижений демонстрирует результаты научной работы студентов и вдохновляет их на новые свершения. Публикация методических материалов позволяет студентам ознакомиться с основами научной работы и получить практические рекомендации по написанию статей, подготовке презентаций и другим аспектам исследовательской деятельности.

Научно-исследовательская деятельность должна стать для студента источником социального опыта, который он получает в процессе познавательной деятельности. Этот опыт, основанный на результатах исследовательской работы, помогает студенту стать компетентным специалистом. Кроме того, важную роль в накоплении социального опыта играет практический характер теоретического компонента образовательного процесса. Это будет полезно студенту в профессиональной деятельности [3].

В рамках образовательного проекта «Будущее за наукой молодых» в ТвГТУ проводились мастер-классы, посвященные получению грантовой поддержки для научных проектов молодых ученых. Приглашенные эксперты Фонда содействия инновациям рассказали о том, как можно получить средства на развитие своего проекта, сохранив при этом все права на интеллектуальную собственность. Участники мастер-класса узнали о различных видах конкурсов и смогли выбрать подходящий для своих проектов. Эксперт разобрал на примере конкретных работ типичные ошибки, которые могут возникнуть при подготовке проекта, презентации и выступлении, благодаря чему молодые ученые уяснили, какие аспекты необходимо учесть при подаче заявки на грант.

В рамках образовательного проекта в университете прошел конкурс презентаций научно-исследовательских проектов, в котором приняли участие более ста молодых ученых. На первом этапе проекты оценивались заочно командой экспертов, а конкурсанты, прошедшие отбор, представили свои работы на втором этапе – в очном финале.

Цель конкурса – обучить участников и повысить уровень их научно-исследовательских компетенций. В рамках работы над проектом проявляются и развиваются универсальные компетенции. Проект представляет собой процесс поиска, анализа, обработки и использования научных и практических данных, необходимых для создания творческого продукта, поэтому конкурс призван стать инструментом для развития поисковых, аналитических и профессиональных навыков студентов [4].

В финале авторы 50 лучших проектов выступили с докладами перед экспертным жюри. Конкурсанты презентовали свои работы в области науки, технологии, энергетики, психологии и управления. Они предложили новые решения от вопросов региональных масштабов до проблем отдельного человека. Важно отметить, что с каждым проектом у постоянных участников вузовских мероприятий развиваются навыки к общению и взаимодействию с окружающими, а также навык анализа и оценки собственной работы.

Доклады участников оценивались по трем критериям: актуальность проблемы, качество презентации и качество выступления. Демонстрация результатов научно-исследовательской работы на конференциях и конкурсах способствует развитию у студентов навыков структурированного и логичного представления доклада, а также умения аргументированно защищать свою позицию. Победители конкурса получили ценные призы и возможность продолжить работу над проектами при поддержке университета. Конкурс стал важным событием для молодых ученых, которые смогли продемонстрировать свои знания и навыки, а также получить обратную связь от опытных экспертов [5].

Совместно с Тверской областной библиотекой имени Горького университет организовал выставку достижений молодых ученых региона.

Были представлены работы участников из Тверского государственного технического университета, Тверского государственного университета, Тверского государственного медицинского университета и Тверской государственной сельскохозяйственной академии. Мероприятие вызвало большой отклик среди студентов и преподавателей. Участники с удовольствием знакомились с материалами и проявляли интерес к работам своих сверстников. На выставке были показаны разнообразные материалы, отражающие научно-исследовательскую деятельность молодых ученых: патенты, дипломы, публикации в научных журналах и другие документы из личных коллекций участников. Молодые ученые представили свои разработки в области строительства, химической технологии, медицины, экологии, материаловедения, социологии и др. Многие из проектов уже получили признание на международных конкурсах и конференциях.

Практика показывает, что зачастую студенты не имеют достаточных знаний и понимания того, как проводить научные исследования и как оформлять полученные результаты в письменном виде. Одним из ключевых факторов, который позволяет студентам полноценно заниматься научной деятельностью, является их психологическая готовность. Студенты могут испытывать неуверенность, не вполне понимая, что такое научная деятельность, какова ее структура, какие цели ставятся перед научными исследованиями, как структурировать научную статью и т.д. [3].

В связи с этим целесообразно провести разъяснительную работу, чтобы заполнить информационное пространство необходимыми сведениями. В рамках проекта ведущие сотрудники университета разработали «Памятку молодого ученого» – практическое руководство, которое помогает начинающим исследователям успешно начать свой путь в науке и дает ответы на все наиболее важные вопросы, с которыми сталкиваются начинающие исследователи, а именно:

1. Где искать информацию и как найти нужную литературу, источники данных и другие ресурсы, необходимые для проведения исследования?

2. Как писать статьи? Приведены практические советы по написанию научных статей.

3. Как обрабатывать данные? Рассмотрены методы обработки данных, используемые в научных исследованиях, а также инструменты, которые могут помочь в этой работе.

4. Как готовить презентацию? Представлена информация о том, как сделать презентацию интересной и информативной, а также о том, какие инструменты можно использовать для создания презентаций.

5. Как выступать? Предложены рекомендации по подготовке к выступлению перед аудиторией, а также советы относительно того, как справиться с волнением.

6. Как оценивать достижения? Перечислены критерии оценки научных достижений, а также способы измерения эффективности работы.

Это руководство полезно не только молодым ученым, но и всем тем, кто интересуется наукой и хочет узнать больше о том, как стать успешным исследователем.

В рамках проекта можно наблюдать, как на всех его этапах появляются молодые люди и активно участвуют уже опытные старшекурсники. Это позволяет увидеть прогресс и развитие обучающихся, а также проследить нарабатывание опыта. Особенно стоит отметить студентов инженерно-строительного факультета, которые не только развивают свои профессиональные навыки, но и получают возможность проявить свои лучшие качества. Благодаря проекту они могут применить полученные знания на практике и стать более уверенными специалистами в своей области.

Проектирование представляет собой активную самостоятельную учебную деятельность студентов, направленную на достижение образовательных результатов и творческую самореализацию в процессе обучения. Такая деятельность позволяет развивать профессиональные качества, умения и компетенции, необходимые современному специалисту как конкурентоспособному и высококвалифицированному профессионалу. Проектная учебная деятельность важна прежде всего для личностного развития студентов. Благодаря ей формируется готовность к проектной работе, а также развивается конкурентоспособность учащихся. Конкурентоспособный специалист – это личность, которая стремится к высокому качеству и эффективности своей работы, открыта для профессионального роста и получения новой необходимой информации [3].

Реализация проекта «Будущее за наукой молодых» важна для повышения качества образования в ТвГТУ и формирования нового поколения ученых, способных внести свой вклад в развитие науки и техники.

### **Библиографический список**

1. Полицинская Е.В., Лизунков В.Г., Малушко Е.Ю. Организация научно-исследовательской деятельности студентов технического вуза с учетом особенностей мыслительной деятельности // Инженерное образование. 2023. № 33. С. 26–38.

2. Научно-исследовательская деятельность студентов как фактор профессионального становления будущих специалистов / Г.В. Харина [и др.] // Научное мнение. 2023. № 11. С. 112–120.

3. Ахмадова Т.Х., Башаева С.А., Магомедова П.И. Формирование представлений студентов-первокурсников о научно-исследовательской деятельности // Проблемы современного педагогического образования. 2023. № 81-2. С. 75–77.

4. Тарасова А.В. Проектная деятельность как инструмент совершенствования навыков научно-исследовательской деятельности студентов в вузе // Проектирование. Опыт. Результат. 2024. № 1. С. 89–94.

5. Новости / Официальный сайт ФГБОУ ВО «Тверской государственной технический университет». URL: <https://tstu.tver.ru/> (дата обращения: 23.03.2024).

## APPROACHES TO ENSURING THE QUALITY OF TRAINING OF BACHELORS IN THE PRODUCTION OF BUILDING MATERIALS, PRODUCTS AND STRUCTURES

E.A. Ratkevich, M.Yu. Zavadko

***Abstract.** The article examines the experience of involving students in scientific activities as an effective tool for the development of professional staff. This approach makes it possible to train specialists who are able to think creatively and successfully apply the acquired skills. The implementation of the project "The future belongs to the science of the young" makes it possible to improve the quality of education at TvSTU and form a new generation of scientists capable of contributing to the development of science and technology.*

***Keywords:** research activities, student scientific community, sustainable development, quality management, mental activity, students, presentation, report.*

Об авторах:

Раткевич Екатерина Алексеевна – кандидат химических наук, старший преподаватель кафедры прикладной физики, ФГБОУ ВО «Тверской государственной технический университет», Тверь. E-mail: [ekrasavina26@gmail.com](mailto:ekrasavina26@gmail.com)

Завадько Мария Юрьевна – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры автомобильных дорог, оснований и фундаментов, ФГБОУ ВО «Тверской государственной технический университет», Тверь. E-mail: [ma.kay2014@yandex.ru](mailto:ma.kay2014@yandex.ru)

About the authors:

Ratkevich Ekaterina Alekseevna – Candidate of Chemical Sciences, Senior Lecturer, Department of Applied Physics, Tver State Technical University, Tver. E-mail: [ekrasavina26@gmail.com](mailto:ekrasavina26@gmail.com)

Zavadko Mariya Yur'evna – Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer, Department of Highways, Bases and Foundations, Tver State Technical University, Tver. E-mail: [ma.kay2014@yandex.ru](mailto:ma.kay2014@yandex.ru)

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЧНОСТИ И ДЕФОРМАТИВНОСТИ СИП-ПАНЕЛЕЙ НА ПОПЕРЕЧНЫЙ ИЗГИБ

Ю.В. Сизов, П.В. Куляев

© Сизов Ю.В., Куляев П.В., 2024

*Аннотация.* В статье рассматривается способ испытания на прочность при изгибе панелей из полимерных материалов, которые позволяют снизить стоимость жилья для населения.

*Ключевые слова:* СИП-панель, панели из полимерных материалов, прочность, испытания, поперечный изгиб, предельно допустимая нагрузка.

В настоящее время в жилищном строительстве широко используется структурно-изолированные панели (СИП, от английского SIP – Structural Insulated Panel), состоящие из двух ориентированно-стружечных плит (ОСП, или OSB – от англ. *Oriented Strand Board*), между которыми под давлением приклеивается слой твердого утеплителя (пенополистирола) либо закачивается пенополиуретан (PUR) (рис. 1) [1].



Рис. 1. СИП-панель

Здания из СИП-панелей имеют большое преимущество по сравнению с домами из других материалов, так как строительство осуществляется круглогодично, в короткие сроки, по завершении строительства не требуется утепление ограждающих конструкций.

Первые линии по производству домов по технологии СИП (SIP) в Россию в 2003 году поставила компания Eсо Pancorporation (Калгари, Канада) (ныне – SIPSTECH Manufacturing Solutions) [2]. Первым объектом, построенным по технологии СИП (SIP), стал выставочный дом компании «Город мастеров на ВВЦ», открытый в декабре 2003 года [5]. В России с 2008 года существует аналогичная организация – «Ассоциация домо-строительных технологий СИП» [4].

С целью определения прочности и деформативности СИП-панелей при поперечном изгибе были проведены экспериментальные исследования в лаборатории кафедры конструкций и сооружений инженерно-строительного факультета ТвГТУ.

СИП-панель является разновидностью сэндвич-панели. Схема и порядок проведения испытаний были приняты в соответствии с ГОСТ 32603-2012 «Панели металлические трехслойные с утеплителем из минеральной ваты. Технические условия» [3]. Схема испытаний приведена на рис. 2.

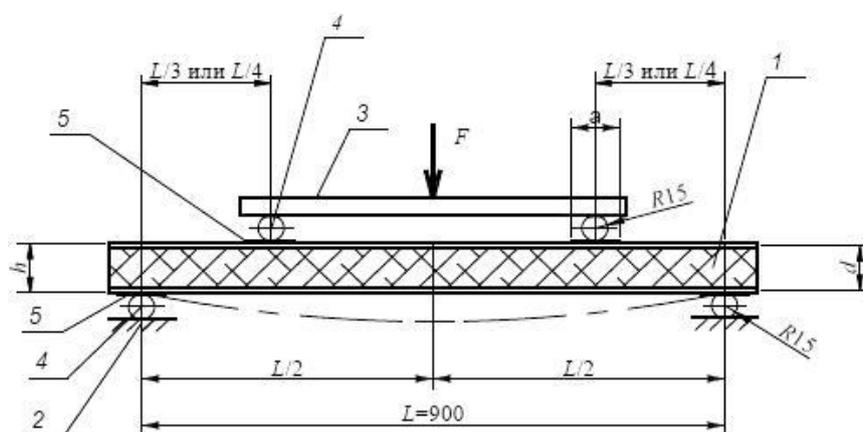


Рис. 2. Схема испытания образца на поперечный изгиб:

- 1 – испытуемый образец; 2 – опорная поверхность;
- 3 – распределительная балка; 4 – стальные цилиндрические опоры радиусом 15 мм; 5 – прокладки: стальная сечением 5 x 60 мм и деревянная (или фанерная) сечением 15 x 60 мм

Испытания проводились на испытательном стенде. Нагрузка от гидравлического домкрата передавалась через траверсу на испытуемый образец через две опоры (подвижная опора – труба, неподвижная опора – сваренные уголок – швеллер). Показатели прогиба определяли при помощи прогибомера Максимова с ценой деления 0,1 мм.

При проведении испытаний панелей перекрытия на поперечный изгиб изделия нагружались до предельно допустимой нагрузки, замерялся прогиб, после чего производилось нагружение до потери несущей способности панели. Потеря изделиями несущей способности характери-

зовалась такими признаками, как отслоение листов OSB от пенополистирола, наклонные трещины по телу утеплителя, трещины в ребрах жесткости.

В процессе испытаний регистрировались следующие данные:

значение нагрузки и соответствующий ей прогиб;

максимально допустимый прогиб;

разрушающая нагрузка, характер разрушения;

ширина раскрытия трещин и нагрузка, предшествующая их образованию.

На каждый образец предполагалось произвести десять загрузений, которые производились с учетом следующих требований:

нагружение выполнялось поэтапно, т.е. ступенями, значение нагрузки на каждом этапе не превышало 20 % от максимальной;

на каждом новом этапе нагружения нагрузка во всех точках приложения возрастала пропорционально;

при каждом новом нагружении изделие выдерживалось под нагрузкой в течение 10 мин;

величина прогиба фиксировалась в начале и конце каждой ступени нагружения;

проводился осмотр изделий на наличие трещин и деформаций.

Непосредственное наблюдение за изменением прогибов и деформаций осуществлялось до достижения нагрузки, равной 80 % от максимальной, после чего наблюдение проводилось на безопасном расстоянии при помощи оптических приборов и средств защиты.

При испытании принимались меры по предотвращению обрушения панелей. Страховочной опорой служило основание испытательного стенда, так как подъем панели над основанием стенда невелик.

Программа испытаний включала в себя испытание четырех образцов эталонных размеров: 174 x 622 x 2 800 мм.

Образцы I и II (панели ПП-01) – эталонные, использовались для определения максимально допустимой нагрузки, которую может выдержать панель перекрытия как отдельное изделие.

Образцы III и IV (панели ПП-02) – с ребрами жесткости по контуру панели (усиленные), позволили получить значение максимально допустимой нагрузки при работе панели в составе перекрытия.

При проведении испытаний образцы подвергались нагрузке до определенного теоретического значения и, если не теряли несущую способность, нагружались до разрушающей нагрузки. В процессе проведения испытаний была выявлена нагрузка, при которой начиналось образование трещин в продольных ребрах жесткости панелей.

В результате обработки результатов испытаний были получены данные по нагрузке, при которой начинали образовываться трещины ( $P_{\text{тр}}$ ), и разрушающей нагрузке ( $P_{\text{пр}}$ ), а также предельно допустимый прогиб ( $f_{\text{ult}}$ ).

Для образцов I и II (ПП-01)  $R_{срс} = R_{пр} = 530$  кгс,  $f_{ult} = 4,6$  мм, для образцов III и IV (ПП-02)  $R_{срс} = 530$  кгс,  $R_{пр} = 1\,777$  кгс,  $f_{ult} = 6,9$  мм.

Данные эксперимента показали разницу между панелями как изделием (образцы ПП-01) и панелями как частью конструкции (образцы ПП-02).

Образцы разрушались по телу утеплителя и ребрам жесткости. Листы ОСП придают упругость панелям и увеличивают их сопротивляемость изгибу.

В результате было установлено, что на несущую способность СИП-панелей влияют:

1) качество поклейки листов ОСП к плитам пенополистирола. Как показали испытания, несущая способность панелей может быть потеряна при отклейке листов ОСП;

2) качество древесины, так как основную нагрузку несут ребра жесткости (лаги, стойки, балки), зашитые между панелями;

3) качество крепежа, соединяющего панель с ребрами жесткости. При испытаниях в местах крепежа ребер жесткости на опорах происходил сдвиг и вырывание саморезов, закрепляющих листы ОСП.

#### **Библиографический список**

1. Структурные изолированные панели. URL: <https://www.ilya-stroy.ru/blog/polezno/strukturnye-izolirovannye-paneli/> (дата обращения: 02.02.2024).

2. Объективный взгляд на SIP-панели. URL: <http://www.associaciasip.ru/istoriya> (дата обращения: 02.02.2024).

3. ГОСТ 32603-2012. Панели металлические трехслойные с утеплителем из минеральной ваты. Технические условия. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200109848> (дата обращения: 02.02.2024).

4. Ассоциация домостроительных технологий SIP. URL: <https://associaciasip.ru/biblioteka-sip/tehnicheskie-resheniya> (дата обращения: 02.02.2024).

5. Конструктивная изоляционная панель. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Структурная\\_изолированная\\_панель](https://ru.wikipedia.org/wiki/Структурная_изолированная_панель) (дата обращения: 02.02.2024).

## **EXPERIMENTAL STUDIES OF THE STRENGTH AND DEFORMABILITY OF SIP PANELS FOR TRANSVERSE BENDING**

**Yu.V. Sizov, P.V. Kulyaev**

***Abstract.** The article discusses a method for testing the bending strength of panels made of polymer materials, which can reduce the cost of housing for the population.*

**Keywords:** SIP-panel, panels made of polymer materials, strength, tests, transverse bending, maximum permissible load.

Об авторах:

СИЗОВ Юрий Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры конструкций и сооружений ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: uvsizov1961@yandex.ru

КУЛЯЕВ Павел Викторович – кандидат технических наук, доцент кафедры конструкций и сооружений ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: p.kuliaev@yandex.ru

About the authors:

SIZOV Yury Vladimirovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Constructions and Structures, Tver State Technical University, Tver. E-mail: uvsizov1961@yandex.ru

KULYAEV Pavel Viktorovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Constructions and Structures, Tver State Technical University, Tver. E-mail: p.kuliaev@yandex.ru

**УДК 691.58**

## **К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ЛЕГКОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ БЕТОНА**

**В.И. Трофимов, М.А. Смирнов, И.Е. Лакисов,  
А.Г. Смирнов, И.Д. Чурилин**

© Трофимов В.И., Смирнов М.А., Лакисов И.Е.,  
Смирнов А.Г., Чурилин И.Д., 2024

***Аннотация.** Рассмотрен вопрос повышения эффективности технологии получения легкого заполнителя бетона – заменителя керамзитового гравия на основе использования местных ресурсов: торфа и сапропеля. Разработаны основные технологии по изготовлению гранул повышенного сцепления одной формы и размеров, включающие новые оригинальные операции: приготовление двухкомпонентной органоминеральной смеси и формование экструзией многоветьевого крученого жгута, что позволяет отказаться от двух операций, используемых в аналогах: окатывания на тарельчатых грануляторах и грохочения.*

*Ключевые слова:* легкий заполнитель бетона, торф, сапрпель, керамзитовый гравий, технология изготовления.

Ведущее место в номенклатуре искусственных пористых заполнителей долгие годы занимал керамзитовый гравий, поскольку технология производства этого заполнителя с широким диапазоном полезных свойств была хорошо освоена, а сырье доступно. Последнее десятилетие отмечено понижением значимости данного заполнителя и закрытием ряда предприятий. Это происходило, прежде всего, по причине ограниченности запасов кондиционного керамзитового сырья, а также из-за снижения спроса на данный заполнитель. При производстве строительных материалов и изделий необходимо в каждом регионе ориентироваться на местную сырьевую базу и учитывать образующиеся и накопленные техногенные ресурсы. Тверская область, как и многие другие регионы России, имеет разнообразную сырьевую базу для производства строительных материалов, в частности заполнителей для бетонов.

В то же время были значительно ужесточены требования к теплозащите зданий и сооружений, в связи с чем резко возросла потребность в качественных, экологически чистых и пожаробезопасных, а также относительно дешевых теплоизоляционных материалах и изделиях, особенно на базе легких бетонов, в том числе керамзитобетона.

Одним из важных компонентов для изготовления изделий из керамзитобетона является керамзитовый гравий. Из известных легких заполнителей он наиболее широко применяется в производстве строительных изделий, однако технология его получения отличается повышенной сложностью и энергоемкостью. При его производстве используют такие сложные операции, как грануляция (окатывание гранул требуемой формы) и грохочение, предполагающее использование аппаратов для изготовления гранул заданных фракций, что снижает эффективность производства керамзитового гравия в целом.

Наиболее широкое применение получила технология гранулирования методом пластического формования с применением аппаратов по продавливанию массы сквозь перфорированный экран. Предварительно подготавливается пластичная масса из легкоплавкой глины. Затем выполняется окатывание полученных сырьевых гранул на тарельчатом грануляторе с последующей их подсушкой и обжигом. Однако получаемые при этом гранулы имеют различную форму и размеры, поэтому требуется выполнение дополнительной операции грохочения для выделения заданной фракции, что является недостатком используемой технологии (рис. 1).

Современная тенденция к расширению использования эффективных строительных материалов во многом связана с вовлечением все новых сырьевых источников, заменой кондиционных материалов на отходы производства. В частности, в технологии производства керамзитового

гравия происходит замена дорогостоящих материалов на отходы производства, такие как золошлаковая смесь. Выполненные исследования доказали возможность использования отходов производства как более доступных по цене органоминеральных материалов для получения заполнителей бетона.



Рис. 1. Гранулы керамзитового гравия

Известен способ получения пустотелого заполнителя на основе местного органического и минерального сырья, который включает следующие технологические операции: формование выгорающего ядра из торфа, покрытие его минеральной оболочкой и последующий обжиг. При этом формование ядра осуществляют методом окатывания в шаровидные гранулы – ядра, которые получают из фрезерного торфа на тарельчатом грануляторе с последующей их подсушкой и обжигом. Недостатком способа является сложность его реализации.

Способ получения легкого материала путем продавливания массы сквозь экран с последующим обжигом [2] также имеет недостаток, состоящий в сложности регулирования пористости и пустотности материала, что снижает эффективность использования данной технологии.

Известен способ изготовления керамзитового гравия, включающий приготовление керамической массы, формование гранул, нанесение на их поверхность слоя вулканического пепла толщиной 0,3–0,7 мм, сушку гранул до влажности не более 7 %, обжиг и охлаждение. Обожженный слой вулканического пепла повышает прочность сцепления полученного керамзитового гравия с цементным камнем [3]. Недостаток этого способа заключается в сложности нанесения дополнительного слоя из другого материала.

Целью данной статьи является разработка ускоренного и менее энергоемкого технологического процесса изготовления легкого пористого заполнителя бетона с получением гранул одной формы и размеров. При этом решается вопрос повышения эффективности технологии получения легкого пористого заполнителя бетона – керамзитового гравия на основе минерального и органического местного природного дешевого сырья: сапропеля и торфа. В частности, Тверская область богата торфяными и

сапропелевыми месторождениями, поэтому вместо глины предлагается использовать высокоминерализованный сапропель.

В основу предложенной технологии получения легкого заполнителя бетона положена идея формирования гранул из торфо-сапропелевой смеси методом экструзии, без окатывания гранул и грохочения, что позволяет упростить процесс формирования и повысить производительность труда. Это достигается тем, что в известном способе, включающем приготовление смеси, продавливание ее через перфорированный экран (рис. 2) с последующей нарезкой, сушкой и обжигом, смесь готовят из торфа и сапропеля в соотношении, например, один к пяти (1 : 5), формируют многоветьевой крученый жгут с пустотелой сердцевиной внутри или с заполненной сердцевиной с одновременным закручиванием жгута, нарезкой на гранулы (рис. 3), подсушкой и обжигом. По второму варианту отличием является приготовление двухкомпонентной смеси только из сапропеля разной зольности.

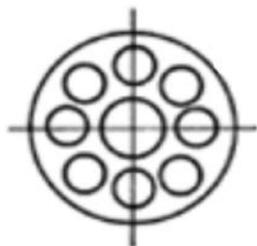


Рис. 2. Перфорированный экран



Рис. 3. Многоветьевая крученая гранула периодического профиля

Получение многоветьевых крученых гранул позволяет повысить их прочность и снизить вероятность разрушения, что особенно важно учитывать при выполнении операций по транспортированию, приготовлению смеси и формированию изделий. Разработка предназначена для получения гранулированного легкого заполнителя в виде крученых гранул с поверхностью периодического профиля непрерывным методом. Один из вариантов технологической линии представлен на рис. 4.

Технологическая линия по производству легкого заполнителя бетона состоит из формующей экструзионной головки с перфорированным экраном, закрепленной над конвейером. Смесь подают в головку по шлангу, при этом перфорированный экран может быть выполнен как с центральным отверстием, так и без него (в зависимости от того, будет ли он заполняться смесью). На конвейере смонтированы отрезные ножи и сушильный агрегат в виде электрического калорифера с вентилятором. Конвейер сообщается с питателем и обжиговой печью. Готовые гранулы, нарезанные ножами из жгута, после сушки и обжига ссыпаются в бункер-накопитель.

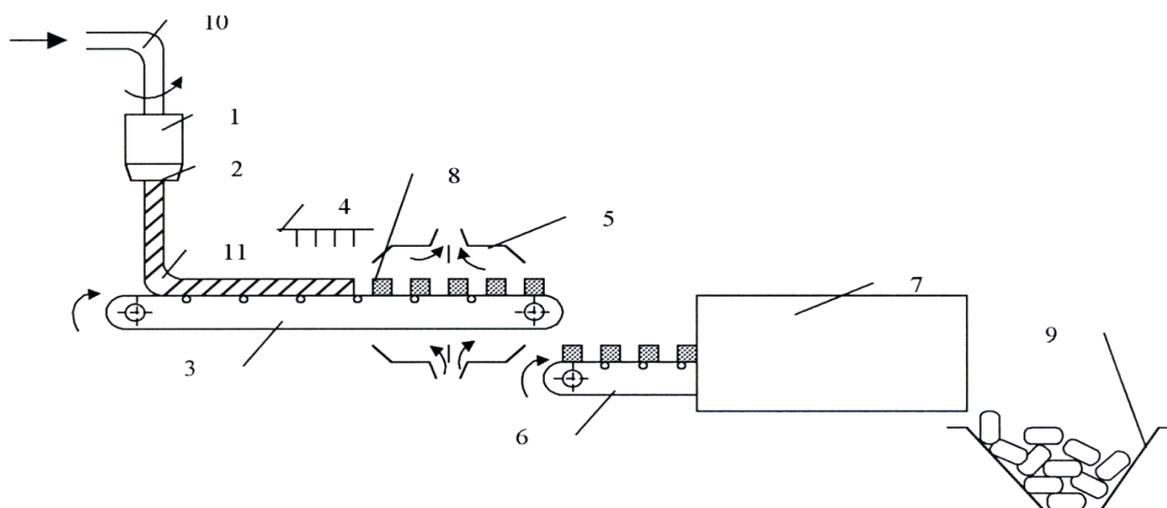


Рис. 4. Технологическая линия производства экструзионного керамзитового гравия: 1 – формующая экструзионная головка; 2 – перфорированный экран; 3 – конвейер; 4 – отрезные ножи, 5 – сушильный агрегат; 6 – питатель; 7 – печь для обжига; 8 – готовые гранулы; 9 – бункер-накопитель; 10 – подающий шланг, 11 – сформованный жгут

Способ может быть реализован следующим образом. По первому варианту в качестве компонентов смеси выбирают сапрпель, например, зольностью 80 %, и фрезерный торф со степенью разложения около 35 %. Смесь готовят в смесителе принудительного действия. Далее формируют многовитьевой крученый жгут с пустотелой сердцевинкой внутри путем продавливания смеси через перфорированный экран, который поворачивается с заданной скоростью. При этом перед формированием крученого жгута к центральному отверстию экрана подводят шланг в одном случае без его заполнения смесью, в результате чего формируют крученый жгут с пустотелой сердцевинкой, а в другом случае с заполнением сердцевинки крученого жгута при подаче торфа или сапрпеля.

Полученный крученый жгут расстилают на конвейерную ленту, где он разрезается ножами на гранулы. Для подсушки и предотвращения слипания разрезанные гранулы обдувают горячим воздухом калорифера. После этого подсушенные гранулы с помощью питателя перемещают в обжиговую печь. В процессе обжига гранул находящийся в его ветвях торф выгорает, а сапрпелевые органические включения образуют дополнительные пустоты. Полученные высокопористые гранулы из печи ссыпают в приемный бункер.

По второму варианту технологическая цепочка остается прежней, однако смесь готовят только из сапрпеля зольностью 30 и 70 %. К центральной части перфорированного экрана подводят шланг для подачи сапрпеля зольностью 30 %. Материалом формования внешних ветвей

крученой гранулы может служить сапропель зольностью 70 %, который подают в головку со шнековым механизмом внутри. Приводя в движение шнек головки с одновременной подачей сапропеля зольностью 30 % по шлангу, продавливают смесь через перфорированный экран, который одновременно поворачивается, в результате чего получается многоветвевой крученый жгут с заполненной сердцевинной. Далее жгут расстилают на конвейерную ленту и разрезают ножами на гранулы. Разрезанные гранулы обдувают горячим воздухом калорифера (для их подсушки с целью предотвращения их совместного слипания). Подсушенные гранулы питателем перемещают в обжиговую печь. В процессе обжига гранул выгорает органическая часть сапропеля ветвей крученого жгута и сердцевинной, образуя пустоты. Из печи высокопористые гранулы ссыпают в приемный бункер.

Процесс получения крученых легких гранул был смоделирован в лабораторных условиях с использованием смеси сапропеля и торфа. Гранулы получали путем скручивания выдавливаемых нитей в виде жгута из трех связанных трубок с насадками с последующей нарезкой на гранулы, подсушкой и обжигом в муфельной печи. Визуальный осмотр полученных крученых гранул не выявил дефектов в виде трещин и сколов, что говорит о возможности использования предложенной технологии.

Основным преимуществом предложенной технологии по сравнению с отечественными и зарубежными аналогами является возможность организовать более простой технологический процесс получения легкого заполнителя бетона – искусственного керамзитового гравия в виде гранул периодического профиля повышенного сцепления одной формы и размеров методом пластического экструзионного непрерывного формования на базе использования местного органоминерального сырья. Технология изготовления легких заполнителей упрощается за счет исключения конструктивно сложных формующих аппаратов (грануляторов), а также разделителей по крупности зернистых и кусковых материалов (грохотов) для получения заданных фракций заполнителей бетона. Это позволяет также повысить производительность труда, снизить энергоемкость процесса и уменьшить себестоимость продукции.

Эффективность способа обеспечивается за счет применения более простого и производительного метода экструзионного формования, а также за счет получения гранул с поверхностью повышенного сцепления – периодического профиля. При этом упрощается конструкция технологической линии, а следовательно, повышается надежность ее работы и снижается себестоимость продукции. Предложенная разработка может быть реализована на существующих предприятиях по производству керамзитового гравия, с выпуском новых легких гранулированных пористых заполнителей по упрощенной технологии и на базе использования более дешевого местного органоминерального сырья.

### **Библиографический список**

1. Способ получения пустотелого заполнителя: пат. 2081080 Рос. Федерация. № 94035220/03 / Гамаюнов С.Н.; заявл. 22.09.1994; опубл. 10.06.1997.
2. Способ изготовления керамзитового гравия: пат. Рос. Федерация. № 2012121095/03 / Щепочкина Ю.А.; заявл. 22.05.2012; опубл. 27.08.2013, Бюл. № 24.
3. Способ получения легкого материала: пат. 2142438 Рос. Федерация. № 98103218/03 / Трофимов В.И. Федосенко А.В., Осипов С.Ю.; заявл. 10.02.1997; опубл. 10.12.1999.

### **ON THE ISSUE OF IMPROVING EFFICIENCY TECHNOLOGIES FOR OBTAINING LIGHTWEIGHT CONCRETE FILLER**

**V.I. Trofimov, M.A. Smirnov, I.E. Lakisov, A.G. Smirnov, I.D. Churilin**

***Abstract.** The issue of increasing the efficiency of technology for obtaining a lightweight concrete filler – a substitute for expanded clay gravel based on the use of local resources: peat and sapropel is considered. The main technologies for the production of granules of increased adhesion of the same shape and size have been developed, including new original operations: preparation of a two-component organomineral mixture and extrusion of a multi-thread twisted bundle, which allows you to abandon two operations used in analogues: pelletizing on disc granulators and screening.*

***Keywords:** lightweight concrete filler, peat, sapropel, expanded clay gravel, manufacturing technology.*

Об авторах:

ТРОФИМОВ Валерий Иванович – кандидат технических наук, доцент кафедры производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: vitrofa@mail.ru

СМИРНОВ Матвей Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: matiu.sm@yandex.ru

ЛАКИСОВ Илья Евгеньевич – студент кафедры производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: lakiso1@bk.ru

СМИРНОВ Александр Геннадьевич – студент кафедры производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской

государственный технический университет», Тверь. E-mail: smivvv321@gmail.com

ЧУРИЛИН Иван Дмитриевич – студент кафедры производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: fir.man2018@yandex.ru

About the authors:

TROFIMOV Valery Ivanovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Production of Building Products and Structures, Tver State Technical University, Tver. E-mail: vitrofa@mail.ru

SMIRNOV Matvey Alexandrovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Building Products and Structures Production, Tver State Technical University, Tver. E-mail: matiu.sm@yandex.ru

LAKISOV Ilya Evgenievich – Student of the Department of Production of Building Materials and Structures, Tver State Technical University, Tver. E-mail: lakiso1@bk.ru

SMIRNOV Alexander Gennadievich – Student of the Department of Production of Building Materials and Structures, Tver State Technical University, Tver. E-mail: smivvv321@gmail.com

CHURILIN Ivan Dmitrievich – Student of the Department of Production of Building Materials and Structures, Tver State Technical University, Tver. E-mail: fir.man2018@yandex.ru

**УДК 691.3**

**ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КАОЛИНА,  
ДОЛОМИТОВОГО ПОРОШКА, МИКРОКРЕМНЕЗЕМА,  
ПЕРЕРАБОТАННОГО ГРАНУЛИРОВАННОГО  
ДОМЕННОГО ШЛАКА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ БЕТОНА  
ДЛЯ КОНСТРУКЦИИ ТОННЕЛЕЙ**

**Г.А. Шусев, Е.В. Ткач**

© Шусев Г.А., Ткач Е.В., 2024

*Аннотация.* В статье проанализированы положительные эффекты, возникающие при использовании в производстве бетона таких веществ, как каолин, доломитовый порошок, микрокремнезем, переработанный гранулированный доменный шлак, с точки зрения

*улучшения физико-механических параметров бетона, повышения стойкости к коррозии, снижения негативных экологических последствий для конструкций тоннелей.*

**Ключевые слова:** *коррозионнотойкие замещающие добавки, микрокремнезем, переработанный гранулированный доменный шлак, каолин, доломитовый порошок.*

## **Введение**

Железобетон часто используется в строительстве в качестве конструкционного материала из-за его высокой прочности на сжатие и низкой стоимости. Однако некоторые агрессивные вещества приводят к разрушению стальной арматуры, цемента и бетона [7]. Одной из важнейших проблем является коррозия стальных стержней в железобетонных конструкциях. Кроме того, техническое обслуживание и ремонт железобетонных конструкций тоннелей, связанные с коррозией, весьма затратны. В целях снижения стоимости ремонта необходимо повышать долговечность арматурных стержней, особенно подвергающихся воздействию агрессивных (в том числе морских) сред, увеличивать продолжительность срока службы бетона, эксплуатируемого в сложных условиях [8]. Исследователи пытались добиться снижения скорости коррозии с помощью использования различных сталей арматуры, ингибиторов коррозии, путем замены портландцемента другими материалами, изучали влияние различных сред [13]. Защита от коррозии закладной стали в бетоне осуществляется двумя способами: физическим и химическим. Физическую защиту обеспечивает покрытие бетона, предотвращающее разрушение поверхности стали, химическую – раствор с высоким рН в порах бетона, который вызывает пассивацию стали. На современном этапе значительное число исследований посвящено использованию добавок для увеличения устойчивости бетонных конструкций к коррозии. Типичными примерами подобных добавок являются микрокремнезем, нитрит кальция, доменный шлак, гидроксикаламина и монофторфосфат натрия [10]. Они способствуют росту плотности бетона, уменьшают его проницаемость, ограничивают поток ионов, повышают электрическое сопротивление и замедляют процесс коррозии. Установлено, что дополнительные вяжущие материалы снижают проникновение хлоридов и пористость [16]. Введение данных материалов в бетонную смесь уменьшает капиллярные поры бетона и повышает его непроницаемость [14]. Проведены многочисленные исследования по улучшению железобетона различными видами добавок, что позволило повысить его химическую стойкость и механические свойства.

Кроме того, использование побочных продуктов промышленности и переработка отходов имеют большое значение для снижения негативного воздействия на окружающую среду при производстве бетона и его эксплуатации в конструкциях тоннелей.

**Основная часть.** Одной из коррозионностойких замещающих добавок является микрокремнезем – побочный продукт производства кремния и ферросилициевых сплавов с содержанием аморфного кремнезема. Средний диаметр частиц примерно в сто раз меньше, чем у частиц портландцемента. При этом его удельная поверхность составляет около 300–13 000 м<sup>2</sup>/кг, что чрезвычайно много по сравнению с портландцементом с плотностью 300–400 м<sup>2</sup>/кг [1].

Микрокремнезем реагирует двумя способами при добавлении в свежий бетон. В пуццолановой реакции он обычно вступает в химическую реакцию с гидроксидом кальция, образуя дополнительное количество гидратированного силиката кальция, который отвечает за стойкость бетона. Кроме того, возникает эффект наполнителя (эффект микронаполнителя), когда поры смеси заполняются очень мелкими частицами примеси [2]. По этим причинам введение микрокремнезема в портландцемент может уменьшить пористость и повысить прочность и долговечность бетона [9].

Вода может проникать за счет капиллярного действия. Поскольку микрокремнезем уменьшает пористость, в железобетон впитывается меньше воды, что ведет к улучшению коррозионной стойкости.

Доломит – это карбонатная осадочная порода с высоким содержанием карбоната, а также с механическими свойствами, подобными свойствам известняка. Доломит используется в производстве стекла, печей и стали. Он тверже и доступнее, чем известняк, и его можно применять при производстве бетона как отличный строительный материал. Прочность сцепления бетона увеличивается при добавлении в качестве наполнителей микрокремнезема или летучей золы вместе с доломитовым порошком [6]. Исследовано влияние добавки различных комбинаций микрокремнезема и доломитового порошка в обычный портландцемент на коррозионное поведение железобетона, армированного углеродистой сталью. Для получения данных электрохимической коррозии использовали электрохимическую импедансную спектроскопию и поляризационный анализ в 3,5%-м растворе NaCl. Морфологию образцов исследовали методом сканирующей электронной микроскопии, а также изучали их сродство к воде по отношению к различным сочетаниям компонентов. Наибольшая коррозионная стойкость была достигнута для смеси с микрокремнеземом (40 кг/м<sup>3</sup>) и доломитовым порошком (80 кг/м<sup>3</sup>) в обычном портландцементе. Измерения поляризации также показали, что при использовании данной смеси скорость коррозии была самой низкой, а коррозионный потенциал – наиболее высоким с эффективностью

ингибирования коррозии  $\eta = 94 \%$ . Результаты электрохимических измерений и водопоглощения показывают, что минеральные добавки повышают долговечность бетона, подвергающегося воздействию коррозионных агентов, предотвращая попадание агрессивных ионов на поверхность стержней из углеродистой стали.

Добавление каолина позволяет уменьшить физические и механические ограничения железобетона и расширить спектр его применения [5].

Каолин способен улучшать удельное электрическое сопротивление и уменьшать проницаемость и удельную поверхность материала.

Влияние добавки каолина для частичной замены обычного портландцемента на коррозионную стойкость арматуры из дуплексной нержавеющей стали исследовалось с помощью потенциала разомкнутой цепи, электрохимической импедансной спектроскопии и поляризационного анализа после погружения образцов в морскую среду. Согласно результатам электрохимических исследований, наиболее высокую коррозионную стойкость и потенциал имел образец с каолином. Морфология поверхности образцов показала, что за счет добавления каолина на поверхности железобетона образовалось лишь небольшое количество продуктов коррозии. Это может быть связано с уменьшением содержания хлорид-ионов и водопроницаемости железобетона. Большие поры могут быть преобразованы в более мелкие за счет добавления каолина, вызывающего изменение структуры цементного теста. Добавление каолина приводит к преобразованию больших пор в более мелкие вследствие изменения структуры цементного теста, а также снижает скорость коррозии и повышает коррозионную стойкость стальной арматуры. Результаты показывают, что каолин в качестве добавки повышает долговечность бетона и предотвращает попадание коррозионных ионов на поверхность металлической арматуры, которая может стать альтернативным материалом в строительной индустрии.

Использование побочных продуктов промышленности и переработка материалов имеют большое значение для снижения воздействия на окружающую среду. В результате производства стали образуется стальной шлак, который имеет сложную структуру, состоящую из силикатов и оксидов и затвердевающую при охлаждении. В процессе производства стали образуется несколько различных типов стального шлака: нагревательный (чеканный) шлак, инженерный шлак, огарок и карьерный шлак (шлак очистки). В настоящее время стальной шлак используется в значительных масштабах в КНР для производства цемента и бетона [3]. Основные минеральные фазы в шлаке ковша электродуговой печи – портландит, майенит и малентерит. Рентгеноструктурный анализ как кислородно-конвертерной печи, так и шлака ковша электродуговой печи показал наличие свободных оксидов магния и оксидов кальция [4]. Время

схватывания и водопоглощение бетона, изготовленного из стального шлака и портландцемента, и бетона, изготовленного только из портландцемента, аналогично. Использование стального шлака целесообразно и в силу более низкой стоимости материала [15].

Переработанный гранулированный доменный шлак представляет собой более мелкий порошок гранулированного молотого доменного шлака, известный также как Alccofine [11]. Достоинствами переработанного гранулированного доменного шлака являются большая площадь поверхности и высокая устойчивость к химическому воздействию. Переработанный гранулированный доменный шлак не увеличивает потребность в воде при дозировке от 5 до 15 % обычного портландцемента. Осадка бетона уменьшается за счет плотной упаковки вяжущего материала, обеспечивающей низкое содержание пустот. Использование переработанного гранулированного доменного шлака приводит к образованию гидратированной цементной матрицы, состоящей из микроскопических пор. Переработанный гранулированный доменный шлак представляет собой уникальный продукт, обладающий высокой реакционной способностью, достигаемой за счет контролируемой грануляции.

Переработанный гранулированный доменный шлак можно применять в качестве водоредуцирующего средства для улучшения прочности на сжатие или более высокой обрабатываемости, улучшения текучести. Преимущества указанного материала проявляются в составе бетонной смеси. Использование указанного материала повышает свойства свежего и затвердевшего бетона, а также обеспечивает более высокую плотность упаковки частиц геополимерного бетона на основе летучей золы [12]. Материал существенно влияет на механические и микроструктурные свойства геополимерного бетона на основе летучей золы. Более высокая удельная поверхность способствует более высокой гидратации и пуццолановой реакции. Кроме того, переработанный гранулированный доменный шлак обеспечивает равномерное смешивание и улучшает удобоукладываемость и консистенцию бетона, повышает прочность на сжатие и долговечность.

### **Заключение**

На основе анализа положительных эффектов, возникающих при использовании в производстве бетона таких веществ, как каолин, доломитовый порошок, микрокремнезем, переработанный гранулированный доменный шлак, с позиций улучшения физико-механических параметров, повышения стойкости к коррозии, снижения негативных экологических последствий необходимо отметить следующее:

1. Прочность сцепления бетона увеличивается при добавлении микрокремнезема или летучей золы вместе с доломитовым порошком в качестве наполнителей.

2. Добавление каолина является важным подходом, который позволяет уменьшить физические и механические ограничения железобетона и расширить спектр их применения. Каолин в качестве добавки повышает долговечность бетона и предотвращает попадание коррозионных ионов на поверхность металлической арматуры, которая может стать альтернативным материалом для развития строительной индустрии.

3. Использование побочных продуктов промышленности и переработка материалов имеют большое значение для снижения воздействия на окружающую среду и устойчивого развития. В результате производства стали образуется стальной шлак. Время схватывания и водопоглощение бетона, изготовленного из стального шлака и портландцемента, и бетона, изготовленного только из портландцемента, аналогично, но шлак обеспечивает большую прочность на сжатие.

Переработанный гранулированный доменный шлак можно использовать в качестве водоредуцирующего средства для улучшения прочности на сжатие или более высокой обрабатываемости, улучшения текучести.

### **Библиографический список**

1. Corrosion resistance evaluation of rebars with various primers and coatings in concrete modified with different additives / Alireza Afshar, Soheil Jahandari, Haleh Rasekh, Mahdi Shariati, Abdollah Afshar, Ali Shokrgozar // *Construction and Building Materials*. 2020. Vol. 262.

2. Influence of silica fume addition on concretes physical properties and on corrosion behaviour of reinforcement bars / J. Dotto [et al.] // *Cement and Concrete Composites*. 2004. Vol. 26, pp. 31–39.

3. An Overview of Utilization of Steel Slag / H. Yi [et al.] // *Procedia Environmental Sciences*. 2012. Vol. 16, pp. 791–801.

4. Yildirim I.Z., Prezzi M. Chemical, mineralogical, and morphological properties of steel slag // *Advances in Civil Engineering*. 2010. Vol. 2011, pp. 1687-8086.

5. Sheng P., Wang D., Yu G. Effect of kaolin addition on electrochemical corrosion resistance of duplex 2205 stainless steel embedded in concrete exposed in marine environment // *International Journal of Electrochemical Science*. 2020. Vol. 15, Iss. 12, pp. 11732–11741.

6. Kamal M.M., Safan M.A., Al-Gazzar M.A. Steel-concrete bond potentials in self-compacting concrete mixes incorporating dolomite powder // *Advances in concrete construction*. 2013. Vol. 1 (4).

7. Corrosion of steel reinforcement in hydrophobized concrete under the influence of aggressive chloride-containing medium / V. Rummyantseva [et al.] // *Journal of Sustainable Development*. 2018. Vol. 10.

8. Kashi A., Ramezaniapour A.A., Moodi F. Durability evaluation of retrofitted corroded reinforced concrete columns with FRP sheets in marine environmental conditions // Construction and Building Materials. 2017. Vol. 151, pp. 520–533.

9. Ramamurthy K., Kunhanandan Nambiar E.K., Ranjani Gandhi I.S. A classification of studies on properties of foam concrete // Cement and Concrete Composites. 2009. Vol. 31(6), pp. 388–396.

10. A new approach for application of silica fume in concrete: Wet granulation / K.S. Motahari [et al.] // Construction and Building Materials. 2017. Vol. 157, pp. 573-581.

11. Girish Kumar M., Mini K.M., Murali Rangarajan. Ultrafine GGBS and calcium nitrate as concrete admixtures for improved mechanical properties and corrosion resistance // Construction and Building Materials. 2018. Vol. 182, pp. 249–257.

12. Effects of alccofine and curing conditions on properties of low calcium fly ash-based geopolymers / S. Arora [et al.] // Materials Today Proceedings. 2020. Vol. 32 (4), pp. 620–625.

13. Electrochemical evaluation of a stainless steel as reinforcement in sustainable concrete exposed to chlorides / G. Santiago-Hurtado [et al.] // Int. J. Electrochem. Sci. 2016. Vol. 11, pp. 2994–3006.

14. Skibsted J., Snellings R. Reactivity of supplementary cementitious materials (SCMs) in cement blends // Cement and Concrete Research. 2019. № 124.

15. Utilization of steel slag for Portland cement clinker production / P.E. Tsakiridis [et al.] // J. Hazardous Mater. 2008. Vol. 152, pp. 805–811.

16. Compressive stress-strain relation of recycled aggregate concrete under cyclic loading / X. Hu [et al.] // Construction and Building Materials. 2018. Vol. 193, pp. 72–83.

## **THE POSSIBILITIES OF USING KAOLIN, DOLOMITE POWDER, MICROSILICON, RECYCLED GRANULAR BLAST FURNACE SLAG IN THE PRODUCTION OF CONCRETE FOR TUNNEL CONSTRUCTION**

**G.A. Shusev, E.V. Tkach**

***Abstract.** The article analyzes the positive effects arising from the use of substances such as kaolin, dolomite powder, silica, recycled granular blast furnace slag in concrete production in terms of improving the physical and mechanical parameters of concrete, increasing corrosion resistance, and reducing negative environmental consequences for tunnel structures.*

**Keywords:** *corrosion-resistant replacement additives, silica, recycled granular blast furnace slag, kaolin, dolomite powder.*

Об авторах:

ШУСЕВ Георгий Александрович – аспирант, ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», Москва. E-mail: shusev.madi@yandex.ru

ТКАЧ Евгения Владимировна – доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», Москва. E-mail: ev\_tkach@mail.ru

About the authors:

SHUSEV George Alexandrovich – Postgraduate Student, Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow. E-mail: shusev.madi@yandex.ru

TKACH Evgeniya Vladimirovna – Doctor of Technical Sciences, Professor, Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow. E-mail: ev\_tkach@mail.ru

**УДК 622.331:553.04**

## **ОБЗОР ИТ-ПРОДУКТОВ ДЛЯ ГОРНЫХ КОМПАНИЙ**

**Т.Б. Яконовская**

© Яконовская Т.Б., 2024

***Аннотация.** В статье приведен обзор рынка программных продуктов (геоинформационных систем) для предприятий горнодобывающего сектора национальной экономики РФ. Показано, что российские разработки геоинформационных систем способны заменить иностранное программное обеспечение для большинства горных компаний. Приведены примеры программных решений.*

***Ключевые слова:** ИТ-продукты, геоинформационные системы, горные компании, отраслевая стратегия, инвестиционные программы.*

Успешное функционирование горнодобывающей компании в немалой степени зависит от наличия в ее арсенале эффективных информационно-технологических решений, которые будут учитывать индивидуальные задачи и особенности работы предприятия горнорудной промышленности. Любая из сфер, будь то добыча торфа, угля,

металлических руд, алмазов, солей и других полезных ископаемых, имеет свою специфику и требования [1].

Например, компания, занимающаяся добычей торфа, может столкнуться с проблемами, связанными с промышленной безопасностью, охраной труда и экологическими вопросами. Для нее будет важна интеграция различных систем мониторинга открытых горных работ, контроля персонала, промышленной безопасности, аналитики инструментов для оптимизации процессов добычи торфа и решения задач по безопасности и экологии.

Если говорить о предприятии, которое ведет добычу алмазов и металлических руд, то ему потребуются продукты, связанные со специфическими процессами обогащения и обработки сырья. Требования могут предъявляться к повышению объемов и качества добычи, эффективности процессов обогащения и преодолению проблем, возникающих на этапе подачи полезного ископаемого заданной концентрации на вход производственных операций по обогащению. В этом случае IT-решения могут включать в себя системы автоматизации производственных процессов, оптимизации процесса шихтования, управления качеством и технологические инструменты для улучшения планирования работ.

В контексте инновационных IT-решений для горнодобывающей промышленности ключевыми факторами являются адаптивность продукта к специфике компании с учетом особенностей и требований для обеспечения эффективного планирования и управления производственной деятельностью [2, 3].

Достижение максимальной эффективности в сфере добычи торфа, песчано-гравийной смеси, угля, металлических руд, алмазов, солей и прочих природных ресурсов предполагает, что имеющиеся на рынке геоинформационные системы должны быть не просто гибкими, но и насыщенными функционально, чтобы успешно взаимодействовать в разнообразных сценариях производства. Имеющиеся на рынке геоинформационные разработки охватывают целый спектр современных решений, нацеленных на оптимизацию бизнес-процессов, повышение производительности и решение сложных вопросов, возникающих на этапах цепочки по добыче и обработке природных ресурсов.

Горнодобывающая промышленность становится все более цифровизированной: широкое внедрение и использование современных цифровых технологий управления данными – тенденция, которая сохранится в ближайшие годы. Искусственный интеллект, цифровые двойники, промышленный «интернет вещей», аналитика данных, контроль, дистанционный мониторинг и другие цифровые технологии являются фундаментальной частью этого пути [4, 5].

Будущее горнодобывающей промышленности зависит от совместности всех систем на основе стандартов, федеральных норм и правил в области промышленной безопасности и способности извлекать из имеющихся данных полезную информацию для максимизации доступности и производительности активов. Это поможет компаниям модернизировать свою деятельность, обрабатывать и анализировать большой объем данных, цифровизировать и автоматизировать движение материалов, которые формируют горнодобывающую отрасль в эпоху цифровых технологий.

В современных условиях на российском рынке можно выделить следующие виды отраслевых продуктов (геоинформационных систем) для горной отрасли:

1. Системы управления производством (MES). Эти решения, предназначенные для автоматизации и управления процессами горного производства, помогают эффективно планировать производственные задачи, контролировать функционирование производственных процессов и выполнение планов, получать реальную информацию об использовании ресурсов и состоянии оборудования, а также анализировать и оптимизировать работу компании в реальном времени. Таким образом, MES-системы позволяют оптимизировать производство, повышать его эффективность и сокращать расходы. Сюда можно отнести также системы управления горнодобывающим производством (Mining Management System) и поддержки принятия решений (Decision Support System).

2. Горно-геологические информационные системы (ГГИС), которые позволяют эффективно управлять массивом геологических данных, полученных при ведении разведки и необходимых для поиска и разработки рудных месторождений, а также обеспечивают возможность визуализации и анализа геологоразведочных данных. Это помогает компаниям успешно осуществлять поиск новых месторождений и планировать объемы добычи руды, в том числе решать задачи:

- повышения точности и скорости геологоразведки;
- разработки актуальной модели месторождения;
- создания цифрового паспорта объекта;
- внедрения цифровых двойников.

3. Системы автоматизации и управления оборудованием, позволяющие автоматизировать и контролировать работу оборудования на горнорудных предприятиях, обеспечивающие сбор данных с аппаратов и машин, дистанционное управление, мониторинг состояния и сокращение времени простоя. Это, в свою очередь, дает возможность планировать текущие и капитальные ремонты, рассчитывать наработку на отказ, повышать надежность и продолжительность работы. Таким образом, решаются следующие важные задачи:

контроль безопасности;  
соблюдение экологических норм, мониторинг и сокращение выбросов и отходов;  
техническое обслуживание и ремонт, в том числе сокращение ремонтных простоев;  
внедрение промышленных тренажеров для обучения и повышения квалификации сотрудников.

4. Системы транспортной логистики. Это «кровеносная система» промышленного предприятия. Современные технологии позволяют организовать взаимодействие между всеми участками: от добычи и переработки до доставки продукции конечному потребителю. К задачам транспортной логистики относятся:

сменно-суточное планирование перевозок;  
построение мастер-маршрутов;  
оптимизация техпроцессов, например шихтования, обеспечения логистики, планирования грузоперевозок, погрузочных и вспомогательных работ и др.;

мониторинг транспортного оборудования и контроль исполнения запланированных операций;

оперативное планирование и контроль процессов в режиме реального времени.

Все вышеперечисленные цифровые технологии позволяют горным компаниям наряду с повышением эффективности производства и снижением операционных затрат выполнять требования по обеспечению промышленной безопасности, предупреждению аварий и случаев производственного травматизма. Более того, они улучшают контроль за оборудованием и процессами, минимизируют риск появления «бутылочных горлышек» в технологических процессах, закрывают потребности в автоматизации производственных задач и анализе данных, оптимизируют процессы и помогают принимать решения на основе анализа получаемой информации. Все это, безусловно, способствует сохранению и росту конкурентоспособности компаний на рынке [6, 7].

В последнее время часто обсуждается идея реализации единой отраслевой стратегии создания IT-продуктов для горной отрасли. Важно учитывать, что она должна соответствовать стратегии развития отрасли в целом. В частности, стратегия развития металлургии, в том числе горнорудной промышленности, была определена в Распоряжении Правительства РФ от 28 декабря 2022 г. № 4260-р «Об утверждении Стратегии развития металлургической промышленности РФ на период до 2030 года». Если она будет реализована, то появится эффективный инструмент для оптимизации и совершенствования бизнес-процессов в отрасли. Таким образом, разработка единой отраслевой стратегии создания

IT-продуктов для горной отрасли должна учитывать не только общие задачи данного сектора, но и специфические запросы компаний. Это требует тщательного анализа технологических и бизнес-процессов в каждой подгруппе отрасли, что позволит:

- определить ключевые направления, нуждающиеся в улучшениях и инновационных IT-решениях;

- выработать рекомендации по разработке и внедрению единой стратегии создания IT-продуктов для горнорудной отрасли.

Например, для крупных компаний определяющим элементом может стать специализированное программное обеспечение для оптимизации процессов добычи руды, погрузочных работ и грузоперевозок, шихтования руды, тогда как малым и средним предприятиям могут быть полезны отраслевые CRM-системы. Получается, что разработка единой отраслевой стратегии создания IT-продуктов для горнорудной отрасли является важной и перспективной задачей, однако ее успешная реализация требует кропотливой работы и учета разнообразия бизнес-процессов в отрасли и потребностей каждой компании.

Современные IT-продукты и технологии уже сейчас дают возможность оптимизировать процессы и повышать эффективность работы в горнодобывающей отрасли. Успешная коллаборация участников рынка позволит выработать максимально эффективные решения, нацеленные на улучшение технологических процессов и увеличение прибыли [8].

Например, системы исследования и поиска месторождений помогают геологам и геофизикам определять потенциально пригодные места для добычи руды, а новейшие приборы и алгоритмы используются для детального анализа геологических данных и выбора оптимальных стратегий разведки и бурения.

Еще один важный аспект – планирование горных работ. Современные программные решения могут создавать трехмерные модели месторождений и самостоятельно разрабатывать планы и сценарии для добычи с учетом множества факторов, таких как геологическая структура, экономическая эффективность и сроки реализации проекта.

Значительную роль в управлении предприятием горной промышленности играет система диспетчеризации, которая обеспечивает контроль и управление всеми технологическими процессами на шахте, карьере. С помощью IT-продуктов можно полностью автоматизировать систему диспетчеризации и тем самым повысить безопасность, эффективность и точность многих операций на шахтах.

Кроме того, IT-системы в горнодобывающей промышленности позволяют вести учет всех ресурсов и материалов, используемых на

предприятию. Это дает возможность не только оптимизировать расходы, но и принимать взвешенные решения на основе анализа данных.

Таким образом, современные ИТ-продукты в горной промышленности предоставляют широкий спектр возможностей для улучшения и повышения эффективности работы в этой отрасли. Коллаборация участников рынка, включая разработчиков, производителей оборудования и специалистов горной промышленности, приведет к созданию инновационных и эффективных решений, которые помогут сделать процессы более совершенными и увеличить прибыльность предприятий [9].

После ухода иностранных ИТ-компаний с российского рынка их место начали активно занимать отечественные производители программного обеспечения. Однако, несмотря на доступность предлагаемых ими ИТ-продуктов, следует помнить о необходимости тщательного анализа и выбора наиболее подходящего решения для конкретных потребностей предприятия. Критерии должны включать в себя как функциональные возможности системы, так и ее надежность, масштабируемость и совместимость с существующими ИТ-инфраструктурами.

Кроме того, рекомендуется провести предварительное тестирование системы, которая должна отвечать требованиям работоспособности и простоты использования. В итоге правильный выбор ИТ-продукта может стать ключевым фактором повышения эффективности и конкурентоспособности любого горного предприятия.

Существуют различные инвестиционные программы, которые направлены на поддержку российских разработчиков программного обеспечения в горной промышленности. Однако есть вопросы к релевантности и эффективности таких программ, и для того, чтобы оценить их действенность, необходимо проанализировать результаты их реализации. Инвестиционные программы в ИТ-секторе включают в себя:

- предоставление финансовой поддержки для создания и развития программного обеспечения;

- приобретение оборудования и технологических решений;

- оказание консультационной помощи.

Оценка их действенности инвестиционных программ учитывает степень достижения запланированных целей и влияние на развитие отрасли. Для получения информации об инвестиционных программах можно обратиться к различным источникам. Одним из них является официальный сайт Министерства промышленности и торговли Российской Федерации, где публикуются актуальные программы и условия их реализации. Информацию можно также найти на сайтах региональных органов власти, ассоциаций и фондов поддержки инноваций.

Помимо государственных программ, инвестиции в разработку IT-продуктов в горной промышленности могут осуществляться частными лицами, венчурными фондами и производственными компаниями. Анализируя список таких программ за последний год, выделим объекты инвестиций: в горной промышленности это разработка программных решений для автоматизации процессов добычи и обработки сырья, создание систем мониторинга и управления, разработка инновационных решений в области геологоразведки.

В целом оценка действенности инвестиционных программ по поддержке российских разработчиков программного обеспечения в горной промышленности является важной задачей. Их дальнейшее продвижение должно основываться на анализе результатов, учете потребностей и особенностей отрасли, чтобы обеспечить максимальную эффективность поддержки разработчиков и стимулировать инновационное развитие предприятий горнорудной промышленности.

#### **Библиографический список**

1. Березкина А.Ю., Яконовская Т.Б. Оценка экономической безопасности торфодобывающих предприятий // Современные технологии управления. 2021. № 2 (95). URL: <https://sovman.ru/article/9502/> (дата обращения: 29.03.2024).

2. Яконовская Т.Б. Проблемы информатизации анализа геологических данных предприятий по добыче торфа // Интеллектуально-информационные технологии и интеллектуальный бизнес (ИНФОС-2020): материалы одиннадцатой заочной межд. науч.-техн. конференции. Вологда: ВГУ, 2020. С. 89–93.

3. Яконовская Т.Б. Цифровизация в реальном секторе экономики РФ: горнодобывающий комплекс // Цифровая экономика и общество: материалы Всероссийской научно-практической конференции / под ред. А.Н. Бородулина. Тверь: ТвГТУ, 2021. С. 47–54.

4. Яконовская Т.Б. Геоинформационная аналитическая система «ГИС-торф» для торфодобывающего предприятия // Цифровая экономика и общество: материалы II научно-практической конференции / под ред. А.Н. Бородулина. Тверь: ТвГТУ, 2022. С. 157–165.

5. Яконовская Т.Б. Информатизация предприятий горной промышленности: торфяная отрасль // Современные технологии и инновации: материалы VI Всероссийской научно-практической конференции. Тверь: ТвГТУ, 2022. С. 191–196.

6. Яконовская Т.Б. Экономическая эффективность разработки и внедрения информационных систем в горных компаниях: факторы выбора IT-систем (часть 1) // Современные технологии и инновации: материалы VI Всероссийской научно-практической конференции. Тверь: ТвГТУ, 2022. С. 196–202.

7. Яконовская Т.Б. Цифровизация в реальном секторе экономики РФ: горнодобывающий комплекс // Цифровая экономика и общество: материалы Всероссийской научно-практической конференции / под ред. А.Н. Бородулина. Тверь: ТвГТУ, 2021. С. 47–54.

8. Яконовская Т.Б., Жигульская А.И. Проблемы информатизации технологических процессов предприятий по добыче торфа // Актуальные направления научных исследований: технологии, качество и безопасность: сборник материалов Национальной (Всероссийской) конференции / под общ. ред. А. Ю. Просекова. Кемерово: КемГУ, 2020. С. 112–113.

9. Яконовская Т.Б. Экономическая эффективность разработки и внедрения информационных систем в горных компаниях: методологические подходы (часть 2) // Проблемы управления в социально-гуманитарных, экономических и технических системах: одиннадцатый ежегодный сборник научных трудов преподавателей, аспирантов, магистрантов, студентов факультета управления и социальных коммуникаций. Тверь: ТвГТУ, 2023. С. 120–125.

## REVIEW OF IT-PRODUCTS FOR MINING COMPANIES

**T.B. Yakonovskaya**

***Abstract.** The article provides an overview of the market for software products for enterprises in the mining sector of the national economy of the Russian Federation. It is shown that Russian software developments are capable of replacing foreign software for most mining companies. Examples of software solutions are given.*

***Keywords:** IT products, mining companies, industry strategy, investment programs.*

Об авторе:

ЯКОНОВСКАЯ Татьяна Борисовна – кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики и управления производством, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: tby81@yandex.ru

About the author:

YAKONOVSKAYA Tatyana Borisovna – Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Economics and Production Management, Tver State Technical University», Tver. E-mail: tby81@yandex.ru

**Инновации и моделирование  
в строительном материаловедении  
и строительстве**

*Материалы VII Всероссийской научно-практической конференции  
(5 июня 2024 г., Тверь)*

Редактор М.Б. Юдина  
Корректор Ю.Ф. Воробьева

---

Подписано в печать 16.10.2024

Формат 60×84/16

Физ. печ. л. 8,5

Тираж 50 экз.

Усл. печ. л. 7,91

Заказ № 62

Бумага писчая

Уч.-изд. л. 7,4

С – 62

---

Редакционно-издательский центр  
Тверского государственного технического университета  
170026, г. Тверь, наб. А. Никитина, 22