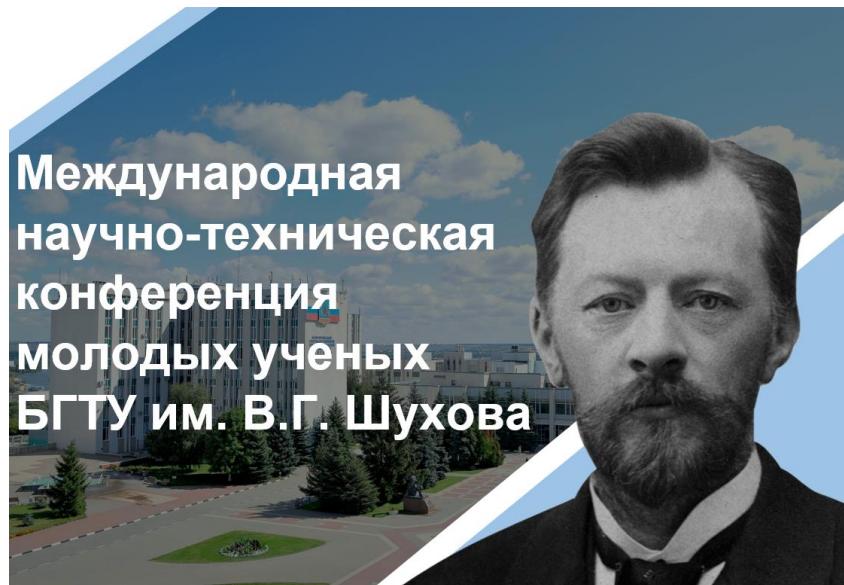


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Российская академия наук
Российская академия архитектуры и строительных наук
Администрация Белгородской области
ФГБОУ ВО Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова
Международное общественное движение инноваторов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



Сборник докладов

Часть 4

Проблемы строительного материаловедения

**Белгород
29-30 мая 2025 г.**

УДК 005.745
ББК 72.5+74.48
М 43

**Международная научно-техническая конференция
молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова
[Электронный ресурс]:
Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2025. – Ч. 4. – 90 с.**

ISBN 978-5-361-01461-3

В сборнике опубликованы доклады студентов, аспирантов и молодых ученых, представленные по результатам проведения Международной научно-технической конференции молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова.

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

УДК 005.745
ББК 72.5+74.48

ISBN 978-5-361-01461-3

©Белгородский государственный
технологический университет
(БГТУ) им. В.Г. Шухова, 2025

Антошина Н.В., Фомина Е.В., Агеева М.С.

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

ПЕРСПЕКТИВЫ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ ПЛАСТМАСС ПРИ ПОЛУЧЕНИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Разработка энерго- и ресурсосберегающих технологий с использованием полимерных отходов необходимы в первую очередь для переоценки их роли в организации рынка полимерного сырья и выработки комплексных подходов к динамично изменяющимся условиям рыночных отношений, составляющих современную мировую экономику [1].

Из общей массы полимерных отходов ТКО почти половину пластмасс составляет упаковка – 42%, следующую позицию занимает упаковочная пленка (35%), на третьем месте – ПЭТ-бутылки (12%), а на прочие полимерные отходы приходится 11% [2].

Жизненный цикл пластмасс определяется исходя из колебаний химического состава исходного сырья. Следует отметить, что среди различных полимеров, образующихся в виде пластиковых отходов, перспективным для вторичной переработки является полиэтилен низкой плотности. Этот отход легко отсортировать механическими методами в отличие от полиэтилена высокой плотности.

Строительный сектор обладает значительным потенциалом для массового потребления отходов пластмасс, что способствует минимизации проблем с их утилизацией. Это обусловлено крупными объемами производства, разнообразием выпускаемой продукции и возможностью комплексной переработки различных типов отходов при создании полиматричных связующих [3]. Основные проблемные задачи и ограничения, связанные с потенциальным использованием полимерных отходов:

- загрязненность пластика, что требует дополнительной обработки;
- отсутствие стандартов и нормативных актов по подготовке и методов включения в структуру строительных материалов, что ограничивает их коммерческое применение;
- низкая степень адгезии полимерных частиц с матрицей строительного материала, что приводит к снижению прочности готового композита;
- недостаток знаний о долгосрочных эксплуатационных свойствах

строительных материалов с использованием отходов.

Несмотря на то, что пластик, добавляемый в бетон в качестве заполнителя, в основном, имеет меньшую прочность при сжатии, есть и несколько преимуществ, таких как меньшая плотность, лучшая ударная вязкость, повышенная ударопрочность, повышенная пластичность, а также лучшие показатели звуко- и теплоизоляции [4].

В данной работе проводили исследования с применением пластиковых частиц, полученных путем измельчения полипропиленовой (ПП) тары (бутылки из под моющих средств и т.п.) (рис. 1 а).

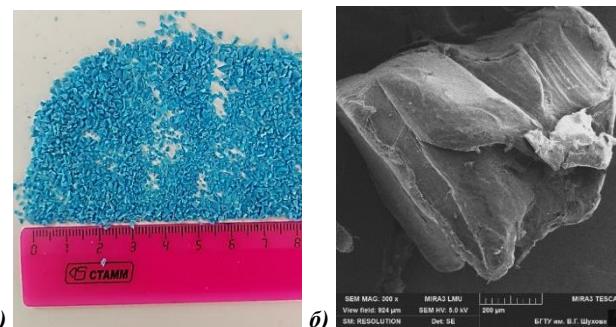


Рис. 1. Пластиковые частицы полипропилена: а – измельченный продукт; б – морфологические особенности поверхности измельченных частиц

Для получения пластиковых частиц использовали патентозащищенный роторно-центробежный агрегат комбинированного действия (РЦА КД) [5]. В данном агрегате реализована возможность варьирования разрывающего и истирающего силового воздействия, что оказывает влияние на формирование дефектной поверхности пластиковых частиц.

Исследование морфологических особенностей поверхности частиц, их размера и формы проводили с использованием растрового электронного микроскопа *Tescan MIRAS LMU* (рис. 1 б).

Анализ микроструктуры отражает наличие развитой поверхности у большинства частиц, неоднородных по размерам и форме. Отмечается множество микродефектов, сколы, трещины, примятости, аналогичные фольге. Частицы имеют форму близкую к кубической. При этом мелкие частицы с размером до 1 мм отличаются большей степенью дефектной поверхностью, вытянутой или изогнутой формой, полученной за счет технических особенностей их получения в условиях роторно-

центробежного агрегата.

Для оценки влияния пластикового отхода на физико-механические свойства мелкозернистого бетона (МЗБ) формировали образцы-кубики 3×3×3 см. В качестве сырья использовали портландцемент ЦЕМ I 42,5Н (Ц), кварцевый песок (П) и воду (В). Соотношение компонентов в составе Ц:П:В = 1:2:0,4. Вводили суперпластификатор «Реопласт» в количестве 1% от массы цемента. Количество отхода пластика составляло 1, 2, 3% от массы цемента. В качестве контрольного состава был выбран состав без применения пластика.

Таблица – Изменение физико-механических свойств МЗБ

Содержание ПП в бетонной смеси, %	Плотность, кг/м ³	Предел прочности при сжатии (R _{сж}), МПа		
		3 сут	7 сут	28 сут
0	1970	14,7	20,6	28,3
1	1973	13,5	24,16	28,6
2	1975	14,2	26,85	29,9
3	1980	15,5	26,18	32,8

По результатам эксперимента отмечается следующая закономерность: с увеличением количества пластиковых частиц в составе МЗБ происходит увеличение плотности материала (табл.). Введение до 1% отхода несущественно отразилось на изменении прочностных свойств МЗБ. При содержании пластиковых частиц выше 1% отмечается повышение прочности при сжатии по сравнению с контрольным составом

Максимальные значения прочностных характеристик (R_{сж}=32,8 МПа) установлены в случае использования наполнителя ПП в количестве 3%. При этом прочность в сравнении с контрольным составом увеличилась почти на 16%.

Микроструктура частиц отходов пластика обладает дефектной поверхностью. Впадины, сколы и трещины выступают в качестве подложек при кристаллизации гидросиликатных новообразований, что влияет на повышение адгезии и прочностных характеристик МЗБ.

Таким образом, получение качественного вторичного сырья из переработанного пластика позволяет решить не только экологические, экономические проблемы, но и создает замкнутый цикл, где пластиковые отходы становятся ценным сырьем.

Работа выполнена при финансовой поддержке в рамках национального проекта «Наука и университет» по созданию новой лаборатории «Разработка,

исследования и опытно-промышленная апробация научноемких технологий технических средств для производства полимерсодержащих композиционных смесей и изделий из техногенных органоминеральных компонентов » (проект FZWN2024-0002).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Dai, L. Pyrolysis technology for plastic waste recycling: A state-of-the-art review / L. Dai, N. Zhou, Y. Lv, Y. Cheng, Y. Wang, Y. Liu, K. Cobb, P. Chen, H. Lei, R. Ruan // Progress in Energy and Combustion Science. – 2022. – Vol. 93. – 101021.
2. Валеев, С.Ф. Современные технологии и тренды рынка вторичных полимеров / С.Ф. Валеев, Е.А Калиненко // Химия и технология топлив и масел. – 2023. – № 6(640). – С. 12–18.
3. Панфилов, Б.В. Вторичная переработка - важнейшая составляющая экономики замкнутого цикла / Б.В. Панфилов // Полимерные материалы. – 2019. – № 8. – С. 18–23.
4. Sau, D. Utilization of plastic waste as replacement of natural aggregates in sustainable concrete: effects on mechanical and durability properties / D. Sau, A. Shiuly, T. Hazra // International Journal of Environmental Science and Technology. – 2024. – Vol. 21. – Pp. 2085–2120.
5. Пат. 2755436 РФ В02C 18/00. Роторно-центробежный агрегат с иглофрезерными рабочими органами / В.С. Севостьянов, Н.Т. Шеин, М.В. Севостьянов, П.Ю. Горягин, В.В. Оболонский, Д.Н. Перельгин, Р.Ю. Шамгулов; заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова, заявл. 26.01.2021, опубл. 16.09.2021, Бюл. №26. – 13 с.

УДК 666.94.052

Бублик В.В.

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

Белгородский государственный технологический университет

им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ВЛИЯНИЕ ИНТЕНСИФИКАТОРОВ ПОМОЛА НА СВОЙСТВА ЦЕМЕНТНОГО ТЕСТА

Цементный бетон – самый востребованный строительный материал в мире, гораздо популярнее кирпича, стали и дерева. Но его повсеместное использование оказывает значительное негативное воздействие на экологию, главным образом из-за производства портландцемента – основного компонента бетона.

Цементная промышленность активно ищет способы уменьшить свой вред для окружающей среды и сократить потребление энергии. Важным направлением здесь является оптимизация технологических процессов, особенно использование интенсификаторов помола клинкера.

Повышение эффективности помола клинкера – энергозатратного этапа производства цемента – помогает снизить выбросы парниковых газов и уменьшить использование ископаемого топлива. Разработчики исследуют различные добавки и модификаторы, которые улучшают процесс измельчения, снижают энергозатраты и повышают экологическую эффективность производства цемента.

Выбор подходящих интенсификаторов помола зависит от их свойств, влияния на качество цемента и экономической выгоды. Дальнейшие исследования в этой области крайне важны для снижения углеродного следа цементной промышленности и перехода к более экологичным технологиям производства строительных материалов.

В связи с этим крайне важны дальнейшие исследования и разработка новых, экологически безопасных технологий производства цемента, чтобы снизить негативное воздействие человеческой деятельности на окружающую среду.

Основная часть. Перед началом работы с лабораторной мешалкой необходимо тщательно подготовить оборудование. В первую очередь, внутреннюю поверхность чаши мешалки следует очистить, протерев её влажной тканью. После этого, в чашу необходимо отвесить 400 граммов испытуемого образца цемента, обеспечив его равномерное распределение по всему дну. Затем, следует отмерить необходимое количество воды, соответствующее нормальной густоте цементного

теста, согласно установленным стандартам.

Далее, горизонтальный вал мешалки, оснащенный приподнятыми лопастями, предназначенными для предварительного перемешивания, устанавливается на вертикальный вал. После установки вала, отмеренное количество воды аккуратно и равномерно выливается на цемент, избегая образования луж и комков. После этого, нажимается кнопка "Пуск", расположенная на кнопочной станции управления мешалки.

В течение первых тридцати секунд происходит начальное перемешивание цемента и воды с помощью вращающихся ножей. На данном этапе особое внимание следует уделить равномерному распределению цементной смеси внутри чаши, предотвращая скопление цемента в одном месте. Это предотвратит образование комков и обеспечит однородность теста. Через 30-35 секунд после запуска мешалки происходит автоматическое сбрасывание ножей, и начинается основной процесс замешивания цементного теста при помощи лопастей. Замешивание продолжается в автоматическом режиме в течение пяти минут, после чего мешалка автоматически отключается.

По окончании замеса необходимо аккуратно снять горизонтальный вал с мешалки и извлечь готовое цементное тесто из чаши, приготовив его к дальнейшим исследованиям и испытаниям. Важно соблюдать осторожность при извлечении теста, чтобы избежать разбрзгивания и потерь образца.

Исследование. Результаты физико-механических испытаний

В таблице 1 представлены результаты физико-механических испытаний цементных образцов: нормальная густота, сроки схватывания и водоотделение.

Образец №1 представляет собой образец чистого клинкера.

Образец №2, содержащий триэтаноламин (ТЭА), служит контрольным образцом.

Таблица 1 - Результаты физико-механических испытаний цементных образцов: нормальная густота, сроки схватывания, водоотделение с применением различных интенсификаторов помола

№ образца	Состав шихты, гр			Дозировка интенсификатора помола, гр/т	Нормальная густота, мм	Сроки схватывания, мин		Водоотделение, %
	Клинкер	Гипс	Интенсификатор помола			Начало	Окончание	
1	5000	350	-	-	25,4	210	280	35,8
2	5000	350	ТЭА	120	25,6	165	235	33,6
3	5000	350	SikaGrind 2531.2	120	25,7	195	265	34,4
4	5000	350	SikaGrind 2731	120	25,7	205	280	36,5
5	5000	350	SikaGrind 3023	120	25,8	210	290	36,1
6	5000	350	SikaGrind 2531.2	200	25,7	175	245	35,1
7	5000	350	SikaGrind 2731	200	25,8	185	250	35,4
8	5000	350	SikaGrind 3023	200	25,8	210	280	34,4

Построим график показателей нормальной густоты с интенсификаторами ТЭА и SikaGrind (в дозировке 120 гр/т) (рисунок 1) и график показателей нормальной густоты с интенсификаторами ТЭА (в дозировке 120 гр/т) и SikaGrind (в дозировке 200 гр/т) (рисунок 2).

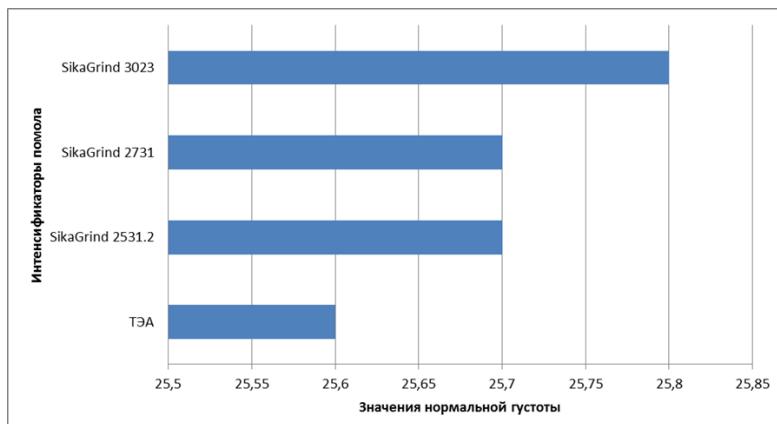


Рис. 1 - Нормальная густота с интенсификаторами ТЭА и SikaGrind (в дозировке 120 гр/т)

Анализ представленного графика указывает на незначительное увеличение водоцементного отношения ($\pm 0,2$ мм) при использовании интенсификаторов SikaGrind в пониженной дозировке.

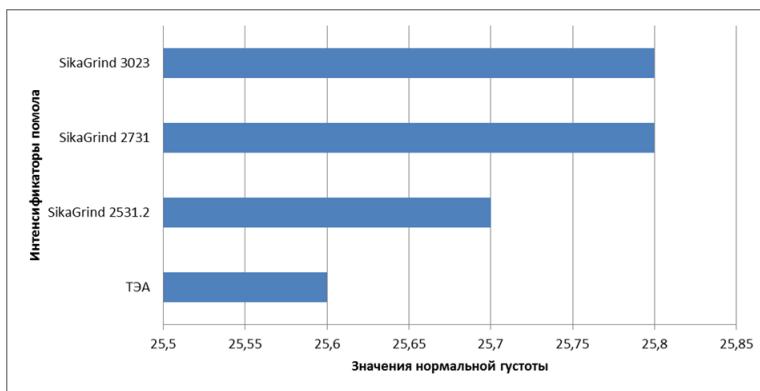


Рис. 2 - Нормальная густота с интенсификаторами ТЭА (в дозировке 120 гр/т) и SikaGrind (в дозировке 200 гр/т)

Анализ представленных данных демонстрирует несущественное повышение водоцементного фактора на $\pm 0,2$ мм при применении добавок SikaGrind в указанной производителем дозировке.

Построим график показателей сроков схватывания с интенсификаторами ТЭА и SikaGrind (в дозировке 120 гр/т) (рисунок 3) и график показателей сроков схватывания с интенсификаторами ТЭА (в дозировке 120 гр/т) и SikaGrind (в дозировке 200 гр/т) (рисунок 4).

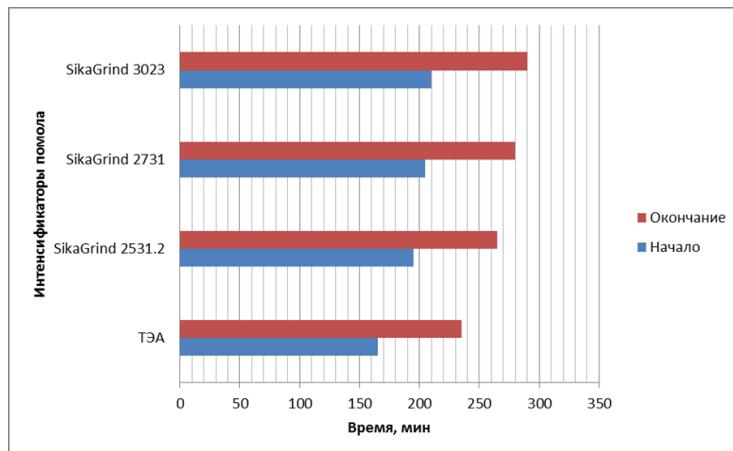


Рис. 3 - Сроки схватывания (начало и окончание) с интенсификаторами ТЭА и SikaGrind (в дозировке 120 гр/т)

Анализ данных по времени схватывания цементного раствора,

полученных в ходе эксперимента, демонстрирует, что применение интенсификаторов схватывания SikaGrind в пониженных дозировках (120 гр/т) оказывает существенное влияние на кинетику процесса гидратации цемента, приводя к значительному увеличению периода схватывания по сравнению с эталонной добавкой триэтаноламина (ТЭА).

Контрольный образец, приготовленный с использованием ТЭА, продемонстрировал начало схватывания через 165 минут и полное схватывание через 235 минут. Это служит отправной точкой для сравнительного анализа влияния различных модификаторов SikaGrind.

Использование интенсификатора SikaGrind 2531.2 привело к увеличению времени начала схватывания на 30 минут (до 195 минут) и времени полного схватывания также на 30 минут (до 265 минут) относительно контрольного образца. Добавка SikaGrind 2731 продемонстрировала еще более выраженное замедление процесса: начало схватывания зафиксировано через 205 минут (+40 минут по сравнению с ТЭА), а окончание – через 280 минут (+45 минут по сравнению с ТЭА). Наиболее значительное замедление схватывания наблюдалось при применении интенсификатора SikaGrind 3023: начало схватывания произошло через 210 минут (+45 минут), а полное схватывание – через 290 минут (+55 минут).

Таким образом, результаты эксперимента однозначно свидетельствуют о том, что применение исследуемых интенсификаторов SikaGrind в указанной пониженной дозировке (120 гр/т) не только не обеспечивает ожидаемого ускорения процесса схватывания цемента по сравнению с традиционно используемым триэтаноламином (ТЭА), но, напротив, приводит к его существенному замедлению. Это замедление проявляется как в увеличении времени начала схватывания, так и в увеличении времени полного схватывания, причем степень замедления варьируется в зависимости от конкретного типа используемого интенсификатора SikaGrind. Полученные данные требуют дальнейшего исследования для выяснения причин наблюдаемого эффекта и оптимизации дозировки интенсификаторов SikaGrind для достижения желаемого ускорения схватывания.

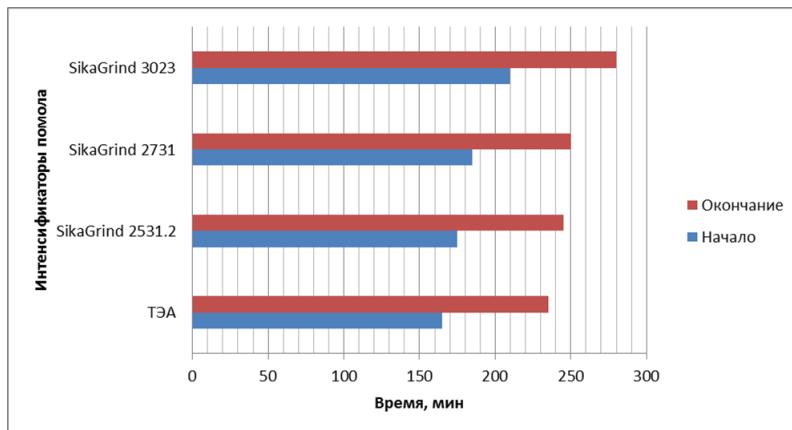


Рис. 4 - Сроки схватывания (начало и окончание) с интенсификаторами ТЭА (в дозировке 120 гр/т) и SikaGrind (в дозировке 200 гр/т)

В ходе проведенного исследования влияния различных интенсификаторов на кинетику схватывания вяжущего вещества были исследованы три образца, содержащие различные добавки: SikaGrind 2531.2 в концентрации, рекомендованной производителем, SikaGrind 2731 и SikaGrind 3023, каждый в количестве 200 грамм на тонну вяжущего. В качестве эталонного образца использовался образец, модифицированный триэтаноламином (ТЭА), который демонстрировал начало схватывания через 165 минут и полное схватывание через 235 минут. Результаты эксперимента показали, что применение SikaGrind 2531.2 в рекомендованной производителем дозировке привело к незначительному увеличению времени схватывания: начало схватывания сместилось на 10 минут (до 175 минут), а окончание – также на 10 минут (до 245 минут) по сравнению с эталонным образцом. Образец с добавкой SikaGrind 2731 продемонстрировал увеличение времени начала схватывания на 20 минут (185 минут), однако время полного схватывания увеличилось всего на 15 минут (до 250 минут).

Наиболее значительное увеличение времени схватывания наблюдалось в образце с SikaGrind 3023: начало схватывания задерживалось на 45 минут (210 минут), а полное схватывание – также на 35 минут (280 минут).

Построим график (рисунок 5) интервала начала и конца схватывания с интенсификаторами ТЭА и SikaGrind (в дозировке 120 гр/т) и SikaGrind (в дозировке 200 гр/т).

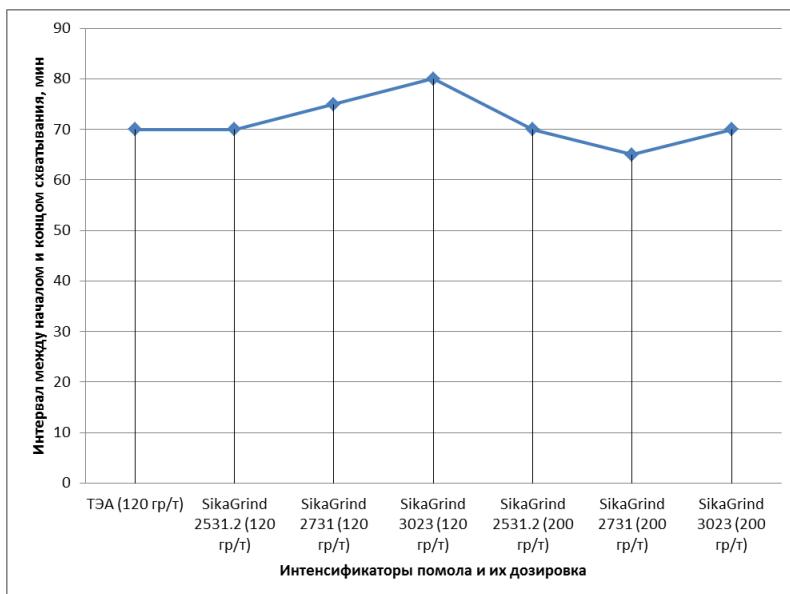


Рис. 5 – Интервал между началом и концом схватывания с различными интенсификаторами

На основе визуального анализа графика, отображающего интервалы времени между началом и завершением процесса схватывания, можно сделать следующие выводы. Контрольному образцу соответствуют результаты, полученные при использовании интенсификаторов SikaGrind 2531.2 в дозировках 120 и 200 граммов на тонну, а также SikaGrind 3023 в озировке 200 граммов на тонну. Эти результаты демонстрируют эталонные временные показатели процесса схватывания. При этом применение интенсификатора SikaGrind 2731 в дозировке 120 граммов на тонну привело к увеличению интервала схватывания на пять минут по сравнению с контрольным образцом. Аналогично, использование SikaGrind 3023 в дозировке 120 граммов на тонну удлинило этот интервал на десять минут относительно контрольного образца.

В противоположность этому, интенсификатор SikaGrind 2731, примененный в дозировке 200 граммов на тонну, продемонстрировал сокращение интервала схватывания на пять минут по сравнению с результатами, полученными при использовании интенсификатора ТЭА. Таким образом, наблюдается нелинейная зависимость времени схватывания от типа и дозировки применяемого интенсификатора.

Анализ полученных данных свидетельствует о том, что SikaGrind 2531.2 в рекомендованной дозировке проявляет наименьшее отклонение от параметров эталонного образца, характеризующегося применением ТЭА. Несмотря на незначительное удлинение времени схватывания, обусловленное использованием SikaGrind 2531.2, окончательный вывод о целесообразности его применения может быть сделан лишь после проведения комплексного анализа, включающего в себя определение прочностных характеристик и других реологических свойств образцов, полученных с использованием исследуемых интенсификаторов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Емельянов Д.К. Снижение энергозатрат при помоле цементного клинкера / Емельянов Д.К. [Текст] // Международная научно-техническая конференция молодых ученых. — Белгород:Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова (Белгород), 2020. — С. 3315-3325.
2. Шохова, Л. Д., Черкасов, Р. А., Березен, Н. М., Манелюк, Д. Б. Классификации технологических добавок при помоле цемента [Текст] / Л. Д. Шохова, Р. А. Черкасов, Н. М. Березен, Д. Б. Манелюк // Фундаментальные исследования. — 2014. — № 12-2. — С. 295-299.
3. Черкасов, Роман Андреевич. Интенсификация помола цемента с применением комплексных технологических добавок: автореферат дис. ... кандидата технических наук: 05.17.11 / Черкасов Роман Андреевич; [Место защиты: Белгород. гос. технол. ун-т им. В.Г. Шухова]. — Белгород, 2015. — 22 с.
4. Смаль Д. В. Интенсификация обжига и повышение активности клинкера двухпоточным помолом шлама: специальность 05.17.11 «Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов.»: Диссертация на соискание кандидата технических наук / Смаль Д. В. ; . — , 2010. — 127 с.

Бублик В.В.

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

ВЛИЯНИЕ ИНТЕНСИФИКАТОРОВ ПОМОЛА НА СКОРОСТЬ ПОМОЛА

Цементный бетон, являющийся наиболее распространённым конструкционным материалом в глобальном масштабе, демонстрирует значительно более высокое потребление в строительной индустрии по сравнению с такими традиционными материалами, как кирпич, сталь и древесина. Однако широкое использование цементного бетона сопряжено со значительным негативным воздействием на окружающую среду, обусловленным, прежде всего, производством его основного компонента – портландцемента. Значительный объём выбросов парниковых газов в атмосферу, составляющий, по оценкам специалистов, от 5 до 7% от общемирового уровня, является прямым следствием интенсивного производства портландцемента. Более детальный анализ свидетельствует о том, что производство одной тонны цемента сопровождается выбросом от 650 до 950 килограммов диоксида углерода. Кроме того, цементная промышленность характеризуется чрезвычайно высоким уровнем энергопотребления, достигающим приблизительно 18,7 млрд. кВт·ч в год на глобальном уровне. Это энергоёмкое производство способствует не только увеличению выбросов парниковых газов, но и оказывает существенное воздействие на истощение природных ресурсов и усугубляет проблему энергетической безопасности. Таким образом, необходимо дальнейшее исследование и разработка инновационных, экологически чистых технологий производства цемента для минимизации негативного антропогенного воздействия на окружающую среду.

В настоящее время цементная промышленность сталкивается с острой необходимостью минимизации своего негативного воздействия на окружающую среду и снижения энергопотребления. Значительные усилия в этом направлении направлены на оптимизацию технологических процессов, одним из ключевых аспектов которой является использование интенсификаторов помола клинкера. Повышение эффективности помола клинкера, являющегося энергоёмким этапом производства цемента, напрямую способствует сокращению выбросов парниковых газов и уменьшению потребления

ископаемого топлива. Исследования в данной области фокусируются на разработке и применении различных добавок и модификаторов, способных улучшить показатели измельчения, снизить энергозатраты на единицу продукции и, как следствие, повысить общую экологическую эффективность цементного производства. Выбор оптимальных интенсификаторов помола обусловлен рядом факторов, включающих в себя их физико-химические свойства, влияние на качество получаемого цемента, а также экономическую целесообразность их применения. Дальнейшее развитие исследований в этой области критически важно для достижения целей по снижению углеродного следа цементной промышленности и перехода к более устойчивым технологиям производства строительных материалов.

Для определения влияния скорости помола используется лабораторная мельница, представленная на рисунке 1.



Рис. 1 – Лабораторная мельница

Лабораторная мельница представляет собой двухкамерный барабан с внутренним диаметром 0,5 м и длиной каждой камеры 0,28 м, вращающийся со скоростью $(48 +/- 1)$ мин. Масса шаров в каждой камере мельницы $(55,9 +/- 0,1)$ кг, твердость шаров – не ниже четвертой группы твердости по ГОСТ 7524.

Из отобранных проб клинкера формируется проба массой не менее 6 кг, которая измельчается в лабораторной щековой дробилке (рис. 2) до полного прохождения через сито с сеткой N 2,8 по ГОСТ 3826.



Рис. 2 – Щековая дробилка лабораторная

Методом квартования отбирается проба клинкера массой 5 кг и размалывается в лабораторной мельнице с добавлением камня гипсового или ангидритового по ГОСТ 4013, обеспечивающим в цементе массовую долю ангидрида серной кислоты, равную $(2,5 \pm 0,1)\%$, до удельной поверхности $(330 \pm 20)\text{ м}^2/\text{кг}$, определенной методом воздухопроницаемости на приборе типа ПСХ.

Загрузка мельницы указана в таблице 1.

Таблица 1 - Загрузка мельницы лабораторной

Условный диаметр шара, мм	Масса шара, г	Количество шаров, шт.	Общая масса шаров, кг
65	1291	8	10,328
55	761	12	9,132
45	413	40	16,520
35	199	100	19,900
Всего:			55,880

Допускается использовать отработанные шары с отклонениями по размеру, с соблюдением общей массы шара по каждой номенклатуре.

Исследование. В таблице 2 представлены результаты физико-механических испытаний цементных образцов: удельная поверхность, тонкость помола (определенная по остаткам на ситах с размерами ячеек 0,08 мм и 0,045 мм) и текучесть.

Образец №1 представляет собой образец чистого клинкера.

Образец №2, содержащий триэтаноламин (ТЭА), служит контрольным образцом, поскольку ТЭА регулярно применяется на Белгородском цементном заводе, и его характеристики приняты за эталон для сравнительного анализа влияния других интенсификаторов помола.

Таблица 2 - Влияние различных интенсификаторов помола на свойства порошкообразного портландцемента

№ образца	Состав пасты, гр			Дозировка интенсификатора помола, гр/т	Время помола, мин	SO3, %	$S_y, m^2/kg$	R 008, %	R 0045, %	Текучесть, %
	Клинкер	Гипс	Интенсификатор помола							
1	5000	350	-	-	41	2,31	320	9,6	22	18,2
2	5000	350	ТЭА	120	41	2,42	329	8,8	22,2	24,5
3	5000	350	SikaGrind 2531.2	120	41	2,37	328	8,7	21,5	23,2
4	5000	350	SikaGrind 2731	120	41	2,36	322	7,3	19,9	24,6
5	5000	350	SikaGrind 3023	120	41	2,29	325	7,7	19,6	24,9
6	5000	350	SikaGrind 2531.2	200	41	2,38	331	8,5	19,9	24
7	5000	350	SikaGrind 2731	200	41	2,29	320	7,8	19,2	27,5
8	5000	350	SikaGrind 3023	200	41	2,36	330	8,5	20,2	23,8

Известно, чем выше удельная поверхность цемента (суммарная площадь частиц), тем труднее будет проходить воздух через эти частицы, то есть увеличивается сопротивление воздушному потоку. Так как показатель $S(y)$ при использовании ТЭА равен $329 \text{ м}^2/\text{kg}$, то образец №3 и №8 показали максимально приближенные результаты с погрешностью $\pm 1 \text{ м}^2/\text{kg}$.

Обращая внимание на значения тонкости помола, а конкретно контрольного образца ($R008=8.8\%$ и $R0045=22,2\%$) видим, что образец №3 показал максимально приближенные к нему результаты ($R008=8,7\%$ и $R0045=21,5\%$) с погрешностью $\pm 0,1\%$ и $\pm 0,7\%$ соответственно.

Вывод. При использовании интенсификаторов SikaGrind 2731, SikaGrind3023 в дозировке 120 гр/т и SikaGrind 2731 в дозировке 200 гр/т цемент показал низкий показатель тонкости помола. Применение перечисленных интенсификаторов помола на Белгородском цементном заводе позволяет сократить время помола и, следовательно, увеличить производительность цементного производства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

6. Гельдиева Г. Современные технологии производства цемента [Текст] / Гельдиева Г. // Академическая публицистика. — 2023. — № 11-2. — С. 40-43.
7. Котов С.В., Сивков С.П. Высокоэффективные интенсификаторы помола для измельчения портландцемента с минеральными добавками [Текст] / Котов С.В., Сивков С.П. // Техника и технология силикатов. — 2013. — № Том 20, номер 4. — С. 16-20.
8. Шахова Л.Д., Черкасов Р.А., Березина Н.М., Манелюк Д.Б. Классификация технологических добавок при помоле цемента // Фундаментальные исследования. 2014. № 12-2. С. 295-299.
9. Классен, В. К. Технология и оптимизация производства цемента: краткий курс лекций: учеб. пособие / В. К. Классен. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2012. – 308 с.

УДК 691

Воробьев Е.Л.

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

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВУЛКАНИЧЕСКОГО ШЛАКА КАМЧАТКИ В КОМПОЗИЦИОННЫХ ВЯЖУЩИХ

Строительная индустрия продолжает искать инновационные методы, направленные на повышение энергоэффективности, снижение издержек и улучшение качественных характеристик используемых материалов. Одно из актуальных направлений исследований заключается в изучении возможностей использования природных ресурсов, включая продукты вулканической активности. В частности, особый интерес вызывает вулканический шлак Камчатки, отличающийся уникальными физико-химическими свойствами и способностью служить ценной составляющей в композиционных вяжущих материалах [1].

Главной особенностью вулканического шлака является высокая концентрация оксида кремния (SiO_2) и оксида алюминия (Al_2O_3) в его составе, что обеспечивает повышенные прочностные характеристики, кроме того, это дает ему возможность вступать в химические реакции с кальциевыми соединениями. Указанная особенность делает вулканический шлак незаменимым компонентом композиционных

вяжущих, способствующих формированию дополнительных цементирующих фаз и увеличению прочности материалов. Экспериментально доказано, что добавление вулканического шлака в цементные растворы увеличивает прочность при сжатии на 24% при концентрации включения порядка 12,5%. Данное явление обусловлено формированием новых кристаллических соединений, возникающих при взаимодействии вулканического шлака с гидрооксидом кальция [2].

При подготовке вулканического шлака к производству строительных композиций используются такие технологические операции, как измельчение, сушка и грануляция. Высокая степень дисперсности минерала обусловлена особенностями его структуры, позволяющими эффективно производить помол и достигать оптимальной удельной поверхности, что критично важно для экономии ресурсов и повышения экономических преимуществ использования данного материала [3].

Добавление вулканического шлака в строительные составы позволяет значительно улучшать технические показатели материалов, увеличивая прочность и другие ключевые характеристики. Проведённые исследования подтверждают существенное повышение прочностных свойств и износостойкости изделий, изготавливаемых с включением вулканического шлака. Использование вулканического шлака даёт значительные экономические выгоды. Во-первых, доступность местного сырья сокращает транспортные расходы и уменьшает общую себестоимость продукции. Во-вторых, благодаря способности вулканического шлака повышать прочность и долговечность материалов, снижается потребность в повторных ремонтах и реконструкциях, что дополнительно оптимизирует общие расходы предприятия [4].

Одним из важнейших преимуществ вулканического шлака является его положительное влияние на окружающую среду. Поскольку добыча и обработка вулканического шлака связана с минимальным воздействием на экосистемы, его использование способствует решению двух значимых экологических задач: уменьшается количество отходов вулканической деятельности и сокращается расход традиционных строительных материалов, производимых с большим количеством выбросов CO₂ [5].

Для более широкого использования потенциала вулканического шлака в промышленности необходимо провести оценку его экологической безопасности и сертификацию на соответствие требованиям стандартов. Это позволит повысить доверие к материалам, созданным на его основе, и расширит их применение на рынке.

Особое внимание следует уделять вопросам долговечности и устойчивости строительных изделий, изготовленных с добавлением вулканического шлака. Исследования влияния шлака на сопротивляемость материалов внешним воздействиям, таким как морозы, влажность и агрессивные среды, важны для оценки их эксплуатации в различных климатических условиях.

Современные методы моделирования и прогнозирования поведения вулканического шлака в составе строительных материалов позволяют оптимизировать технологические процессы и повысить надежность изделий. Также перспективными направлениями являются разработка инновационных технологий обработки шлака, таких как гидрообработка или химическая модификация, что повысит его адгезию и дисперсность.

Для внедрения вулканического шлака в промышленное производство необходимо провести комплексный экономический анализ, учитывающий региональные особенности Камчатки и потенциальные рынки сбыта. Это обеспечит устойчивое развитие и расширение использования данного природного ресурса.

Проведение экспериментальных исследований с включением новых составов и добавок, а также изучение их поведения при различных условиях эксплуатации, позволит найти оптимальные формулы для получения материалов с улучшенными характеристиками.

Социально-экономический эффект от внедрения технологий с использованием вулканического шлака включает создание новых рабочих мест, развитие местной инфраструктуры и повышение конкурентоспособности строительной отрасли региона Камчатки за счет использования местных ресурсов.

Таким образом, можно отметить, что вулканический шлак Камчатки обладает всеми необходимыми качествами для эффективного применения в композиционных вяжущих материалах. Уникальные физико-химические свойства, подтвержденные экспериментальными результатами, открывают широкий спектр возможностей для совершенствования строительных технологий, обеспечивая эффективное решение задач повышения энергоэффективности, снижения материальных затрат и охраны окружающей среды.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Повышение эффективности использования продуктов вулканической деятельности / Н. И. Алфимова, Н. Н. Шаповалов, Е. Е. Шадский, Т. Г. Юракова // Вестник Белгородского государственного

технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2015. – № 5. – С. 11-15.

2. К вопросу об использовании вулканического сырья Камчатки в качестве минеральной добавки / П. В. Трунов, Н. И. Алфимова, В. С. Лесовик [и др.] // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2014. – № 4. – С. 84-89.

3. Влияние времени помола на свойства композиционного вяжущего / М. С. Агеева, Г. А. Лесовик, С. М. Шаповалов [и др.] // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2015. – № 4. – С. 28-32.

4. Шаповалов, Н. Н. Оценка эффективности использования продуктов вулканической деятельности в качестве компонента композиционных вяжущих / Н. Н. Шаповалов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2016. – № 9. – С. 67-72.

5. Никитин, Ю. В. Экологические последствия вулканических извержений / Ю. В. Никитин // Интернет-журнал СахГУ: Наука, образование, общество. – 2010. – № 2(4). – С. 82.

УДК 694.1

Галкина М.А.

*Научный руководитель: Кальмова М.А., канд. техн. наук, доц.
Самарский государственный технический университет
г. Самара, Россия*

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ТЕРМИРОВАННОЙ ДРЕВЕСИНЫ

Термическая обработка древесины – один из перспективных способов улучшения её эксплуатационных свойств. Изучение изменений свойств древесины после обработки позволяет получить знания о применении этого материала в различных отраслях.

Научная значимость данной работы заключается в углубленном изучении процессов, протекающих в сосне при термической обработке, и их влиянии на её свойства. Практическая значимость заключается в разработке рекомендаций по применению термированной древесины в строительстве, дизайне интерьеров и производстве мебели.

Термическая обработка древесины – это технологический процесс, состоящий из нагревания древесины до температуры 160-250°C в условиях ограниченного доступа к кислороду. Снижение содержания кислорода предотвращает воспламенение материала, а также

способствует химическим модификациям в его структуре, в том числе и разложение гемицеллюлозы, что в свою очередь приводит к снижению гигроскопичности и увеличению устойчивости к биологическим воздействиям. Также показатели термостойкости термированной древесины выше, чем у необработанной. Главная цель термической обработки заключается в улучшении ее эксплуатационных характеристик.

При термической обработке древесины ключевым аспектом является выбранный температурный режим, так как от него зависят свойства и применение конечного продукта. Также важна среда обработки.

Одним из основных физических свойств древесины является её плотность. Плотность сосны варьируется от 500 до 600 кг/м³, а значит, что эта порода деревьев является одной из самых плотных хвойных пород. Плотность оказывает большое влияние на прочностные характеристики сосны, а также на устойчивость к внешним воздействиям. Кроме того древесина обладает гигроскопичностью, то есть способностью впитывать влагу из воздуха, что влияет на форму и размеры материала при изменении влажности.

Механические характеристики определяют способность древесины выдерживать нагрузки и не разрушаться. У сосны довольно высокий модуль упругости – около 11 ГПа. Модуль упругости определяет её жёсткость и способность не деформироваться под внешним воздействием. Прочность зависит от плотности, влажности и структуры.

Для проведения испытаний прочности и жесткости древесины применяются лабораторные методы исследования, описанные в международных нормах. Образцы древесины были отобраны из одной партии, что уменьшает погрешность при испытаниях. Также образцы были визуально оценены на предмет дефектов.

Стоит отметить, что древесина – анизотропный материал, что имеет значение при определении пределов прочности на сжатие. Испытывать образцы древесины необходимо вдоль и поперек волокон. В этой работе в расчете был использован только предел прочности вдоль волокон с целью сравнения термированного образца с образцом нетермированной сосны.

Прочность древесины на сжатие вдоль волокон и на изгиб является важной частью оценки её механических свойств (1). Для сосны прочность на сжатие может достигать 40-45 МПа. Проводились лабораторные испытания с использованием гидравлических прессов, которые обеспечивают равномерное распределение нагрузок на

образцы (2). В ходе экспериментов были измерены максимальные нагрузки, которые могут выдержать образцы древесины, а также путем сравнения с нетермированными контрольными образцами было проанализировано влияние термической обработки на эти показатели.

Жёсткость древесины определяется её способностью сопротивляться деформациям под нагрузкой, что выражается через модуль упругости. Были зафиксированы изменения модуля упругости после термической обработки и оценено влияние на жёсткость древесины.

Для сравнительного анализа физико-механических свойств термированной и нетермированной сосны применялись стандартные методы лабораторных исследований. Оценивались такие характеристики, как плотность, прочность на сжатие и изгиб, а также водопоглощение. В исследовании использовались образцы сосны, подвергнутые термической обработке при температуре 180-220°C и контрольные образцы без обработки.

Плотность термированной сосны снизилась на 5-10% по сравнению с нетермированной. Анализируя динамику изменения представленных показателей можно утверждать что все физические свойства испытуемых образцов уменьшаются с увеличением температуры и времени обработки (3). Прочность на сжатие вдоль волокон у термированной сосны возросла до 20%, что говорит об улучшении её механических характеристик. За счет удаления влаги из образцов термодерева, она становится более устойчивой к водопроницаемости.

В результате проведённых вычислений модуль упругости термированной сосны вырос примерно на 50 МПа в сравнении с модулем упругости нетермированных образцов.

В процессе исследования были обнаружены различия в свойствах термированной и нетермированной древесины подтверждают эффективность термической обработки. Тем не менее снижение массы древесины может ограничивать её применение в некоторых специфических областях, где важна высокая плотность материала.

Термированная сосна находит широкое применение в различных отраслях. Благодаря улучшенным эксплуатационным характеристикам одной из основных областей её использования является строительство, где она применяется для создания планкена, досок для облицовки, фасадных панелей, террасных досок и других наружных конструкций. Биологическая стойкость материала, достигнутая благодаря термической обработке делает его идеальным для использования в условиях повышенной влажности и биологической активности. Кроме

того термированная сосна используется в производстве мебели.

В результате проведённого исследования были выявлены изменения физических свойств сосны, а также механических свойств после проведения термической обработки. Также наблюдалось увеличение прочности материала при определённых условиях обработки, в частности при термировании доски в печи при температуре 175 °C. Эти изменения прямо говорят, о том, что термированную сосну смело можно использовать в строительстве.

Для дальнейшего изучения изменения свойств термированной сосны необходимо провести ряд опытов при различных температурных режимах, а также уделить особое внимание обработке древесины перед термированием. Это позволит получить оптимальные параметры обработки и даст понимание, конкретно в какой области строительства применять данный материал.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шарапов, Е. С. Экспериментальные исследования физико-механических свойств термически модифицированной древесины сосны / Е. С. Шарапов, К. С. Mahnert, А. С. Королев // Вестник Московского государственного университета леса - Лесной вестник. – 2013. – № 2. – С. 90-96. – EDN PXQDQB.
2. Виноградов Н.В. Компрессионные свойства древесины лиственницы как основа отжимной технологии извлечения арабиногалактана: Автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук. — Санкт-Петербург, 2019. — [б. с.].
3. Сафин Р. Р., Сафин Р. Г., Шайхутдинова А. Р. «Вакуумно-конвективное термомодифицирование древесины в среде перегретого пара» // Вестник Казанского технологического университета. — 2011. — № 6. — С. 93–99.

УДК 691.3:691.32

Дудин А.Д., Загороднюк Л.Х.

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

Белгородский государственный технологический университет

им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ДОБАВОК НА ФОРМИРОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО БЕТОНА

В настоящее время строительство немыслимо без использования модифицирующих добавок, позволяющих изменять свойства цементных и бетонных растворов. Основная задача этих добавок – улучшение характеристик исходных материалов для повышения эксплуатационных показаний, обеспечения прочности и увеличения срока службы выпускаемых изделий. Применение современных модификаторов обладающих разнообразными свойствами, позволяет создавать смеси с заранее нужными характеристиками. При этом улучшение цементных композиций осуществляется с минимальными финансовыми затратами и без усложнения технологического процесса их производства. Новейшие модификаторы, предназначенные для строительных смесей предоставляют возможность создавать бетон и раствор непосредственно на месте строительства. Эти растворы отличаются высокими показателями, и в настоящее время пользуются большой популярностью. Применение модификаторов в составе бетонов и растворов дает безграничные перспективы в современной строительной отрасли.

Для принятия обоснованного решения о применении добавок, представленных на рынке сырья, требуются полноценные испытания в растворах и бетонах. Это связано с необходимостью учитывать особенности местной сырьевой базы. Ведь модифицирующие добавки демонстрируют значительные различия в своих свойствах в зависимости от состава цементной композиции.

Целью данного исследования стало изучение влияния добавок-модификаторов вводимых в состав вяжущих композиций на процессы формирования структуры цементного камня.

В современной практике строительства и материаловедения накоплен значительный объем данных о разработке и использовании композиционных вяжущих веществ, обладающих заданными технологическими параметрами, физико-механическими свойствами и эксплуатационными качествами [1-7]. Ключевым принципом, лежащим в основе создания подобных материалов, является концепция

структурного сродства, оказывающая определяющее воздействие на процессы формирования микроструктуры и макрсвойств конечного продукта. Указанный принцип позволяет целенаправленно регулировать процессы структурообразования, оптимизируя реологические характеристики растворных смесей, прочностные показатели затвердевшего материала и его устойчивость к внешним воздействиям [8-14]. Формирование структуры композиционного вяжущего вещества, определяемое законом сродства структур, является основополагающим фактором для достижения требуемых характеристик строительных материалов.

В соответствии с поставленными задачами, анализировалась вяжущая композиция, состоящая из портландцемента (95% по массе) и вспученного перлитового песка марки М50 (5% по массе), был выбран интервал в 30 минутах механоактивации в вибрационной мельнице для достижения максимальной удельной поверхности ВК. Для целенаправленного изменения характеристик материала осуществлялось добавление модификаторов различного функционального назначения: суперпластификатор Melflux, Полипласт СП-1 35%, YIDA LEAD YD200 10%, Полипласт ПК тип S 30%. Пенообразователь Морпен, 6% вводился во все смеси в количестве 36 мл (табл. 1).

В исследуемых составах 1-5 применялся перлит марки М50, соотношение по объему вяжущей композиции к вспученному перлиту 1/11 и вода 450 мл.

Таблица 1 – Влияние различных суперпластификаторов, пенообразователя на физико-механические свойства чистого цементного камня и вяжущей композиции.

№ п/п	Состав		Добавки, г					Средняя плотность после сушки в возрасте 28, кг/м ³	Средняя прочнос ть, МПа куба 10x10x1 0см
	ВК, г	ПЦ, г	Морпен, 6%	Melflux	Полипласт СП-1 35%	YIDA LEAD YD200 10%	Полипласт ПК тип S 30%		
1	600	-	36	-	17	-	-	190	0,038
2	600	-	36	-	-	24	-	201	0,069
3	600	-	36	-	-	-	12	191	0,034
4	-	600	36	3	-	-	-	171	0,028
5	-	600	36	-	-	24	-	136	0,032

Приготовление композиции осуществлялось следующим образом. В емкость для смешивания всех компонентов наливалась вода, засыпалось вяжущее и перемешивалось с помощью миксера до однородной массы, после вводился суперпластификатор установленной дозировки и раствор продолжали перемешивать до появления мелких пузырьков в объеме смеси, далее заливался пеногенератор требуемого количества и производился замес до формирования пенобетонной массы, а затем всыпали отдохнувшее количество всученного перлита и перемешивали полученную массу в течение 5 минут.

Из полученных составов смеси формировали кубики размерами 10x10x10 см. Отформованные образцы маркировали и хранили во влажных условиях, при относительной влажности 90% и температуре 20°C. Вследствие того, что образцы через первые сутки твердения имели недостаточную прочность их извлекали из форм после 9 дней и последующие 19 дней они находились в камере нормального твердения.

По достижению образцами 28 суток их высушивали до постоянной массы и определяли плотность и прочность при сжатии.

Выводы: Анализ полученных результатов испытаний образцов составов №2 указывает, что увеличение плотности для образцов составов №2 составило 18% по сравнению с образцами составов №4 и 48% по сравнению с образцами составов №1. Соответственно увеличение прочности при сжатии для образцов составов №2, с добавлением суперпластификатора YIDA LEAD YD200 10% и с участием в структурообразовании вяжущей композиции, составило 146% по сравнению с образцами составов №4 и 116% по сравнению с образцами составов №1, исходя из полученных результатов можно судить о том, что в первом случае СП YIDA LEAD YD200 10% эффективнее суперпластификатора Melflux, а во втором случае ВК проявляет большую активность по сравнению с чистым ПЦ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алфимова Н.И., Вишневская Я.Ю., Трунов П.В. Композиционные вяжущие и изделия с использованием техногенного сырья. Saarbrucken. LAP LAMBERT, 2013. 127 с.
2. Лесовик В.С., Алфимова Н.И., Агеева М.С. Бетоны на композиционных вяжущих //Бетон и железобетон. Оборудование. Материалы. Технологии. 2012. № 2 (7). С. 99–101.

3. Алфимова Н.И., Вишневская Я.Ю., Трунов П.В. Оптимизация условий твердения композиционных вяжущих. Saarbrucken. LAP LAMBERT, 2012. 197 с.
4. Лесовик, В.С. Управление структурообразованием строительных композитов: монография / В.С. Лесовик, И.Л. Чулкова.- Омск: СиБАДИ, 2011. - 462 с.
5. Лесовик В.С., Загороднюк Л.Х., Чулкова И.Л. Закон сродства структур в материаловедении // Фундаментальные исследования. 2014. № 3. Ч. 2. С.267–271.
6. Загороднюк Л.Х., Лесовик В.С., Беликов Д.А. К проблеме проектирования сухих ремонтных смесей с учетом сродства // Вестник Центрального регионального отделения РААСН, Выпуск 18. Москва. 2014. С. 112–119.
7. Лесовик В.С. , Загороднюк Л.Х., Чулкова И.Л., Толстой А.Д., Володченко А.А. Сродство структур как теоретическая основа проектирования композитов будущего // Строительные материалы.2015. №9. С. 18-22.
8. Развитие производства эффективного минерального теплоизоляционного материала бисипор [Текст] / О. В. Крифукс, , Б. В. Генералов // Строительные материалы. - 2003. - № 11. - С. 26-27.
9. Матросов, Ю.А. Энергосбережение в зданиях: Проблема и пути ее решения / Ю.А. Матросов. – М.: НИИСФ, 2008. – 496 с.
10. Материалы и изделия на основе вспученного перлита / А.В.Жуков [и др.]. – М.: Стройиздат, 1972. –159 с.
11. Нациевский, С.Ю. Перлит в современных бетонах, сухих строительных смесях и негорючих теплоизоляционных изделиях / С.Ю. Нациевский. М.: Строительные материалы, 2006. - 496 с.
12. Zagorodnuk L.H., Lesovik V.S., ShkarinA.V., Belikov D.A., Kuprina A.A. Creating Effective Insulation Solutions, Takinginto Accountthe Law of Affinity Structuresin Construction Materials // World Applied Sciences Journal. 2013. № 24 (11). С. 1496–1502.
13. LesovikV.S., ZagorodnukL.H., TolmachevaM.M., SmolikovA.A., ShekinaA.Y., ShakarnaM.H.I. Structure-formation of contact layers of composite materials // Life Science Journal. 2014. № 11(12s). С. 948–953.
14. Kuprina A.A., Lesovik V. S., Zagorodnyk L. H., Elistratkin M. Y. Anisotropy of Materials Properties of Natural and Man-Triggered Origin// Research Journal of Applied Sciences. 2014. № 9. С. 816–819.

Дудин А.Д., Загороднюк Л.Х.

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

Белгородский государственный технологический университет

им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ БЕТОНЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЕРЛИТОВОГО ПЕСКА

Материалы, характеризующиеся малым коэффициентом теплопроводности, применяются для обеспечения теплоизоляции строительных элементов, технологического оборудования и трубопроводных систем. Применение теплоизоляционных материалов в составе ограждающих конструкций, например, в крупнопанельном жилищном строительстве, позволяет существенно сократить затраты на отопление. Применение эффективной теплоизоляции обеспечивает снижение потребления топлива до 200 тонн (в условном исчислении) в год [1] в зависимости от используемого теплозащитного материала. Данная экономия достигается за счет уменьшения теплопотерь через ограждающие конструкции и, как следствие, снижения затрат на отопление.

В основе разработки эффективных теплозащитных материалов, по нашему мнению, лежит концепция прецизионного управления технологическим процессом на всех стадиях производства, особое внимание оказывают применяемые вяжущие вещества и используемый заполнитель. Данный подход включает в себя использование активных компонентов, разработку оптимальных рецептур, применение химических модификаторов, а также использование механохимической активации составляющих. Такой комплексный подход позволяет достичь требуемых физико-механических свойств бетона, как, например, высокая прочность на сжатие, морозостойкость и долговечность. Эффективность вяжущих нового поколения, разработанных на основе принципов управления технологией, подтверждена многочисленными исследованиями [2-4].

Введение различных органических добавок позволяет целенаправленно модифицировать свойства композиционных вяжущих. Этот подход обеспечивает гибкость в адаптации характеристик вяжущего к конкретным требованиям проекта, обеспечивая широкий спектр применения [5-16]. Подобные модификации способствуют улучшению удобоукладываемости, регулированию сроков схватывания и набора прочности, а также

повышению устойчивости к агрессивным средам. Применение композиционных вяжущих, таким образом, способствует не только улучшению качества конечного продукта, но и более рациональному использованию сырьевых ресурсов.

В данный момент проводятся углубленные экспериментальные и теоретические эксперименты, направленные на оптимизацию компонентного состава строительных композиционных материалов. Особое внимание уделяется исследованию кинетики структурообразования и определению физико-механических характеристик цементных вяжущих веществ в составе различных строительных композитов. Полученные данные используются для разработки новых составов строительных композитов с улучшенными эксплуатационными характеристиками, включая повышенную прочность, долговечность и устойчивость к воздействию агрессивных сред.

Первоначально, принимая во внимание многокомпонентный состав композиционных вяжущих веществ, включающий вяжущее, минеральные и органические составляющие, начальный этап исследований был сфокусирован на изучение вяжущих композиций, состоящих из цемента и минеральной добавки – вспученного перлитового песка.

Данные композиции подвергались совместному измельчению в вибрационной мельнице. Эффективность помола и гомогенизация компонентов оказывают значительное влияние на прочность и долговечность конечного продукта.

В соответствии с поставленными задачами, анализировалась вяжущая композиция, состоящая из портландцемента (95% по массе) и вспученного перлитового песка марки М50 (5% по массе) использовали в количестве 600 г, был выбран интервал в 30 минутах механоактивации в вибрационной мельнице для достижения максимальной удельной поверхности ВК. Для целенаправленного изменения характеристик материала вводили модификаторы различного функционального назначения: суперпластификатор Melflux для всех составов вводился в количестве 3 г и порообразователь Esapon с дозировкой 3 г (табл. 1). Приготовление композиции осуществлялось следующим образом. В емкость для смешивания всех компонентов наливалась вода, засыпалось вяжущее и перемешивалось миксером до однородной массы, после вводился суперпластификатор с установленной дозировкой и раствор продолжали перемешивать до появления мелких пузырьков в объеме смеси, далее заливался порообразователь в указанном количестве и производился замес до формирования

однородной массы, а затем всыпали отдоизированное количество вспученного перлита и перемешивали полученную массу в течение 5 минут.

Таблица 1 – Влияние различного соотношения ВК, перлитового заполнителя и различных добавок на физико-механические свойства цементного камня.

№ п/п	Перлит М50, соотношение по объему ВК/ВП	Вода, мл	В/Ц	Средняя плотность после сушки в возрасте 28, кг/м ³	Средняя прочность, МПа куба 10x10x10см
1	1:9	600	1	559	1,75
2	1:11	600	1	525	1,43
3	1:13	650	1,08	502	1,41

Из полученных составов формовали кубики размерами 10x10x10см. Отформованные образцы маркировали и хранили в камере нормального твердения в формах, при относительной влажности 90% и температуре 20°C. Вследствие того, что образцы через первые сутки твердения имели недостаточную прочность их извлекали из форм после 7 дней и последующие 21 день они находились в камере нормального твердения.

В возрасте 28 суток образцы высушивали до постоянной массы и определяли плотность и прочность при сжатии.

Выводы: Анализ полученных результатов испытаний образцов составов 1-3 указывает, что при различном соотношении по объему вяжущей композиции и вспученного перлита получены различные показатели по прочности и плотности. Так, при наименьшем соотношении вяжущей композиции и перлитового песка 1:9 достигается наивысшая прочность 1,75 МПа, но при этом отмечается достаточно высокая плотность 559 кг/м³. При наибольшем соотношении входящих компонентов смеси с соотношением 1:13 наблюдается обратная зависимость. Рациональным соотношением является соотношение компонентов 1:11, обеспечивающее достаточную прочность 1,43 МПа при плотности 525 кг/м³.

Учитывая, что в разработанном композите получена достаточная прочность целесообразно продолжить дальнейшую оптимизацию теплоизоляционного состава по пути снижения плотности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Матросов, Ю.А. Энергосбережение в зданиях: Проблема и пути ее решения / Ю.А. Матросов. – М.: НИИСФ, 2008. – 496 с.
2. Лесовик, В.С. Технология теплоизоляционных, жаростойких и акустических материалов и изделий / В.С. Лесовик, Н. И. Алфимова. – Белгород : Изд-во БГТУ, 2010. –296 с.
3. Лесовик, В.С. Композиционное вяжущее с использованием кремнистых пород / В.С Лесовик, В.В. Строкова, А.Н. Кривенкова, Е.И. Ходыкин // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2009. – №1. – С. 25 – 27.
4. Лесовик, В.С. К проблеме повышения эффективности композиционных вяжущих / В.С. Лесовик, Н.И. Алфимова, Е.А. Яковлев, М.С. Шейченко // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2009. – №1. – С.30 – 33.
5. Баженов, Ю.М. Технология бетона – М.: Изд-воACB, 2003.–500 с.
6. Бутт, Ю.М. Химическая технология вяжущих материалов: учебник для вузов / Ю.М.Бутт, М.М. Сычев, В.В.Тимашев; под ред. В.В.Тимашева. – М.: Высшая школа, 1980. – 472 с.
7. Микульский, В.Г. Строительные материалы (материаловедение и технология): учебное пособие / В.Г.Микульский. – М.: ACB, 2002. – 536 с.
8. Лесовик, Р.В. Активация наполнителей композиционных вяжущих / Р.В.Лесовик // Вестник БГТУ им. В.Г.Шухова. – 2009. – №1. – С. 87 – 89.
9. Энтин, З.Б. Многокомпонентные цементы / З.Б. Энтин, Б.Э. Юдович // II Междунар. совещ. по химии и технологии цемента, 4 – 8 дек. 2000 г. – М., 2000. – 180 с.
10. Лесовик, В.С. Композиционное вяжущее с использованием кремнистых пород / В.С Лесовик, В.В. Строкова, А.Н. Кривенкова, Е.И. Ходыкин // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2009. – №1. – С.25 – 27.
11. Лесовик, В.С. К проблеме повышения эффективности композиционных вяжущих / В.С. Лесовик, Н.И. Алфимова, Е.А. Яковлев, М.С. Шейченко // Вестник БГТУ им. В.Г.Шухова. – 2009. – №1. – С.30 – 33.
12. Лесовик, В.С. Высокоэффективные композиционные вяжущие с использованием наномодификатора / В.С.Лесовик, Н.И.Алфимова, Я.Ю.Вишневская // Вестник центрального регионального отделения Российской академии архитектуры и строительных наук. – 2010. – №1. – С.90.

13. Шейченко, М.С. Композиционные вяжущие с использованием высокомагнезиальных отходов Ковдорского месторождения / М.С. Шейченко, В.С.Лесовик, Н.И.Алфимова // Вестник БГТУ им. В.Г.Шухова. – 2011. – №1. – С.64– 68.

14. Zagorodnuk L.H., Lesovik V.S., ShkarinA.V., Belikov D.A., Kuprina A.A. Creating Effective Insulation Solutions, Takinginto Accountthe Law of Affinity Structuresin Construction Materials // World Applied Sciences Journal. 2013. № 24 (11). С. 1496–1502.

15. LesovikV.S., ZagorodnukL.H., TolmachevaM.M., SmolikovA.A., ShekinaA.Y., ShakarnaM.H.I. Structure-formation of contact layers of composite materials // Life Science Journal. 2014. № 11(12s). С. 948–953.

16. Kuprina A.A., Lesovik V. S., Zagorodnyk L. H., Elistratkin M. Y. Anisotropy of Materials Properties of Natural and Man-Triggered Origin// Research Journal of Applied Sciences. 2014. № 9. С. 816–819.

УДК 691.32

Дудченко В.А., Тарасов И.А., Бабешко А.В.

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

Белгородский государственный технологический университет

им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛОМА КЕРАМЗИТОБЕТОНА И БОЯ КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА В ПРОИЗВОДСТВЕ МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ БЕТОНОВ

В современном строительстве остро стоит вопрос утилизации и вторичного использования отходов, возникающих при демонтаже зданий и сооружений. Среди таких отходов особое место занимают лом керамзитобетона и бой керамического кирпича. Эти материалы обладают рядом уникальных физико-механических свойств, которые позволяют эффективно использовать их в качестве заполнителей и наполнителей для производства мелкозернистых бетонов. Цель данной работы — рассмотреть возможности применения этих вторичных материалов в технологии бетонов, а также выявить преимущества их использования.

Лом керамзитобетона представляет собой отход, образующийся при разрушении конструкций из легких бетонов на основе керамзита. Он характеризуется высокой пористостью, низкой плотностью и хорошими теплоизоляционными свойствами. Бой керамического кирпича, в свою очередь, является результатом повреждения или переработки кирпича при демонтаже объектов. Этот материал

отличается повышенной прочностью, шероховатой поверхностью и развитой внутренней пористостью [1-3].

Оба материала после дробления и просеивания дают широкую гранулометрическую характеристику, включая крупные, мелкие фракции и тонкомолотую пылевидную фракцию. Это делает их универсальными компонентами для формирования бетонных смесей различного назначения.

Преимущества использования керамического кирпича и лома керамзитобетона как заполнителя:

Особенность керамического кирпича заключается в его способности к физическому и химическому срастанию с цементной матрицей. Поверхностная шероховатость и микропористость способствуют глубокому проникновению тонкодисперсных частиц вяжущего в структуру заполнителя. При дальнейшей гидратации цемента в порах и капиллярах формируются новые гидратные фазы, что усиливает связь между заполнителем и цементным камнем и повышает прочность бетона [4-5].

Установлено, что пористая структура лома керамзитобетона позволяет регулировать деформационные свойства бетона, снижая его усадку и модуль упругости. Это особенно важно при использовании бетона в конструкциях, подверженных температурным и влажностным воздействиям.

Использование вторичных заполнителей вместо традиционных природных материалов (например, керамзита) позволяет снизить себестоимость продукции на 15–25%, а также уменьшить антропогенную нагрузку на окружающую среду за счет рационального обращения с отходами строительства и демонтажа.

После дробления строительного лома проводится операция просеивания, в результате которой получают следующие фракции:

Крупные фракции (10–40 мм) — используются в качестве крупного заполнителя для изготовления легких бетонов.

Мелкие фракции (0,16–5 мм) — применяются как песчаный заменитель в мелкозернистых бетонах.

Тонкомолотая пылевидная фракция — может быть использована в качестве минерального наполнителя для композиционных вяжущих или как добавка, улучшающая реологические свойства бетонных смесей.

Эта многофракционная структура позволяет комплексно использовать вторичные материалы без значительных потерь сырья.

Тонкомолотые частицы лома керамзитобетона и боя керамического кирпича обладают высокой реакционной способностью благодаря содержанию остаточного цемента и активных минеральных

компонентов. Они могут эффективно применяться в составе высокоэффективных мелкозернистых бетонов, обеспечивая:

- Увеличение плотности и прочности цементного камня;
- Стабилизацию микроструктуры бетона, особенно в высокоподвижных смесях.

На основе вторичных заполнителей из лома керамзитобетона и боя керамического кирпича возможно производство следующих видов мелкозернистых бетонов:

- Теплоизоляционноконструкционные бетоны с плотностью менее 1800 кг/м³ и теплопроводностью 0,35–0,50 Вт/(м·°C);
- Высокопрочные мелкозернистые бетоны классов В15–В25, используемые в производстве мелкоштучных стеновых изделий и элементов мощения;
- Штукатурные и кладочные смеси, обладающие повышенной адгезией к керамическим поверхностям.

Разработанные рецептуры обеспечивают не только требуемые технические характеристики, но и экономическую целесообразность благодаря снижению затрат на исходное сырье и энергоносители.

Анализ научных исследований и практического опыта свидетельствует о высоком потенциале использования лома керамзитобетона и боя керамического кирпича в технологии мелкозернистых бетонов. Эти вторичные материалы обеспечивают:

- Повышенную адгезию с цементной матрицей;
- Оптимальные деформационные и прочностные характеристики;
- Снижение стоимости готовой продукции;
- Комплексное использование всех фракций отходов, включая тонкомолотую пыль.

Таким образом, внедрение технологий переработки и использования вторичных строительных материалов в производство мелкозернистых бетонов соответствует принципам «зеленого» строительства и устойчивого развития, способствуя решению экологических и экономических задач современной строительной индустрии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аласханов А.Х. Диссертация. Использование вторичных заполнителей в производстве строительных материалов. – 2022.

2. Средство структур как теоретическая основа проектирования композитов будущего / В. С. Лесовик, Л. Х. Загороднюк, И. Л. Чулкова [и др.] // Строительные материалы. – 2015. – № 9. – С. 18-22.

3. Газиев, Х. Х. использование строительного лома / Х. Х. Газиев, Е. Н. Кикалишвили, Н. В. Богун // Архитектура и строительство: традиции и инновации: Материалы III Международной научно-технической конференции студентов, магистрантов и аспирантов, Гомель, 19 декабря 2024 года. – Гомель: Белорусский государственный университет транспорта, 2025. – С. 54-58.

4. Успанова А.С. Использование некондиционных песков и техногенных отходов в производстве штукатурных смесей // Строительные материалы. – 2021.

5. Высокопрочные бетоны для специальных сооружений: монография / В.С. Лесовик, Р.С. Федюк. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2025. – 284 с.

УДК 691.3:691.32

Евдокимов А.Ю.

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

ПРИМЕНЕНИЕ БЕТОНА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

В настоящее время бетон — это один из наиболее часто применяемых материалов в строительной отрасли по всему миру. На протяжении многих десятилетий его используют для создания зданий различной высоты — от малоэтажных строений до грандиозных сооружений в сотни метров.

История применения искусственного каменного материала, содержащего вяжущие вещества и другие компоненты, уходит своими корнями в глубокую древность. Ещё предки древних римлян, жившие около 6000 лет назад до нашей эры, применяли подобный материал при строительстве дорог и фундаментов.

Широкое распространение бетона обусловлено его многофункциональностью и разнообразием физико-механических характеристик, которые можно регулировать с помощью различных добавок и примесей. Дополнительными преимуществами являются его относительно низкая стоимость и высокая долговечность.

Состав бетона включает:

- Заполнитель (как мелкий, так и крупный),

- Воду,
- Различные добавки, улучшающие его свойства,
- Вяжущее вещество, в качестве которого чаще всего используется цемент.

На рисунке 1 представлены данные о производстве цемента в разных странах, что наглядно демонстрирует масштабы его использования в строительной индустрии.

Благодаря возможности варьировать состав бетона, его применяют в самых разных областях строительства, от создания фундаментов до возведения высотных зданий.

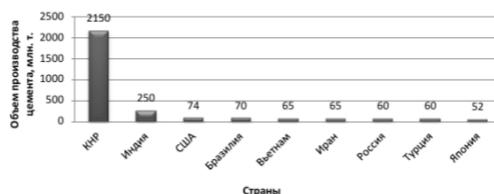


Рис. 1. Объемы производства цемента по странам

Бетон находит применение в различных сферах строительства:

- Строительство дорог: используется для создания прочных и долговечных дорожных покрытий.
- Создание фундаментов: обеспечивает надёжность и устойчивость зданий.
- Строительство мостов и плотин: благодаря своей прочности и устойчивости к нагрузкам, бетон идеально подходит для подобных сооружений.
- Облицовка зданий: применяется для внешней и внутренней отделки.
- Создание каркаса зданий: используется в качестве основного материала для несущих конструкций.
- Гидроизоляционные работы: применяется для защиты от влаги и воды.
- Иные ремонтно-строительные работы: используется в самых разнообразных проектах и задачах.

Несмотря на широкое применение, чистый бетон редко используется в строительстве из-за его ограниченной способности противостоять определённым нагрузкам, таким как вибрации, растягивающие усилия, сильные ветры и другие механические воздействия. Для повышения прочности и устойчивости бетонных

конструкций их обычно армируют специальными стальными стержнями, что значительно улучшает эксплуатационные характеристики материала.

Цементные бетоны классифицируются на несколько типов в зависимости от их плотности и области применения:

1. Тяжёлые бетоны:

○ Используются в строительстве жилых домов, промышленных объектов, мостов и дамб.

○ Они обладают высокой прочностью и применяются там, где требуется устойчивость к значительным нагрузкам.

2. Особо тяжёлые бетоны:

○ Применяются для строительства защитных сооружений от радиации, таких как корпуса атомных реакторов.

○ Изготавливаются с использованием металлических заполнителей (чугунная дробь, обрезки арматуры) или заполнителей из руд (магнетит, гематит и др.).

○ Их плотность может достигать 6000 кг/м³.

3. Лёгкие бетоны:

○ Включают в себя различные виды, такие как ячеистый бетон и полистиролбетон.

○ Применяются для возведения стен и перегородок.

○ Используются в качестве дополнительного теплоизоляционного материала.

○ Помогают уменьшить вес конструкции.

4. Высокопрочные лёгкие бетоны:

○ Применяются в качестве несущих конструкций, несмотря на их лёгкость.

○ Обладают улучшенными теплоизоляционными свойствами и могут использоваться для создания более лёгких и прочных строений.

Каждый тип бетона имеет свои специфические характеристики и области применения, что позволяет выбирать наиболее подходящий материал в зависимости от требований конкретного строительного проекта.

Бетонные сооружения обладают множеством значительных преимуществ, которые делают их популярным выбором в строительстве:

1. Длительный срок эксплуатации: Бетонные конструкции могут служить более 50 лет, что делает их экономически выгодным решением в долгосрочной перспективе.

2. Пожаробезопасность: Бетон не поддерживает горение, что повышает безопасность зданий в случае пожара.

3. Температурная устойчивость: Бетон способен выдерживать как высокие, так и низкие температуры, а также их значительные перепады без потери своих свойств.

4. Устойчивость к биологическим воздействиям: Бетон не подвержен гниению и образованию грибков, что увеличивает его долговечность и гигиеничность.

5. Водонепроницаемость: Высокая степень водонепроницаемости бетона защищает конструкции от воздействия влаги и воды, что особенно важно при строительстве гидротехнических сооружений.

6. Высокая прочность: Бетон обладает отличной прочностью на сжатие и изгиб, что позволяет использовать его в строительстве различных объектов, от жилых домов до промышленных сооружений.

7. Экономическая эффективность: Благодаря относительно низкой стоимости производства и монтажа, бетон является доступным материалом для широкого применения.

8. Универсальность формы и размеров: Возможность изготовления бетонных объектов любой формы и размеров позволяет реализовывать самые разнообразные архитектурные решения.

9. Сейсмоустойчивость: При армировании бетон приобретает дополнительную устойчивость к сейсмическим воздействиям, что делает его подходящим для строительства в сейсмоактивных зонах.

Эти свойства делают бетон универсальным и надёжным материалом, который широко применяется в различных областях строительства.

Бетон, несмотря на множество своих достоинств, имеет и некоторые недостатки, которые необходимо учитывать при его использовании:

1. Усадка: В процессе твердения и эксплуатации бетон может подвергаться усадке, что приводит к образованию трещин. Этот недостаток можно уменьшить с помощью специальных добавок, которые регулируют процесс твердения и усадки.

2. Низкая прочность на растяжение: Бетон имеет ограниченную прочность при воздействии растягивающих усилий. Для устранения этого недостатка применяются следующие методы:

○ Армирование: Использование стальной арматуры, которая воспринимает растягивающие напряжения.

○ Предварительно напряжённый железобетон: Этот метод включает в себя использование высокопрочной арматуры, которую предварительно растягивают. После затвердевания бетона арматуру освобождают от предварительного натяжения. В результате сила

натяжения арматуры передаётся бетону, создавая в нём сжимающие напряжения. Это позволяет значительно уменьшить эксплуатационные растягивающие напряжения и повысить общую прочность конструкции.

Преднапряжённый железобетон работает следующим образом:

- Арматура растягивается до определённого предела.
- Затем заливается бетон, который после затвердевания фиксирует арматуру в растянутом положении.

• После снятия натяжения с арматуры, бетон оказывается под воздействием сжимающих усилий, что существенно повышает его устойчивость к растягивающим нагрузкам.

Этот метод особенно эффективен при строительстве мостов, дамб, высотных зданий и других конструкций, где важна высокая прочность и устойчивость к различным нагрузкам.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сажнев, Н., Шелег, Н. Производство, свойства и применение ячеистого бетона автоклавного твердения // Строительные материалы. — 2004. — № 3. — С. 2–6.
2. Гончарик, В. Н., Белов, И. А., Богданова, Н. П., Гарнашевич, Г. С. Теплоизоляционный ячеистый бетон // Строительные материалы. — 2003. — № 3. — С. 24–25.
3. Сергеев, Е. И., Иванов, А. А. Эффективность применения ячеистого бетона в строительстве // Вестник строительной науки и техники. — 2010. — № 7. — С. 48–51.
4. Петров, С. В., Назаров, Ю. К. Современные технологии производства автоклавного газобетона // Бетон и железобетон. — 2011. — № 4. — С. 10–14.
5. Васильев, М. П. Ячеистые бетоны: перспективы применения и совершенствование технологии // Строительные материалы. — 2012. — № 6. — С. 20–23.
6. Кожемякин, Н. И., Лебедев, И. Г. Исследование прочностных характеристик автоклавного газобетона // Известия вузов. Строительство. — 2013. — № 8. — С. 72–76.
7. Захаров, А. В. Газобетонные изделия: свойства и область применения // Современное строительство. — 2015. — № 2. — С. 33–36.

Евдокимов А.Ю.

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

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЛАСТИФИКАТОРОВ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

В наше время, благодаря стремительному развитию промышленности, рынок строительных и отделочных материалов постоянно пополняется новыми продуктами. Особое внимание сегодня уделяется различным добавкам, среди которых заслуживают упоминания пластификаторы.

Даже если вы не слышали об этих материалах, они могут оказаться крайне полезными, особенно если вы планируете строительство собственного дома. Пластификаторы относятся к категории специальных органических добавок, которые существенно улучшают характеристики исходного сырья.

По сути, пластификаторы добавляются в бетонный раствор для придания ему особых свойств. Эти вещества могут иметь жидкую или вязкую консистенцию. На молекулярном уровне они значительно повышают эластичность бетонной смеси, что положительно сказывается на её физико-технических характеристиках. Это особенно важно при строительстве в холодное время года.

Благодаря пластификаторам бетон приобретает дополнительную морозостойкость, что становится важным преимуществом в условиях суворой зимы. Кроме того, эти добавки широко применяются для повышения прочности строительных материалов, а также их устойчивости к влаге, огню и высоким температурам. Таким образом, пластификаторы становятся незаменимым инструментом в арсенале современного строителя.

В современных условиях, когда проекты строящихся объектов становятся всё более технически сложными, процесс строительства невозможно представить без использования пластификаторов. Эти уникальные материалы позволяют реализовывать самые смелые архитектурные решения и создавать конструкции невероятного дизайна.

Пластификаторы наделяют бетон особой текучестью, что особенно важно при возведении сложных архитектурных форм. Они незаменимы при работе с современными материалами, такими как техноэласт ЭПП.

Широкое применение пластификаторы находят в производстве полимерных материалов. Они используются при создании различных гидроизоляционных систем, которые хорошо знакомы всем строителям.

Особую роль пластификаторы играют в производстве строительных материалов, таких как брусчатка и тротуарная плитка. При их добавлении предотвращается прилипание плитки к формам, готовые изделия приобретают гладкость и блеск, а цветная брусчатка получает защиту от разрушительного воздействия ультрафиолетового излучения.

Кроме пластификаторов, важную роль в строительной индустрии играют ингибиторы — вещества, которые замедляют или предотвращают химические реакции. Они защищают металлы от коррозии, полимеры от старения, топливо и смазочные материалы от окисления, а также пищевые жиры от порчи.

В контексте защиты металлов от коррозии ингибитором называют вещество, которое при адсорбции на поверхности металла изменяет её потенциал в более положительную сторону. Этот механизм действия приводит к существенному замедлению процесса коррозии.

Принцип работы ингибиторов основан на изменении электрохимического потенциала металлической поверхности, что делает её менее подверженной разрушительному воздействию коррозионных процессов. При взаимодействии с металлом ингибитор образует защитную плёнку, которая препятствует контакту металла с агрессивной средой и значительно снижает скорость коррозионного разрушения.

Ингибиторы широко применяются в различных отраслях промышленности для защиты металлических конструкций, оборудования и изделий от коррозии, продлевая срок их службы и обеспечивая надёжную защиту в условиях агрессивной среды.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кузнецов, В. А. Строительные материалы: учебник для СПО / В. А. Кузнецов, В. Е. Жарков. — Москва: Академия, 2017. — 336 с.
2. Маслов, Г. Н. Строительные материалы: учебник для вузов / Г. Н. Маслов. — Москва: Высшая школа, 2005. — 447 с.
3. Никулин, Е. Н. Строительные материалы и изделия: учебник для бакалавров / Е. Н. Никулин, С. В. Рудаков. — Москва: Инфра-М, 2013. — 319 с.
4. Соколов, С. Я. Материаловедение для строителей / С. Я. Соколов. — Санкт-Петербург: Лань, 2014. — 288 с.

5. Ржаницына, Н. Н. Строительные материалы: учебник / Н. Н. Ржаницына, А. В. Юрин. — Москва: Юрайт, 2019. — 404 с.
6. Артемов, С. И. Строительные материалы и изделия / С. И. Артемов. — Москва: АСВ, 2004. — 302 с.
7. Каназашвили, И. Х. Строительные материалы и изделия: справочное пособие / И. Х. Каназашвили, И. Ф. Бункин, В. И. Каназашвили. — Москва: Аделант, 2006. — 416 с.
8. Киреева, Ю. И. Строительные материалы / Ю. И. Киреева. — Минск: Новое издание, 2006. — 368 с.
9. Барыгин, А. В. Строительные материалы и изделия: учеб. пособие / А. В. Барыгин, А. Ю. Гальченко. — Москва: Форум, 2016. — 304 с.
10. Малышев, В. И. Строительные материалы: учебник / В. И. Малышев. — Москва: РГУПС, 2010. — 295 с.
11. Бугров, Ю. А. Строительные материалы: учебник / Ю. А. Бугров, Е. В. Николаев. — Екатеринбург: УрФУ, 2012. — 210 с.
12. Копылов, В. П. Строительные материалы и изделия: учебное пособие / В. П. Копылов. — Новосибирск: Сибстрин, 2014. — 276 с.

УДК 66.017

Иванова В.Ф.

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

БУФЕРИЗИРУЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ШТУКАТУРНЫХ ПОКРЫТИЙ

Основными направлениями современного строительства является экологичность и энергоэффективность, так как очень важно регулировать выбросы углекислого газа, а также посредством современных материалов, пассивно регулировать относительную влажность воздуха, тем самым снижая энергетическую нагрузку зданий.

Микроклимат помещения напрямую зависит от уровня относительной влажности воздуха и температуры. Уровень ниже 30 % может привести к высыханию слизистых оболочек, возникновению микротрещин и повышению уязвимости к инфекциям. Уровень относительной влажности воздуха выше 60 % способствует формированию плесени, которая может привести к заболеваниям верхних дыхательных путей.

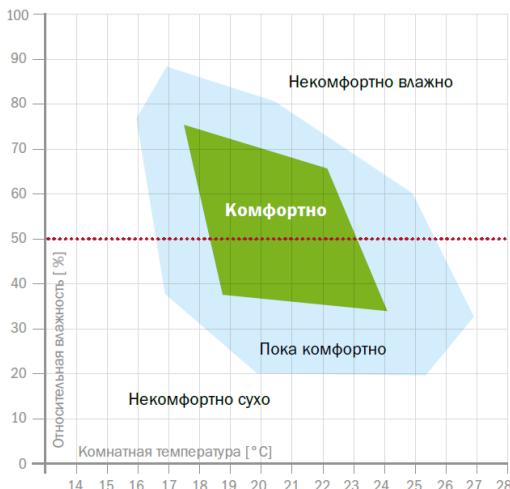


Рис. 1 Взаимосвязь комфортного пребывания в помещении от температуры и относительной влажности воздуха [6]

Здоровый микроклимат в помещении может поддерживаться с помощью систем кондиционирования воздуха, отопления и вентиляции, но на эксплуатацию данных систем приходится более 50 % энергопотребления здания [1].

Пассивная регуляция относительной влажности воздуха посредством использования гигроскопичных материалов способна снизить энергопотребление зданий до 25 % [2].

К гигроскопичным материалам относятся штукатурные покрытия на глиняном, известковом или гипсовом связующем, обладающие высоким уровнем паропроницаемости [8]. Такие материалы обладают высокой буферизирующей способностью, так как при снижении уровня относительной влажности воздуха они адсорбируют влагу, а при увеличении влажности – десорбируют, тем самым стабилизируя микроклимат в помещении. Сорбционная способность строительных материалов напрямую зависит от количества и размера пор, а также от химической активности поверхности.

Для определения буферизирующей способности строительных материалов был введен показатель MBV – Moisture Buffer Value [3].

Штукатурные покрытия, обладающие высоким практическим значением MBV, естественным образом регулируют уровень влажности, тем самым снижая нагрузку на системы вентиляции и кондиционирования воздуха [3]. Для определения MBV существует

множество методов, самыми распространенными в научных трудах являются: протокол NORDTEST и стандарт ISO 24353 [4].

Сравнительный анализ, проведенный в Лиссабонском университете показал, что протокол NORDTEST для определения MBV в научных публикациях встречается в 72 % случаев, а стандарт ISO 24353 в 16 % трудов [5].

Таблица – Сравнение методов определения MBV

Методы определения MBV	Пределы относительной влажности воздуха, %	Интервалы времени, час
Протокол NORDTEST	75 33	8 16
Стандарт ISO 24353	55-33 75-53 95-75	12 12 12

Таблица наглядно показывает различия во временном интервале и пределах относительной влажности воздуха.

Ученые Лиссабонского университета провели сравнительный анализ двух наиболее распространенных методов определения MBV. Они исследовали сорбционную способность восьми образцов штукатурных покрытий на глиняном, гипсовом, известковом и цементном вяжущих. Оба метода показали высокую эффективность измерения показателя MBV, но результаты измерений по протоколу NORDTEST показали результат выше. Использование разных периодов внутри одного цикла 8-16 и 12-12 часов является основной причиной различий показателей MBV двух методов [5].

Ученые исследовательского института возобновляемых источников энергии в Италии провели исследование влияния различных видов штукатурных покрытий с высоким показателем MBV на диапазон изменения относительной влажности в течение суток в разных помещениях [7]. Результаты показали, что помещения, в которых нанесены штукатурные покрытия, обладающие высоким показателем MBV, имеют низкий диапазон изменения относительной влажности воздуха. При использовании материалов отделки, обладающих высокими свойствами буферизации, наблюдается слабая зависимость между перепадами температуры, влажности на улице (из-за смены времени суток) и этими же показателями внутри помещения (рис. 2).

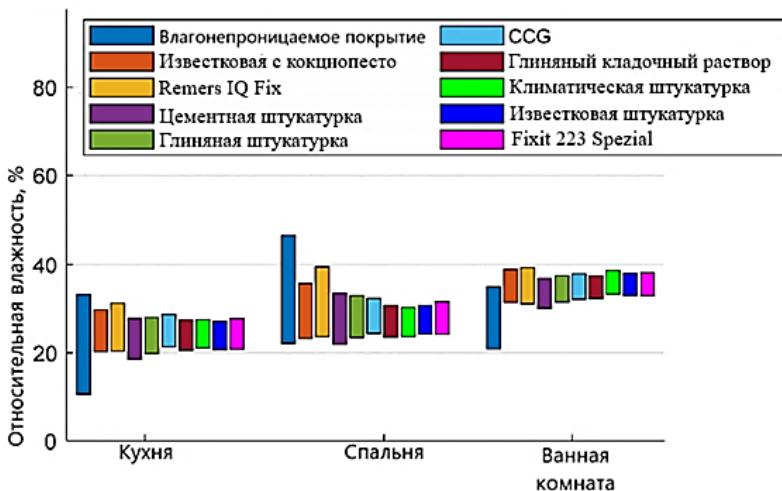


Рис. 2 – Зависимость относительной влажности воздуха от покрытия и исследуемого помещения [7]

Поддержание относительной влажности воздуха в оптимальных рамках посредством адсорбции и десорбции наглядно можно увидеть на рисунке 2. Наблюдается, что в зависимости от назначения помещения температура и влажность воздуха изменяются. В ванной комнате диапазон изменения относительной влажности значительно выше, так как жильцы минимум дважды в день используют ее по назначению. Наглядно видно широкий диапазон изменения относительной влажности воздуха влагонепроницаемого покрытия, в отличии от других видов покрытий во всех помещениях исследуемого дома.

Следовательно, штукатурные покрытия с высоким показателем буферизации влаги способны пассивно регулировать относительную влажность воздуха, тем самым оказывая положительное влияние на микроклимат помещения. Проектирование зданий с покрытиями, обладающими высокой сорбционной способностью, позволит снизить затраты на активную регуляцию гигротермических параметров.

Таким образом, использование в современном строительстве покрытий, обладающих высоким показателем MBV, способствует улучшению микроклимата в помещении, а также снижает энергопотребление здания до 25 %.

Работа выполнена в рамках реализации государственного задания Минобрнауки РФ № FZWN-2023-0006 (руководитель Строкова В.В.).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Perez-Lombard, L. A review of building energy consumption information / L. Perez-Lombard, J. Ortiz, C. Paut // Energy Storage. – 2008. – Vol. 40. – P. 394–398. – DOI: 10.1016/j.enbuild.2007.03.007.
2. Zhang, M., Qin, M., & Chen, Z. Moisture Buffer Effect and its Impact on Indoor Environment. Procedia Engineering, 2017. Vol. 1123–1129. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.10.417>
3. Roud, K. Moisture buffering and its consequences for the whole building hygrothermal modeling / K. Roud, K. Grau // J. Build. Phys. – 2008. – Vol. 31. – P. 333–360. – DOI: 10.1177/1744259108088960
4. Ranesi, A. Traditional and modern plasters for built heritage: suitability and contribution for passive relative humidity regulation / A. Ranesi, R. Veiga, P. Faria // Heritage. – 2021. – Vol. 4. – P. 2337–2355. – DOI: 10.3390/heritage4030132
5. Ranesi, A. Moisture Buffering Value of Plasters: The Influence of Two Different Test Methods / A. Ranesi, P. Faria, R. Veiga // Chastre, C., et al. (Eds.). Testing and Experimentation in Civil Engineering. TEST&E RILEM Bookseries. – 2023. – Vol. 41. – Springer, Cham. – P. 87–102. – DOI: 10.1007/978-3-031-29191-3_8
6. Дамбергер Б. Здоровая жизнь. Здоровое строительство [электронный ресурс] / Б. Дамбергер, К. Хешль, Ю.Лоренц, Г.П. Хуттер, Ш. Лангервиш, Б. Липп, под ред. Ю. Поп Вопфинг: Издательство: Viva Forschungspark der Baumit Beteiligungen GmbH. 2019. – 150 с. Режим доступа: <https://baumit.ru>
7. Larcher, M. Assessing the impact of moisture buffering properties of materials on indoor environmental quality: A study on a recycled material plaster / M. Larcher, E. Leonardi, A. Troi, A. Stefani, G. Nerobutto, D. Herrera-Avellanosa // Building and Environment. – 2025. – Vol. 267, Part B. – Article number 112170. – DOI: 10.1016/j.buildenv.2024.112170
8. Строкова В.В., Сивальнева М.Н., Неровная С.В., Второв Б.Б. Штукатурные покрытия как регулятор параметров микроклимата в помещениях: обзор теоретических и экспериментальных исследований // Строительные материалы. 2021. № 7. С. 32–72. <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-793-7-32-72>

Калатози Г.М., Пищеничных М.А., Кущенко П.А.

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

Белгородский государственный технологический университет

им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ХИМИЧЕСКИЙ И МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЙ СОСТАВ МИКРОЦЕМЕНТА

Современные технологии в строительной отрасли требуют применения высокоэффективных вяжущих, обладающих улучшенными характеристиками по сравнению с традиционными материалами. К таким материалам можно отнести особо тонкодисперсный цемент (микроцемент), который представляет собой высокотехнологичный материал, производимый на основе широко используемых цементов общестроительного назначения путем помола с последующей сепарацией до сверхтонких фракций с добавлением различных добавок [1]. Повышение свойств микроцементов обусловлено высокой удельной поверхностью, ускоренной кинетикой гидратации и повышенной проникающей способностью. Данный вид вяжущего распространяется на следующие области применения:

– инъекционные растворы, используемые для закрепления грунтов, конструкций фундаментов, гидротехнических и подземных сооружений;

– тампонажные растворы, применяемые при пониженной проницаемости грунтов;

– цементы, используемые для восстановления железобетонных, бетонных и каменных конструкций;

– сухие строительные смеси, используемые для фильтрации воды через бетонные конструкции, а также для гидрофобизации грунтов при избыточной влажности [2-4].

Несмотря на ряд достоинств, применение микроцементов широко не распространено ввиду ограниченной изученности их долговременных эксплуатационных характеристик, высокой стоимости, а также технологических сложностей, связанных с необходимостью использования специализированного оборудования для их приготовления и нагнетания [5-7].

В этой связи целью настоящего исследования является определение химического и минералогического состава микроцемента с помощью рентгенофлуоресцентного и рентгенофазового анализов для последующей оценкой его свойств в сравнении с характеристиками

портландцемента.

В работе представлены результаты анализа следующих образцов: микроцемент производства «МикроОСТ» и портландцемент марки ЦЕМ I 42,5 Н производства ЗАО «Белгородский цемент», удовлетворяющий требованиям ГОСТ 31108–2020. Микроцемент был получен путем помола портландцемента марки ЦЕМ I 42,5 Н в роторно-вихревой мельнице с использованием пластификатора. Механоактивация осуществлялась при достижении удельной поверхности цемента до 1320 м²/кг.

Для определения химического и минералогического состава в качестве лабораторной базы использовался рентгенофлуоресцентный спектрометр серии ARL 9900 WorkStation (Центр высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова).

Химический состав микроцемента и портландцемента (табл. 1) указывает на небольшие расхождения в количественных показателях, что связано с единством исходных сырьевых компонентов.

Таблица 1 – Химический состав применяемых материалов

Наименование	Химический состав, %							
	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	SO ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	прочее
Микроцемент «МикроОСТ»	65,63	18,17	5,6	3,85	3,34	1,17	1,07	1,17
ЦЕМ I 42,5 Н	64,7	21	4,36	3	4,16	0,46	0,62	1,7

Принимая во внимание более ранние исследования [8-9], образцы характеризуются наличием различной дисперсности (для микроцемента – 1320 м²/кг, для портландцемента – 558 м²/кг). Степень дисперсности оказывает влияние на фазовый состав. С этой целью был проведен рентгенофазовый анализ, позволивший представить рентгенограммы (рис. 1) количественные показатели (табл. 2).

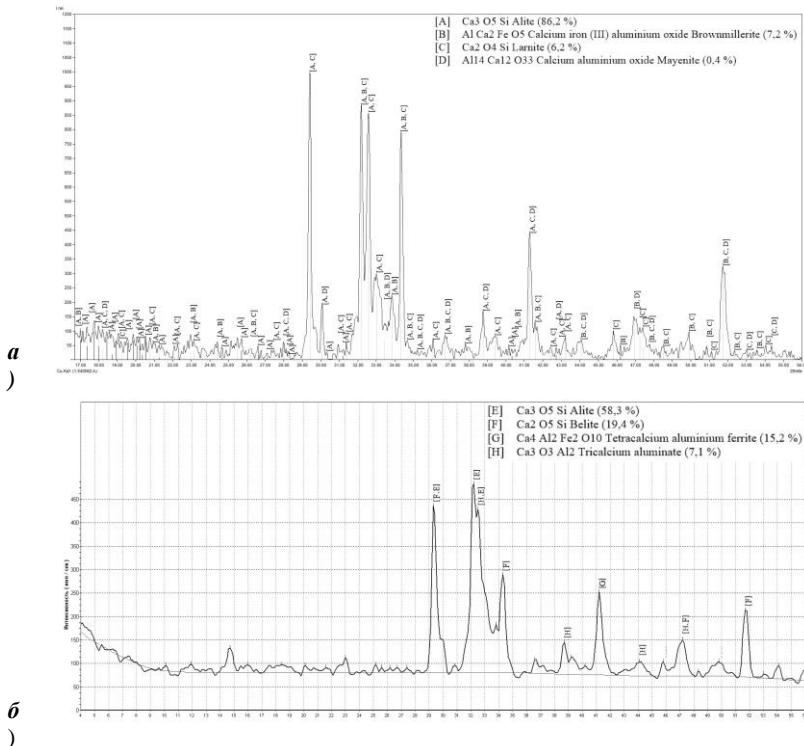


Рис. 1 Рентгенограммы исследуемых образцов:
а – микроцемент «МикроОСТ»; б – портландцемент ЦЕМ I 42,5 Н

Для микроцемента основным фазовым компонентом является трёхкальциевый силикат (C_3S , аллит) – 86,2 %, обеспечивающий быстрый набор начальной прочности. В меньшем количестве представлены браунмиллерит (7,2 %), ларнит (6,2 %) и майенит (0,4 %).

Для портландцемента преобладает также аллит (58,3 %), но в меньшем количестве, чем у микроцемента. Имеется значительная доля белита (19,4 %), четырехкальциевого алюмоферрита (15,2 %) и трёхкальциевого алюмината (7,1 %), что свидетельствует о меньшей активности при раннем твердении.

Такие различия обусловлены повышенной активностью микроцемента при твердении, особенно на начальных стадиях. Подтверждается и не только наличием, но и повышенным содержанием фаз, ответственных за раннее структурообразование и быстрый набор

прочности [10-11].

Таблица 2 – Минералогический состав цементов

Обозначение	Наименование	Формула	Содержание, %
Микроцемент (удельная поверхность 1320 м²/кг)			
A	Трехкальциевый силикат (алит)	$\text{Ca}_3\text{SiO}_5(\text{C}_3\text{S})$	86,2
B	Браунмиллерит	$\text{Ca}_2(\text{Fe}, \text{Al})\text{O}_5$	7,2
C	Ларнит	Ca_2SiO_4	6,2
D	Майенит	$12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$ (C_1A_7)	0,4
Цемент (удельная поверхность 558 м²/кг)			
E	Трехкальциевый силикат (алит)	$\text{Ca}_3\text{SiO}_5(\text{C}_3\text{S})$	58,3
F	Двухкальциевый силикат (белит)	$\text{Ca}_2\text{SiO}_5(\text{C}_2\text{S})$	19,4
G	Четырехкальциевый алюмоферрит	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot$ $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{C}_4\text{AF})$	15,2
H	Трехкальциевый алюминат	$\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_5(\text{C}_3\text{A})$	7,1

Проведенные исследования позволили сделать следующие выводы:

1. Химический состав микроцемента и портландцемента практически идентичен, что подтверждается единством исходных сырьевых компонентов;
2. Микроцемент обладает более высоким содержанием алита (C_3S), что определяет его высокую начальную активность;
3. Различия в минералогическом составе связаны с увеличением степени дисперсности при измельчении и, как следствие, изменением фазовых превращений;
4. Полученные данные подтверждают эффективность микроцемента в смесях, где требуется ускоренный набор прочности и повышенная проникающая способность.

Работа выполнена в рамках реализации государственного задания Минобрнауки РФ № FZWN-2023-0006 с использованием оборудования Центра высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

10. Шахова Л. Д., Харченко И. Я., Строкова В. В., Нецов Д. Д., Калатози Г. М. Особо тонкодисперсные вяжущие (микроцементы) и их применение в строительстве // Цемент и его применение. – 2023. – № 2. – С. 30–36.

11. Tolppanen P., Syrjanen P. Hard rock tunnel grouting practice in Finland, Sweden, and Norway: Literature study. Technical Report. – Helsinki: Finnish Tunnelling Association, 2003. – 86 p.
12. Littlejohn S. The development of practice in permeation and compensation grouting: A historical review (1802–2002): Pt 1. Permeation grouting // Proceedings of the 3rd International Conference on Grouting and Ground Treatment. – Geotechnical Special Publication. – 2003. – № 120, Vol. 1. – P. 50–97.
13. Christodoulou D. N., Lokkas P., Markou I. N., Droudakis A. I., et al. Principles and developments in soil grouting: A historical review // WSEAS Transactions on Advances in Engineering Education. – 2021. – Vol. 18. – P. 175–191.
14. Bosma P. J., Rietbergen H., Cornelissen E. K. Fracture Grouting: Theory and Practice. – Rotterdam: A.A. Balkema, 2002. – 214 p.
15. Лукьянов С. В. Инновационные технологии в тампонажных работах. – М.: Стройиздат, 2018. – 156 с.
16. Bouchelaghem N. Multi-scale modelling of hydraulic and mechanical behaviour of microcement grouted soils // Cement and Concrete Research. – 2009. – Vol. 39, № 8. – P. 722–730.
17. Шахова Л. Д., Нецвет Д. Д., Калатози Г. М., Урманова Х. В. Опыт получения микроцементов на роторно-вихревой мельнице // Инженерные задачи: проблемы и пути решения: материалы V Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, Архангельск, 15–17 ноября 2023 года. – Архангельск: САФУ, 2023. – С. 49–53.
18. Калатози Г. М., Урманова Х. В. Гидроизоляционные сухие смеси на основе микроцемента «МикроОСТ» // Инженерные технологии: традиции, инновации, векторы развития: материалы IX Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Абакан, 14–16 ноября 2023 года. – Абакан: ХГУ им. Н. Ф. Катанова, 2023. – С. 78.
19. Alekseev S. N., Fomina I. N. Modification of cement systems with fine-dispersed additives // Construction and Building Materials. – 2022. – Vol. 315. – 125796.
20. Куликов В. П., Панова Л. А. Микроцементы в инъекционных технологиях // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. – 2023. – № 2. – С. 34–38.

Катрич Я.М., Мешкова К.В., Грищенко М.С.

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

Белгородский государственный технологический университет

им. В.Г. Шухова, Белгород, Россия

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ АКТИВАЦИИ МИНЕРАЛЬНЫХ ПОРОШКОВ ДЛЯ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

Минеральный порошок (МП) – важнейший компонент асфальтобетонных смесей, непосредственно влияющий на их эксплуатационные характеристики. Благодаря тонкодисперсной структуре этот материал выполняет несколько ключевых функций в формировании качественного дорожного покрытия. Он создает прочную матрицу асфальтовяжущего вещества, значительно увеличивая площадь контакта между битумом и минеральным заполнителем. Введение МП в состав смеси позволяет достичь оптимальной толщины битумной пленки, что существенно улучшает адгезионные свойства покрытия. Кроме того, он способствует образованию более плотной и однородной структуры асфальтобетона, повышая его прочность и устойчивость к внешним воздействиям. Результатом становится долговечное дорожное покрытие с улучшенными эксплуатационными характеристиками.

Физико-химическая активация МП существенно улучшает его эксплуатационные характеристики за счет модификации поверхностных свойств частиц. При обработке активирующими составами происходит увеличение гидрофильности поверхности и химической активности функциональных групп, что приводит к усилению адгезии с битумом. В результате формируется более прочная и однородная структура асфальтобетона,

Разница между активированными и неактивированными минеральными порошками заключается в:

- Химических и физических свойствах: активированные минеральные порошки имеют улучшенные реологические характеристики, что интенсифицирует взаимодействие с вяжущими материалами, увеличивает прочность и устойчивость к деформациям. Неактивированные минеральные порошки могут не иметь таких свойств, что ограничивает их применение в высоконагруженных дорожных конструкциях.

- Устойчивости к воздействию внешней среды: активированные МП, обладают большей устойчивостью к влаге (гидрофобностью), замораживанию и оттаиванию, что делает их более перспективными для использования в сложных климатических условиях. Неактивированные порошки могут быть менее устойчивы к таким воздействиям.

- Экономической эффективности: использование активированных МП способствует снижению затрат на материалы и улучшению эксплуатационных характеристик дорожных покрытий. Неактивированные порошки требуют больших объемов вяжущих материалов для достижения необходимых свойств.

Наиболее распространены в дорожной отрасли карбонатные минеральные порошки (чаще из известняка). Известняковый порошок обладает хорошей адгезией с битумом, так как является основным материалом, поверхность которого заряжена положительно, а битумное вяжущее –кислый материал, ввиду чего будет обеспечена более интенсивная и, в конечном итоге, прочная физическая и химическая адсорбция. При взаимодействии с МП битум переходит в структурированное состояние. В результате этого процесса образуется асфальтовяжущее вещество (АВВ), которое регулирует свойства асфальтобетона и способствует созданию более качественного и долговечного дорожного покрытия.

В рамках расширения номенклатуры дорожно-строительных материалов рассмотрим практические примеры применения различного сырья в производстве МП.

Многие дорожно-строительные организации сталкиваются с дефицитом качественных минеральных порошков, что стимулирует поиск альтернативных решений на основе промышленных отходов. Одним из перспективных направлений является использование каменноугольных фусов из осветлителей в качестве активирующей добавки. Практика показывает, что асфальтобетоны на основе таких модифицированных порошков демонстрируют улучшенные эксплуатационные характеристики по сравнению с традиционными составами. В частности, отмечается повышение плотности смеси, снижение водонасыщения и набухания, а также увеличение теплостойкости и водоустойчивости. Эти показатели подтверждают возможность эффективной замены известняковых порошков без ухудшения качества конечного продукта, что особенно важно в условиях дефицита кондиционных материалов [2].

Существуют способы активации МП нефтяным шламом, используемым в качестве ПАВ. Активация происходит в результате измельчения порошка и нефтешлама в шаровой мельнице. В результате

такой активации уменьшается пористость и битумоемкость, а также снижается показатель набухания АВВ. При введении активированных МП в состав асфальтобетонов, значительно сокращается расход битума в смеси. А смеси демонстрируют пониженное водонасыщение и повышенную водостойкость, что может указывать на повышение стойкости к атмосферной коррозии [3-4].

Активацию МП можно производить также отходами камнедробления – каменноугольным дегтем. При активации МП 2-3% каменноугольного дегтя путем совместного помола, у такого порошка поронаблюдается: повышение плотности, уменьшение водонасыщения и набухания, а также повышение теплостойкости [5].

Одним из видов активированных МП является порошок на основе негранулированных металлургических шлаков. Асфальтобетон на основе подобного порошка отличается повышенными прочностными характеристиками, а также пониженным содержанием битумного вяжущего, обусловленным гидрофобностью МП [6].

Коллективы авторов [7,8] в своих работах предлагают технологию производства активированного МП с использованием анионных ПАВ (жировой гудрон, синтетические жирные кислоты, гессиполовая смола) в сочетании с битумным или битумно-каучуковым вяжущим. Процесс получения МП при этом включает сушку щебня, смешивание с компонентами активации, охлаждение и последующий тонкий помол в шаровой мельнице. Однако данная технология имеет существенные недостатки, включая высокую себестоимость производства, подверженность окислительному старению и повышенное водопоглощение в процессе эксплуатации.

Альтернативная технология активации МП представлена в патенте [9]. Описан активированный МП на основе карбоновой породы, модифицированный продуктом переработки соапстока (с кислотным числом 100-140 ед.) и тяжелым вакуумным гудроном в качестве гидрофобизатора.

В патente [10] предложен активированный МП на основе измельченного известняка с добавлением активирующей смеси из соапстока (0,5-1,0%). Особенностью технологии является проведение активации непосредственно в процессе помола известнякового щебня в двухкамерной шаровой мельнице с одновременным введением модифицирующих компонентов. Данная технология имеет существенный недостаток - склонность активирующей пленки к окислению в процессе эксплуатации, что приводит к постепенному снижению эффективности модифицированного порошка. Также к

ограничениям можно отнести необходимость строгого контроля дозирования компонентов при производстве.

Разработан состав [11] активированного МП с комплексным модифицирующим действием. В качестве основы используется традиционный минеральный компонент, обработанный композицией из полимерно-битумного связующего (3-5%), наноразмерного кремнезема (1-2%) и органофильтральной глины (0,5-1%). Процесс активации осуществляется методом совмещенного измельчения и модификации в вихревом измельчителе при температурном режиме 70-80°C, что обеспечивает формирование стабильной гомогенной структуры с равномерным распределением модификаторов. Основное технологическое преимущество предложенного состава заключается в синергетическом эффекте от сочетания компонентов. Полимерно-битумная матрица обеспечивает улучшенную адгезию к минеральной основе, нанокремнезем повышает структурную прочность композита, а органо-глина оптимизирует реологические характеристики смеси.

В патенте [12] представлен усовершенствованный состав активированного МП для щебеноочно-мастичных асфальтобетонных смесей (ЩМА), отличающийся комплексным действием компонентов. Техническое решение предусматривает использование трехкомпонентной системы: отсева дробления известняковых пород (95-95,83%), гидрофобизатора жирового состава (0,37-0,5%) и портландцемента марки ПЦ 500-ДО (3,8-4,5%). Особенностью данной разработки является синергетический эффект от сочетания компонентов. Гидрофобизатор обеспечивает снижение водопоглощения и улучшение адгезионных свойств порошка, в то время как введение цемента способствует формированию дополнительных структурных связей в минеральном матриксе. Это приводит к существенному улучшению ключевых характеристик: снижению набухания на 18-22%, уменьшению пористости на 15-20% и оптимизации битумоемкости на 8-12%.

Патент [13] раскрывает технологию производства МП на основе серпентинитовой породы - побочного продукта медно-никелевых месторождений Прибайкалья. Особенностью разработки является использование природных свойств магнийсодержащего сырья, которое после измельчения до тонкодисперсного состояния (100% частиц менее 1,25 мм, 92,7% - менее 0,315 мм, 88,3% - менее 0,071 мм) приобретает уникальные физико-химические характеристики. Технологический процесс основан на многоступенчатой переработке серпентинита, включающей дробление, мокрое измельчение, сушку и фракционирование.

В патенте [14] предложен способ производства активированного МП, основанный на гранулировании минерального сырья с одновременной обработкой активирующей смесью. Технология предусматривает использование отсевов каменного материала или промышленных порошковых отходов фракции менее 5 мм в качестве исходного сырья, которое гранулируется в присутствии активирующей композиции из битума и анионного ПАВ (жирные кислоты талового масла) в соотношении 95:5-99:1. Ключевой особенностью метода является трехстадийный процесс, включающий гранулирование с активацией, последующую сушку гранул оптимального размера 1-4 см и их финальное измельчение. Дополнительным достоинством технологии является возможность эффективной переработки различных видов минерального сырья, включая промышленные отходы.

В патенте [15] представлен экологически ориентированный способ производства активированного МП с использованием промышленных отходов. Технологический процесс основан на совместном измельчении в шаровой мельнице силикагеля (10-15%) и золошлаковых отходов от термической переработки нефтесодержащих материалов (35-40%), с последующим отбором фракции 0,07-0,31 мм. Особенностью материала является синергетический эффект от сочетания компонентов: силикагель повышает структурную прочность, золошлаковые отходы обеспечивают термическую стабильность, а гидрофобное ПАВ улучшает водостойкость. Это позволяет достичь увеличения срока службы дорожных покрытий в экстремальных климатических условиях при одновременном снижении нагрузки на окружающую среду.

Современные технологии активации существенно улучшают их свойства, используя три основных подхода: химическую обработку поверхностно-активными веществами и битумными композициями, механохимическое модифицирование при измельчении и комплексную активацию с применением наноматериалов и промышленных отходов. Эти методы позволяют добиться значительного повышения эксплуатационных характеристик - увеличения прочности на 20-30%, снижения водопоглощения на 15-25% и уменьшения расхода битума на 8-12%. Особенno перспективным направлением является использование отходов промышленности, что одновременно решает вопросы утилизации и снижения себестоимости. В результате применения активированных МП создаются более долговечные и экономичные дорожные покрытия, устойчивые к различным климатическим воздействиям.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Траутваин, А.И. Изучение физико-механических свойств асфальтобетонных образцов на активированных минеральных порошках различных составов / А.И. Траутваин, В.В. Ядыкина, Е.С. Муленко // Строительные материалы и изделия. – 2018. - №4. - с. 44-50.
2. Отарова, Е.Н. Активированные минеральные порошки каменноугольными фусами из осветлителей / Е.Н. Отарова, Н.С. Ковалев // Сборник трудов конференции «Инновационные технологии и технические средства для АПК». – Воронеж: ВГАУ, 2019. – с. 193-196.
3. Копылов, В.Е. Асфальтобетон с использованием МП активированных нефтяным шламом / В.Е. Копылов, О.Н. Буренина // Нефтегазовое дело. – 2022. - №5. – с. 87-93.
4. Копылов, В.Е. Использование нефтешламов для активации МП, входящих в состав асфальтобетонов / В.Е. Копылов, О.Н. Буренина // Вестник ВСГУТУ. – 2019. - №1(72). – с. 44-49.
5. Ковалев, Н.С. Активация МП каменноугольным дегтем / Н.С. Ковалев, Е.Н. Отарова // Модели и технологии природообустройства (региональный аспект). – 2019. - № 2(9). – с. 44-47.
6. ЩМА с активированным минеральным порошком на основе негрунтуированных металлургических шлаков / В.О. Андриенко, Р.С. Шариков, А.П. Ильенко, М.М. Ганенко // Сборник трудов конференции «Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова». – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2018. – с. 2260-2263.
7. Патент № 2112759. МП для асфальтобетонной смеси : № 97108317/04 : заявл. 20.05.1997 : опубл. 10.06.1998 / Г.П. Неуров ; заявитель, патентообладатель Г.П. Неуров. – Электронная копия доступна на сайте Федерального института промышленной собственности // ФИПС: [сайт]. – URL: <https://new.fips.ru> (дата обращения: 20.11.2024).
8. Патент № 2160238. Активированный мп для асфальтобетонных смесей : № 99126316/04 : заявл. 14.12.1999 : опубл. 10.12.2000 / А.И. Дунаев, В.В. Кунеевский, З.А. Файрузов [и др.] ; заявитель, патентообладатель А.И. Дунаев. – Электронная копия доступна на сайте Федерального института промышленной собственности // ФИПС: [сайт]. – URL: <https://new.fips.ru> (дата обращения: 20.11.2024).
9. Патент № 2515277. МП для асфальтобетонной смеси : № 2012145911/03 : заявл. 26.10.2012 : опубл. 10.05.2014 / В.Ю. Пивсаев, П.Е. Красников, М.С. Кузнецова [и др.] ; заявитель, патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего профессионального образования «Самарский государственный технический университет». – Электронная копия доступна на сайте Федерального института промышленной собственности // ФИПС: [сайт]. – URL: <https://new.fips.ru> (дата обращения: 20.11.2024).

10. Патент № 2570158. активированный мп для асфальтобетонных смесей : № 2014148871/03 : заявл. 03.12.2014 : опубл. 10.12.2015 / И.И. Шепелев, Н.Н. Бочков, А.А. Секирко [и др.] ; заявитель, патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «Экологический Инжиниринговый Центр» ООО «ЭКО-Инжиниринг». – Электронная копия доступна на сайте Федерального института промышленной собственности // ФИПС: [сайт]. – URL: <https://new.fips.ru> (дата обращения: 20.11.2024).

11. Патент № 2568620. СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ И СОСТАВ АКТИВИРОВАННОГО АРМИРОВАННОГО МП : № 2014142679/03 : заявл. 22.10.2014 : опубл. 20.11.2015 / В.А. Полубабкин, А.А. Еремян, А.Ю. Дедюхин ; заявитель, патентообладатель В.А. Полубабкин, А.А. Еремян. – Электронная копия доступна на сайте Федерального института промышленной собственности // ФИПС: [сайт]. – URL: <https://new.fips.ru> (дата обращения: 20.11.2024).

12. Патент № 2715403. МП для асфальтобетонной смеси (варианты) : № 2019132545 : заявл. 14.10.2019 : опубл. 27.02.2020 / А.А. Шаталов, Е.Д. Серикова ; заявитель, патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «Воронежский завод МП» (ООО «ВЗМП»). – Электронная копия доступна на сайте Федерального института промышленной собственности // ФИПС: [сайт]. – URL: <https://new.fips.ru> (дата обращения: 20.11.2024).

13. Патент № 2651824. МП : № 2016147761 : заявл. 06.12.2016 : опубл. 24.04.2018 / Л.И. Худякова, О.В. Войлошников ; заявитель, патентообладатель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Байкальский институт природопользования Сибирского отделения Российской академии наук (БИП СО РАН). – Электронная копия доступна на сайте Федерального института промышленной собственности // ФИПС: [сайт]. – URL: <https://new.fips.ru> (дата обращения: 20.11.2024).

14. Патент № 2662829. Способ приготовления МП : № 2017127281 : заявл. 31.07.2017 : опубл. 31.07.2018 / А.П. Лупанов, М.А. Мухин, В.В. Силкин [и др.] ; заявитель, патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «ДОРЭКСПЕРТ». – Электронная копия доступна на сайте Федерального института промышленной собственности // ФИПС: [сайт]. – URL: <https://new.fips.ru> (дата обращения: 20.11.2024).

15. Патент № 2627881. СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ АКТИВИРОВАННОГО ОРГАНОМП ДЛЯ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ : № 2016139806 : заявл. 10.10.2016 : опубл. 14.08.2017 / А.Г. Ишков, Г.С. Акопова, Л.В. Стрекалова, В.В. Голушки ; заявитель, патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «Научно-исследовательский институт природных газов и газовых технологий - Газпром ВНИИГАЗ». – Электронная копия доступна на сайте Федерального института промышленной собственности // ФИПС: [сайт]. – URL: <https://new.fips.ru> (дата обращения: 20.11.2024).

УДК 674.815

Коломиец М.Р., Писанная В.В., Данилова А.Н.

Научный руководитель: Овсянников С.И., канд. техн. наук, доц.

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

РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО ПРОИЗВОДСТВА

Деревообрабатывающее производство является одной из важных отраслей промышленности страны, обеспечивающей потребности в древесных материалах для различных секторов экономики [1] – строительства, мебельных и столярных изделий, сельского хозяйства. Как и в любой другой отрасли, процесс переработки древесины неизбежно сопровождается образованием отходов. Отходы можно разделить на такие группы: по типу, по размеру, по составу, по виду технологии производства. В зависимости от вида обработки образуются кусковые отходы, стружка, опил и пыль (рис. 1). Зачастую их утилизируют или используют в качестве топлива для собственных нужд. Эти отходы являются основными в мебельной и строительной промышленности. Однако, все они представляют собой достаточно ценное сырьё, которое при правильном подходе можно переработать и использовать в различных отраслях. Поэтому, эффективность деревообрабатывающего предприятия целесообразно рассматривать не только по объёму производства, но и по эффективности использования отходов с целью получения дополнительного дохода [2].



Рис. 1 Отходы деревообрабатывающего производства

При термической переработке древесины образуются промышленные жидкие отходы - масла и химические вещества и соединения. Они также требуют особого внимания при утилизации, но лучший эффект достигается при их переработке в более ценную продукцию [4].

Современные деревообрабатывающие предприятия отходы деревообработки рассматривают как дополнительный доход [3]. Естественно, что их переработка требует дополнительных материальных затрат, поиск новых рынков сбыта продукции, получаемой после их переработки. Но при правильной организации производства эти затраты окупаются. Дополнительным экономическим эффектом можно считать и отсутствие штрафов со стороны надзорных органов. Приобретение сырья для любого деревообрабатывающего производства всегда оплачивается в полном объеме. Поэтому, часть материала, переведенная в отходы и не используемая в дальнейшем, является по сути выброшенными деньгами.

Переработка отходов деревообрабатывающего производства играет ключевую роль в улучшении экологической ситуации и обеспечении устойчивости отрасли. Современные технологии и оборудование по переработке отходов древесины позволяют перерабатывать их в товарную продукцию в зависимости от их объемов для использования в различных отраслях. При небольших объемах производства древесные отходы используются как топливо для собственных нужд. За счет снижения затрат на отопление, предприятие может дополнительно снизить расходы на производство в целом.

При значительных объемах отходов древесины для их использования применяют методы механической переработки. В данном случае древесные отходы измельчаются до состояния древесной

муки или опилок. В дальнейшем их можно спрессовать до гранул или брикетов. Это позволяет увеличить их плотность, а, следовательно, сократить расходы на транспортировку. Спрессованные отходы применяются как сырье для полимерных материалов из древесины – композиты, сырье для топок и каминов [5].

Отходы древесины широко применяются для изготовления плитных материалов - древесно-стружечных плит (ДСтП), древесноволокнистых плит МДФ, но для этого сырья необходимо соблюдать требования по составу древесины, коры, минеральных примесей.

Химическая переработка отходов деревообрабатывающего производства в большинстве заключается в использовании отходов для производства спиртов, растворителей, канифолей, дегтя и т.п. При обработке кусковых отходов химико-термическим способом получают древесный уголь.

Низкосортную древесину, не представляющую ценность, как сырья для производства пиломатериалов и балансов для ЦБ промышленности, целесообразно перерабатывать на биотопливо [6]. Для производства биотоплива из древесных отходов используют опилки и стружки. Кусковые отходы необходимо дополнительно доизмельчать. Технологический процесс представлен на рис. 2.



Рис. 2 Техпроцесс изготовления пеллет

Наиболее ценными продуктами прессования отходов являются гранулы – пеллеты. Стоимость пеллет на рынке составляет 120 000 руб./т.

Вторым продуктом прессования являются брикеты прессованные, получаемые прессованием в гидравлическом или ударном прессе. Стоимость их составляет 110 000 руб./т. Брикеты, получаемые методом экструзии более просты в изготовлении, имеют большую площадь поверхности, что позволяет более интенсивно проводить их сжигание.

Стоимость таких брикетов составляет 90 000 руб./т. Опилки и стружки в небольших количествах продают населению и с.х. предприятия для подстилки животным и птице. Стоимость такой продукции составляет 4500 руб./т в насыпном виде.

Таким образом можно сделать вывод, что переработка отходов позволяет минимизировать риски по загрязнению окружающей среды, уменьшить выбросы углекислого газа в атмосферу, уменьшить площадь полигонов для захоронения отходов. Внедрение технологий переработки отходов позволяет повысить экономическую эффективность предприятия за счет производства дополнительной продукции, включая создание новых продуктов, таких как биотопливо, строительные материалы и химические вещества. В условиях рационального использования природных ресурсов и роста потребности в экологически чистых материалах, переработка отходов становится важным элементом стратегии устойчивого развития деревообрабатывающих предприятий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Овсянников С.И., Богданов И.И., Федоренко А.В. Экологические аспекты деревянного домостроения // Энерго- и ресурсосберегающие экологически чистые химико- технологические процессы защиты окружающей среды: Сб. докладов международной научно-технологической конференции. Белгород, 2015. Ч. 2. С. 236-242
2. Шмидт, Л. В. Экономика переработки отходов деревообрабатывающих предприятий / Л. В. Шмидт. — Новосибирск: Наука, 2020.
3. Иванов, А. Н. Технологии переработки древесных отходов в мебельной промышленности / А. Н. Иванов. — Санкт-Петербург: Лань, 2018.
4. Лесовик В.С. Огнебиозащитные средства для деревянных строений и конструкций / Лесовик В.С., Овсянников С.И., Федоренко А.В. // Энерго- и ресурсосберегающие экологически чистые химико- технологические процессы защиты окружающей среды: Сб. докладов международной научно-технологической конференции. Белгород, 2015. Ч. 2. С. 222-228
5. Кривенко, С. М. Устойчивое производство и переработка отходов / С. М. Кривенко. — Ростов-на-Дону: Ростовский университет, 2021.
6. Фролова, Е. В. Биотопливо из древесных отходов / Е. В. Фролова. — Екатеринбург: УрФУ, 2022.

7. Овсянников С.И. Обоснование энергосберегающей технологии брикетирования древесины / Овсянников С.И., Нездоймышапка Ю.Н., Радионов А.С. // В сборнике: Современные технологии деревообрабатывающей промышленности. Материалы международной научно-практической онлайн-конференции. 2018. С. 115-120.

8. Михайлов М.Г. Обзор конструкций рубильно-щепорезных машин / Михайлов М.Г., Овсянников С.И., Андреева Д.В. // В сборнике: Современные технологии деревообрабатывающей промышленности. Материалы международной научно-практической онлайн-конференции. 2018. С. 244-251.

УДК 691.3

Колпачиков М.Д.

Научный руководитель: Макеев А.И., канд. техн. наук, доц.

Воронежский государственный технический университет

г. Воронеж, Россия

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СТРОИТЕЛЬНО- ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ УТИЛИЗАЦИИ ОТСЕВОВ ДРОБЛЕНИЯ ГРАНИТНОГО ЩЕБНЯ

В процессе изготовления щебня из магматических горных пород образуется значительное количество отходов — до 20-30% от общего объема переработанной породы. В горнодобывающей отрасли Российской Федерации ежегодно образуется около 90 млн м³ [1] гранитного отсева, из которых перерабатывается лишь половина.

Несмотря на существующие способы применения, значительная часть отсева остаётся неиспользованной и накапливается в отвалах. Актуальна эта проблема и для Воронежской области, где предприятие АО «ПавловскНеруд» ежегодно производит до 2 млн м³ отсева [2].

Отсев дробления гранитного щебня — это мелкодисперсный полифракционный минеральный материал с частицами размером до 5 мм, образующийся в процессе механического разрушения гранита при производстве щебня [3].

Гранит — это плотная магматическая горная порода, образующаяся при медленном остывании магмы в недрах Земли. Химический состав гранита представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав гранита Шкурлатовского месторождения [4]

SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	MnO	Na ₂ O	K ₂ O
70	14,8	0,4	1,6	1,7	2,1	1,0	0,1	3,3	4,1

Минералогический состав гранита Шкурлатовского месторождения характеризуется преобладанием полевого шпата, содержание которого составляет 60–65 %. Кварц присутствует в количестве до 30 %, а минералы, представленные в основном биотитом и реже роговой обманкой, составляют 5–10 % от общей массы [4].

Технологическая схема получения гранитного щебня представлена на рис. 1.

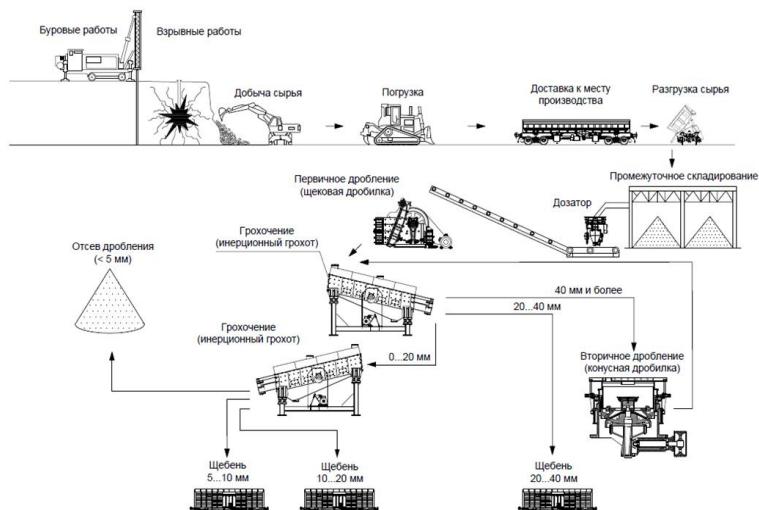


Рис. 1 – Технологическая схема получения гранитного щебня и отсева

Проблему накопления отходов можно решить следующими способами:

1. Уменьшение выхода отсева щебня, например за счет применения виброимпульсного дробления и виброклассификации [5], введения в процесс дробления шаров определённой фракции [6]

2. Утилизацией накопленного отсева различными способами [7]:

- в производстве строительных материалов (строительно-технологическая утилизация);
- в дорожном строительстве;
- в ландшафтном дизайне;

- в фильтрационных системах;
- в качестве антигололедной посыпки и др.

Наиболее эффективным методом является строительно-технологическая утилизация гранитного отсева, основные способы которой представлены в табл.2.

Наиболее перспективно применение отсева гранита в мелкозернистом бетоне – это искусственный камневидный материал, полученный в результате затвердевания рационально подобранный и тщательно перемешанной смеси из заполнителя фракции не более 10 мм, вяжущего, воды и добавок. Этот материал имеет ряд преимуществ и недостатков по сравнению с тяжелым бетоном (табл. 3).

Таблица 2 – Основные способы строительно-технологической утилизации отсевов дробления гранита

Продукция	Назначение	Фракция, мм	Удельный расход
Мелкозернистый бетон	Заполнитель	0,16-2; 2-5 мм	1500-1800 кг/м ³
Тяжелый бетон	Мелкий заполнитель	0,16-2 мм	300-600 кг/м ³
Асфальтобетон	Заполнитель	0,16-2; 2-5 мм	450-650 кг/м ³
Строительная керамика	Отощитель и плавень	0-5 мм	100-200 кг/т
Сухие строительные смеси	Наполнитель	0-0,16	150-250 кг/т
	Заполнитель	0,16-2 мм	1000-1350 кг/т

Таблица 3 - Характеристика мелкозернистых бетонов (на песке) в сравнении с тяжелым бетоном

Преимущества	Недостатки
-пониженная расслаиваемость подвижных смесей	-повышенный расход цемента
- понижение затрат на заполнитель	-повышенная усадка и ползучесть
-применение для тонкостенных изделий (в т.ч. тротуарная плитка, бордюрный камень)	-пониженная трещиностойкость
-упрощенный технологический процесс производства	-пониженная удобоукладываемость при одинаковом В/Ц отношении
-возможность формования изделий различными способами	

Многие исследования показывают, что замена природного песка на отсев позволяет значительно улучшить показатели мелкозернистого бетона (табл. 4).

Таблица 4 - Сравнительная характеристика мелкозернистого бетона на природном песке и на гранитном отсеве [□8□9]

Показатель	Ед.изм	Значение показателя	
		На песке	На гранитном отсеве
$R_{сж}$ (28 суток)	МПа	53-62	76-90
Расход цемента	кг/м ³	420	350
Средняя плотность	кг/м ³	2170	2325
Подвижность смеси	см	9-15	9-15

На основе проведенного анализа можно сделать вывод, что проблема утилизации полученных при производстве щебня отсевов дробления остается нерешенной, их основная часть накапливается в отвалах, формируя техногенные месторождения.

Наиболее эффективным способом утилизации накопившегося и вновь образованного отсева является его использование в качестве заполнителя в мелкозернистых бетонах, однако в настоящее время такие изделия оказываются нерентабельными по сравнению с изделиями на пескобетоне, поэтому отсевы дробления имеют ограниченный спрос в технологии мелкозернистого бетона. Причиной этого может быть низкая эффективность использования структурообразующего потенциала отсева в мелкозернистых бетонах.

В связи с этим, планируется провести исследования по разработке принципов конструирования и синтеза структур мелкозернистых бетонов с учетом структурообразующей роли полифракционных частиц отсева.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аликин А.В. Технология кондиционирования и модификации отсевов гранитного щебня для карьеров Северо-Запада: автореф. дис. канд. техн. наук: 25.00.13. - СПб., 2011. - 101 с.
2. Макеев, А. И. Глубокая переработка отсевов дробления гранитного щебня для их комплексного использования в производстве строительных материалов / А. И. Макеев // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2010. – № 1. – С. 92-99.

3. Макеев А.И. Отсевы дробления гранита как компонентный фактор формирования структуры бетона. Часть II: Экспериментальные исследования структурообразующего потенциала // Строительные материалы. 2024 год. № 1-2. С. 59–66.
4. Казлитина, О. В. Использование техногенных отходов для монолитного фибробетона при реконструкции складских помещений / О. В. Казлитина, С. А. Казлитин, А. В. Гинзбург // Научные и инженерные проблемы строительно-технологической утилизации техногенных отходов, Белгород, 15–23 марта 2014 года / Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. шухова. Том выпуск 13. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2014. – С. 99-103.
5. В.А. Арсентьев, В.З. Мармандян, А.Д. Самуков, А.М. Кабиров Инновационные технологии утилизации отходов добычи и переработки нерудного сырья // Записки Горного института. - СПб: 2012. - С. 219-222.
6. Патент № RU 2 423 180 C1. Способ дробления материала в конусной инерционной дробилке с получением кубовидного продукта при минимальном переизмельчении : № 2009145800/21 : заявл. 2009.12.09 : опубл. 2011.07.10 / Арсентьев В.А, Биленко Л.Ф., Панарин С.Н., Пыжик Т.Ф. – 8 с.
7. Галицина А.М. Перспективы использования отходов камнедробления // Север и рынок: формирование экономического порядка. - 2014. - №3 (40). - С. 122-126.
8. Дворкин, Л. И. Высокопрочные мелкозернистые бетоны с использованием гранитных отсевов / Л. И. Дворкин, В. В. Житковский // Технологии бетонов. – 2017. – № 5-6(130-131). – С. 21-25.
9. Мелкозернистый цементный бетон с нанодисперсным модификатором / А. В. Номоев, В. Ц. Лыгденов, Л. А. Урханова, С. А. Лхасаранов // Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. – 2010. – Т. 2, № 4. – С. 42-52.

УДК 691.87

Крышка Д.В.

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

ВЛИЯНИЕ ПОНИЖЕННЫХ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУР НА МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТАЛЬНОЙ АРМАТУРЫ

Стальная арматура широко применяется в строительстве благодаря своей высокой прочности, пластичности и способности работать в составе железобетонных конструкций. Однако эксплуатация конструкций в условиях низких температур, характерных для северных регионов или объектов, находящихся на открытом воздухе в зимний период, требует особого внимания к изменению свойств арматурной стали. Пониженные отрицательные температуры оказывают значительное влияние на механические характеристики арматуры, что может повлечь за собой изменение прочностных, пластических и хрупкостных свойств металла.

Основное влияние низких температур связано с тем, что при охлаждении стали до отрицательных значений происходит повышение её хрупкости. Это обусловлено снижением способности металла к пластической деформации, то есть сталь становится менее способной поглощать энергию ударов или перегрузок без разрушения. Данный эффект особенно опасен в арматуре, поскольку в железобетонных конструкциях возможны локальные перегрузки, вызванные как механическим воздействием, так и температурными перепадами. При температуре ниже определённого предела, называемого температурой перехода от вязко-пластического к хрупкому разрушению, сталь начинает разрушаться по хрупкому типу, без предварительных признаков деформации. Это существенно снижает её надёжность в условиях эксплуатации при низких температурах.

Также понижение температуры влияет на предел текучести и временное сопротивление стали. С одной стороны, при снижении температуры до определённых пределов наблюдается рост этих показателей, то есть арматура становится прочнее. Однако данное увеличение прочности сопровождается уменьшением ударной вязкости и пластичности, что делает арматуру менее устойчивой к динамическим нагрузкам. Кроме того, при низких температурах возрастает вероятность появления микротрешин в структуре стали, особенно в

зонах концентрации напряжений и на границах зерен. Эти микротрешины могут стать источником последующего разрушения конструкции. [2]

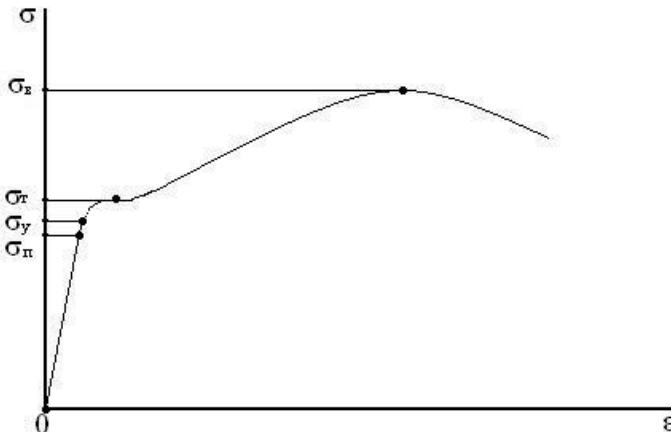


Рис. 1. Диаграмма растяжения стали

Важным фактором, определяющим поведение арматуры при отрицательных температурах, является химический состав стали. Стали с высоким содержанием углерода и низким содержанием легирующих элементов, как правило, обладают более высокой хрупкостью при пониженных температурах. В то же время, легирование стали элементами, такими как никель, хром или молибден, позволяет повысить её морозостойкость, увеличивая температуру хрупко-вязкого перехода

Значение имеет также термическая и термомеханическая обработка стали. Арматура, подвергшаяся контролируемому упрочнению, демонстрирует более высокую устойчивость к пониженным температурам за счёт формирования мелкозернистой структуры и увеличения плотности дислокаций. Такие меры позволяют не только сохранить прочность, но и существенно повысить ударную вязкость стали, что особенно важно для обеспечения безопасности и долговечности конструкций в северных регионах. [3]

Эксплуатационные исследования показали, что арматура, используемая в регионах с резко континентальным или арктическим климатом, должна проходить обязательную проверку на ударную вязкость при температуре, близкой к реальным условиям эксплуатации. В противном случае возникает риск преждевременного разрушения

конструкций, особенно при динамических нагрузках, например, при сейсмических воздействиях, порывистом ветре или транспортных нагрузках. [1]

В целом можно отметить, что пониженные отрицательные температуры оказывают комплексное воздействие на механические свойства арматурной стали. Они способствуют увеличению прочностных характеристик, но одновременно снижают пластичность и вязкость, повышая риск хрупкого разрушения. Поэтому при проектировании, производстве и эксплуатации конструкций в условиях низких температур необходимо учитывать климатические особенности региона.

Ещё одной важной проблемой при эксплуатации арматуры в условиях пониженных температур является усталостное разрушение материала. При длительном воздействии циклических нагрузок, даже если они невелики по величине, в стали могут образовываться микроскопические трещины, которые в условиях холода распространяются значительно быстрее. Это связано с тем, что низкие температуры замедляют процессы релаксации напряжений и ограничивают способность металла к самовосстановлению на микроуровне. Как следствие, арматура, находящаяся в постоянном напряжённом состоянии, особенно в нагруженных узлах конструкций, может внезапно выйти из строя без видимых предварительных признаков. [6]

Отдельной проблемой является снижение адгезии между арматурой и бетоном при отрицательных температурах. При сильном охлаждении арматура и бетон начинают расширяться и сжиматься с разной скоростью из-за различий в коэффициентах теплового расширения. Это может приводить к образованию микrorазрывов на границе контакта, снижая сцепление между материалами и ухудшая совместную работу железобетонного элемента.

Также необходимо учитывать влияние низких температур на процесс коррозии арматуры. Хотя при минусовых температурах скорость электрохимической коррозии существенно снижается, на практике зимние условия часто сопровождаются применением противогололёдных реагентов, содержащих соли. Эти вещества, попадая в бетон, могут проникать к арматуре и активировать коррозионные процессы при кратковременном повышении температуры выше нуля. В сочетании с температурными напряжениями это усугубляет разрушение защитного слоя бетона и ускоряет деградацию арматуры.

Проблемы возникают и при резке, гибке и монтаже арматуры в холодных условиях. Металл, охлаждённый до отрицательных температур, становится менее пластичным и более чувствительным к механическим повреждениям. При неправильной гибке возможно образование трещин, надрывов или расслоений, которые в дальнейшем становятся очагами разрушения

Таким образом, низкие температуры обнажают сразу несколько ключевых проблем: снижение пластичности и вязкости стали, ускоренное развитие усталостных повреждений, ухудшение сцепления с бетоном, риски механического повреждения при монтаже и недостаточная адаптированность норм испытаний. Все эти аспекты требуют учёта на этапах проектирования, производства, контроля качества и эксплуатации арматурных конструкций. Только системный подход, включающий корректный выбор материалов, использование морозостойких сталей и реализацию технологий, устойчивых к низким температурам, позволит обеспечить надёжность и безопасность железобетонных сооружений в условиях сурового климата.

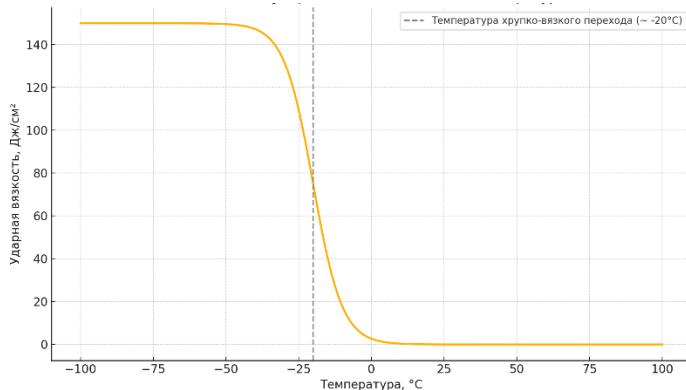


Рис. 2. Зависимость ударной вязкости стали от температуры

На графике показано, как ударная вязкость стали изменяется в зависимости от температуры. При снижении температуры до критического значения (в данном случае около -20°C) наблюдается резкое падение ударной вязкости. Это означает, что сталь теряет способность к поглощению энергии при ударных нагрузках и становится хрупкой. Такая температура называется температурой хрупко-вязкого перехода. Ниже этого порога металл может разрушаться внезапно, без видимых признаков пластической деформации, что

особенно опасно при эксплуатации в холодных климатических условиях.

Исходя из представленного графика, становится очевидно, что одним из ключевых рисков при использовании стальной арматуры в условиях пониженных температур является потеря способности материала к пластической деформации. Ударная вязкость стали при температуре выше -20°C сохраняется на достаточно высоком уровне, что означает, что материал способен эффективно поглощать энергию, не разрушаясь. Однако при понижении температуры ниже этой границы наблюдается резкое ухудшение вязких свойств, и сталь переходит в состояние, при котором любое значительное механическое воздействие может привести к хрупкому разрушению.

Такое поведение особенно критично для арматуры, работающей в составе железобетонных конструкций, где нагрузки могут быть динамическими — от ветра, вибраций, транспортных воздействий или даже неравномерных температурных деформаций. В зоне, где температура близка к или ниже хрупко-вязкого перехода, малейшие трещины или дефекты, появившиеся в арматуре ещё на стадии производства или монтажа, могут стать отправной точкой разрушения.

Кроме того, из графика видно, что при температурах значительно ниже -20°C , например -40°C и ниже, ударная вязкость стремится к минимальным значениям. Это означает, что даже сталь с высокой прочностью теряет устойчивость к растрескиванию, особенно при наличии концентраторов напряжений, таких как сварные швы, изгибы или коррозионные язвы. Такие условия типичны, например, для районов Крайнего Севера, Арктики или высокогорных территорий, где температура может стабильно держаться на уровне -50°C .

Следовательно, подход к проектированию и выбору арматурной стали должен учитывать характер климатической зоны, предполагаемые температурные колебания и степень загруженности конструкции. Особенно это важно при строительстве мостов, высотных зданий, энергетических объектов и инфраструктуры в районах с экстремальным климатом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Власов Л. Н., Журавлёв А. А. Строительные материалы и изделия: учебник для вузов. – М.: Академия, 2017. – 352 с.
2. ГОСТ 5781–82. Сталь арматурная для железобетонных конструкций. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 18 с.

3. Гуляев А. П. Металловедение. – М.: Машиностроение, 2007. – 512 с.
4. Киселёв С. Н., Сафонов В. И. Морозостойкость арматурной стали: теоретические и прикладные аспекты // Строительные конструкции. – 2019. – № 4. – С. 32–39.
5. Махоткин Н. А., Козлов А. П. Влияние низких температур на свойства конструкционных сталей // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2020. – № 2. – С. 54–60.
6. Кочерженко, В. В. Технология возведения зданий и сооружений : учебное пособие для студентов специальности 270102 - Промышленное и гражданское строительство / В. В. Кочерженко ; В. В. Кочерженко ; М-во образования и науки Российской Федерации, Белгородский гос. технологический ун-т им. В. Г. Шухова. – 2-е изд., перераб. и доп.. – Белгород : БГТУ им. В. Г. Шухова, 2011. – 239 с. – EDN QNPZNR.

УДК 691-4

Савицкий А.А.

Научный руководитель: Тарабарина Ю.А., преп.

**Национальный исследовательский Московский государственный
строительный университет, г. Москва, Россия**

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕДНЫХ И ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ТРУБ

В современных системах водо- и газоснабжения особое внимание уделяется выбору трубопроводного материала, который должен сочетать высокую эксплуатационную надёжность с оптимальной стоимостью и минимальным воздействием на окружающую среду. Традиционно металлические трубы, к которым в первую очередь относят медь и сталь, конкурируют с инновационными полимерными изделиями. Исторически медь ассоциировалась с долговечностью и престижностью, тогда как полиэтилен, появившийся в массовом производстве с 1960-х годов, стал символом инноваций и экономичности.

Целью данной работы является комплексный анализ этих материалов с учетом их технических характеристик, экономической целесообразности и адаптации к современным требованиям, включая устойчивость к климатическим изменениям.

Медь как материал для трубопроводов имеет глубокие исторические корни, сопоставимые по прочности и надежности со стальными системами. Однако в Российской Федерации использование медных труб остается ограниченным из-за высокой стоимости и недостаточной ресурсной базы. Исторически значительная часть медных запасов страны в XX веке направлялась на военные нужды и восстановление инфраструктуры после войн, в то время как в США и странах Западной Европы медь активно применялась для развития гражданской инфраструктуры, что способствовало ее популярности на международном рынке.

Медные трубы представляют собой пустотельные профили круглого поперечного сечения, изготавливаемые из высококачественных марок меди и обладающие уникальными физико-химическими свойствами. Эти изделия находят широкое применение в различных отраслях промышленности благодаря исключительной коррозионной стойкости, высокой теплопроводности и долговечности. Основными преимуществами медных труб являются устойчивость к ржавчине, способность выдерживать высокие температуры и давления, а также антимикробные свойства, что делает их незаменимыми в системах водоснабжения, отопления и специализированных промышленных установках.

Медь благодаря высоким теплопроводности, коррозионной стойкости и электропроводности широко применяется в инженерных системах. В системах водоснабжения и центрального отопления медные трубы обеспечивают долговечность, устойчивость к химическим добавкам и перепадам давления. В холодильной технике и кондиционировании они оптимизируют теплообмен и повышают надёжность оборудования. В специализированных отраслях — электротехнике, нефтегазовом комплексе и авиастроении — медные трубопроводы ценятся за герметичность, простоту монтажа без сварки, лёгкость и механическую прочность.

Полиэтиленовые трубы представляют собой изделия из полиэтилена — полимера, получаемого из переработки нефти, который широко применяется для изготовления трубопроводов благодаря своим уникальным свойствам. Основные виды полиэтиленовых труб — это трубы из полиэтилена низкого давления (ПНД), высокого давления (ПВД) и сшитого полиэтилена, при этом трубы ПНД наиболее популярны для инженерных систем.

Полиэтиленовые трубы представляют собой современный класс полимерных изделий, широко используемых в инженерных системах. Их производство основано на методе экструзии, при котором гранулы

полиэтилена подвергаются нагреву и расплавлению. Полученная масса формируется через экструзионную головку, создавая трубу заданного диаметра и толщины стенки, после чего изделие охлаждается и калибруется. Ключевым фактором, определяющим эксплуатационные характеристики труб, является выбор марки полиэтилена — ПЭ63, ПЭ80 или ПЭ100. Числовой индекс отражает плотность материала: увеличение этого параметра повышает прочность трубы, позволяя уменьшить толщину стенки при сохранении диаметра. Ассортимент продукции варьируется от компактных труб диаметром 16 мм до крупногабаритных конструкций до 1,6 м, поставляемых в бухтах длиной до 200 м или отрезках до 12 м.

Основные свойства полиэтиленовых труб обусловлены структурой материала. Химическая инертность и коррозионная устойчивость обеспечивают их применение в транспортировке агрессивных сред, включая кислоты, щелочи и органические растворители. Долговечность изделий превышает 50 лет при соблюдении условий эксплуатации. Механическая прочность, зависящая от марки полиэтилена и толщины стенки, позволяет выдерживать давление до 25 атмосфер. Например, труба диаметром 110 мм с индексом SDR 11 рассчитана на 16 атм. Эксплуатационный температурный диапазон составляет от -20 до +40 °C, но специальные модификации, включая спицкий полиэтилен, расширяют верхний предел до 95 °C. Эластичность материала обеспечивает устойчивость к деформациям, упрощая монтаж и снижая риски повреждений. Малый вес, обусловленный низкой плотностью полиэтилена, облегчает транспортировку и установку. Добавление стабилизаторов повышает устойчивость к ультрафиолету, допуская использование труб на открытых участках.

Области применения полиэтиленовых труб охватывают системы холодного и горячего водоснабжения, включая питьевую воду, с рабочим давлением до 25 атм. Они востребованы в газораспределительных сетях низкого и среднего давления (до 10 атм), канализационных и дренажных системах, мелиорации и капельном орошении. В промышленности их применяют для транспортировки химических веществ, а модифицированные марки полиэтилена позволяют интегрировать трубы в отопительные контуры. Сочетание технологичности производства, универсальности и надежности делает полиэтиленовые трубы ключевым элементом современных инфраструктурных проектов.

Сравнительный анализ медных и полиэтиленовых труб приведен в таблице 1

Таблица 1

Критерий	Медь	Полиэтилен
Прочность на разрыв	300-400 Мпа	20-25
Ударная вязкость при -40 С	Умеренная	Высокая
Теплопроводность	385 Вт/м*К	0,25 Вт/м*К
Коррозионная стойкость	В нейтральных средах; чувствительна к H ₂ S, pH	Во всех средах, невосприимчив к блуждающему току
Гидравлическое сопротивление	0,011	0,009
Срок службы	>50 лет	50-150 лет
Монтаж	Пайка, пресс-фитинги, специализированное оборудование	Стыковая и электрофузионная сварка
Стоимость материалов и монтажа	Высокая	низкая
Экологичность	Полностью перерабатываемая; не содержит токсинов	перерабатываемая; не содержит токсинов

В настоящем исследовании проведён сравнительный анализ медных и полиэтиленовых труб с учётом их физико-химических характеристик, экономической целесообразности и эксплуатационных условий. Медные трубы характеризуются высокой прочностью на разрыв (300–400 МПа) и теплопроводностью (385 Вт/м·К), что обеспечивает эффективную теплопередачу в отопительных контурах и теплообменниках; однако их применимость ограничивается коррозионной нестабильностью в средах с присутствием сероводорода и при значительных колебаниях pH. Полиэтиленовые трубы, обладая химической инертностью, ударной вязкостью при температурах до –40 °С и устойчивостью к блуждающим токам, целесообразны для подземных коммуникаций и транспортировки агрессивных реагентов. При этом они отличаются сравнительно низкой прочностью (20–25 МПа) и теплопроводностью (0,25 Вт/м·К), что сокращает теплопотери, а гладкая внутренняя поверхность минимизирует гидравлическое сопротивление (коэффициент 0,009). Экономическая эффективность полиэтилена определяется более низкой стоимостью материалов и монтажных работ (стыковая и электрофузионная сварка) при длительном сроке службы (до 150 лет в нейтральных условиях). Оба материала пригодны для вторичной переработки и лишены токсичных компонентов. Выбор между медью и полиэтиленом должен

базироваться на совокупной оценке механических требований, термостатических нагрузок, химической стойкости и бюджетных ограничений, что позволяет оптимизировать надёжность и стоимость инженерных систем.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 18599-2001. Трубы напорные из полиэтилена. Технические условия. — Введ. 2002-07-01. — М.: Стандартинформ, 2001. — 27 с.
2. DIN EN 1057:2013. Медь и медные сплавы. Трубы. Температурная обработка. Гидроиспытание = Kupfer und Kupferlegierungen. Rohre. Wärmebehandlung. Hydrostatische Prüfung. — Берлин: Beuth Verlag, 2013.
3. Smith J., Wang L. Corrosion Behavior of Copper Pipes in Aggressive Water Environments // Journal of Pipeline Engineering. 2020. Т. 15. № 3. С. 45–56.
4. Kureshi O., Patel M. Long-Term Performance of PE-100 Pipes in Gas Distribution Systems // Polymer Engineering and Science. 2019. Т. 59. № 5. С. 123–135.
5. Глухова О. В., Фаттахов М. М. Эффективность применения полиэтиленовых трубопроводов // Современные технологии в строительстве: материалы международной научно-практической конференции. М., 2018. С. 45–50.
6. ГОСТ 617-2006. Трубы медные. Технические условия. — М.: Стандартинформ, 2006. — 15 с.
7. EN 12735-2:2016. Медь и медные сплавы. Трубы для систем кондиционирования и охлаждения = Copper and copper alloys. Seamless, round copper tubes for air conditioning and refrigeration. — Брюссель: Европейский комитет по стандартизации, 2016.
8. Технические характеристики полиэтиленовых труб // TrubaPlastic. URL: <https://www.trubaplastic.ru> (дата обращения: 01.10.2023).
9. Медные или пропиленовые трубы: что лучше? // TrubTraid. URL: <https://trubtraid.ru> (дата обращения: 01.10.2023).

Сычева А.М., Майер В.А., Майер С.С.

*Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I, г. Санкт-Петербург, Россия*

ЖАРОСТОЙКИЙ ПЕНОБЕТОН С УЛУЧШЕННОЙ ТЕПЛОЗАЩИТНОЙ ФУНКЦИЕЙ

Пенобетон – легкий, пористый материал с низкой теплопроводностью, высокой звукоизоляцией и огнестойкостью. Контроль дозировки пены позволяет варьировать его плотность от 400 до 1800 кг/м³, адаптируя для различных применений [1]. Благодаря пористой структуре, заполненной воздухом, пенобетон эффективно блокирует передачу тепла, а его теплопроводность зависит от количества пор.

Возрастающий спрос на тепло- и огнеупорные материалы требует совершенствования состава пенобетона. Рассмотрим современные достижения в области повышения его термостойкости.

1. Влияние алюмосиликатных микросфер

Алюмосиликатные микросфера обладают низкой теплопроводностью (0,09 – 0,20 Вт/(м·К)) и снижают теплопроводность пенобетона за счёт пористой структуры и малой плотности. Их введение увеличивает время прогрева образцов на 10 – 30 % за счёт формирования защитного слоя, препятствующего распространению тепла и пламени. Модификация АСМ фосфорборазотсодержащими соединениями дополнительно улучшает огнезащитные свойства, снижая теплопроводность на 5 – 9%.

АСМ используются в теплоизоляционных смесях для отделки газобетонных блоков [2] и в составе силикатных покрытий, где 20 %-ное добавление снижает теплопроводность с 0,63 до 0,58 Вт/(м·К) [3]. Их применение в цементном пенобетоне уменьшает пористость и улучшает теплоизоляционные характеристики, снижая коэффициент теплопроводности на 33 % при 5 %-ном содержании микросфер [4].

2. Влияние алюминиевой пудры и кремния

В работе [5] разработаны составы высокоогнеупорного бетона на алюмохромфосфатной связке с пониженной температурой твердения и улучшенными термическими свойствами.

Исследования [6] показали, что добавление нановолокон оксида алюминия увеличивает прочность огнеупорного бетона на изгиб на 50%, на сжатие — на 30 %, а термостойкость – на 54 – 72 %. Волокна (до 0,5 %) повышают плотность бетона и предотвращают

трещинообразование.

Аэрогель на основе диоксида кремния используется как эффективный теплоизоляционный материал для высокотемпературных применений [7].

3. Влияние диатомита

В исследовании [8] изучалось влияние диатомита в качестве наполнителя на свойства пенобетона. Диатомит — это природный кремнеземистый материал с высокой пористостью и низкой плотностью, что делает его эффективным теплоизоляционным наполнителем. Его теплопроводность составляет $0,05 - 0,1 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$, а объемная масса чистых диатомитов — $200 - 350 \text{ кг}/\text{м}^3$. Добавление диатомита в пенобетон способствует снижению теплопроводности материала, улучшая его теплоизоляционные свойства. Исследования показали, что оптимальное содержание диатомита в смеси составляет $10 - 20 \%$ по массе от вяжущего. Кроме того, диатомит используется в производстве керамических теплоизоляционных изделий, которые обладают высокой прочностью и температуростойкостью до 900°C .

4. Влияние синтетических полимеров

В [9] оптимальный состав теплоизоляционного материала определён методом ортогональных экспериментов: 2500 г. вяжущего (30% зола-унос), $0,5 \%$ редиспергируемого латексного порошка, $0,4 \%$ полипропиленового волокна при водоцементном соотношении $0,6$.

Исследование [10] показало, что добавление 10% микрокремнезема снижает теплопроводность пенобетона, а оптимальная дозировка полипропиленовых волокон (2%) даёт наилучшие показатели теплоизоляции.

5. Влияние натуральных растительных волокон

В работе [11] для изготовления образцов требовалось пять основных компонентов, включая портландцемент в качестве вяжущего с прочностью $53,4 \text{ МПа}$, мелкий песок в качестве наполнителя, воду с pH от $6,5$ до $8,0$ и белковый пенообразователь в качестве поверхностноактивного вещества в пропорции $1:34$. Рафия-волокно использовалось как добавка в базовую смесь, что позволило снизить теплопроводность. Оптимальные результаты были получены при содержании фракции рафии на уровне 6% .

Таким образом, применение различных добавок позволяет существенно улучшить теплоизоляционные и огнестойкие свойства бетонов.

Основная идея нашей работы заключается в разработке методики синтеза неавтоклавного пенобетона с теплозащитными свойствами. Одна из идей реализации этой задачи заключается в том, что

используемые компоненты, рассмотренные другими авторами, можно ввести в состав пенобетона через строительную пену. Таким образом могут быть реализованы, как механизмы теплозащитной функции, так и механизмы повышения устойчивости пены.

Предполагается, что факторы, влияющие на коэффициент теплопроводности пенобетона, будут следующие (формула 1):

$$\lambda = f(C_m; C_{al}; C_{si}; C_f; P) \quad (1)$$

где λ – коэффициент теплопроводности пенобетона, Вт/(м·°C),

C_m – концентрация микросфер, %;

C_{al} – концентрация алюминиевой пудры, %;

C_{si} – концентрация кремния, %;

C_f – концентрация и тип фиброволокна, %;

P – общая пористость материала.

В качестве компонентов предполагается использование алюминиевой пудры. Известно, что алюминий обладает одним из самых высоких коэффициентов отражения, тогда тепловая волна, проходя через материал, будет отражаться, снижая скорость прохождения теплового потока и понижая коэффициент теплопроводности.

Кремний, имея самый высокий коэффициент преломления, будет переотражать тепловые потоки, способствуя тому же эффекту. Известно, что в результате эффекта пассивации частицы кремния и алюминия покрываются оксидной пленкой. Есть вероятность, что это будет ослабевать эффект отражения и переотражения [12, 13]. С другой стороны, в статье Шашкова А.И. показано, что введение алюминиевой пудры в маскировочные пены приводит к положительному эффекту [14].

Алюмосиликатные микросфера выбраны ввиду их низкой теплопроводности. Их пористая структура и низкая плотность приводят к существенному снижению теплопроводности и повышению термической стойкости пенобетона.

Что касается процента армирования волокнами, то при дозировке 2% наблюдались наименьшие значения теплопроводности.

В результате проведённого исследования были проанализированы подходы и предложены решения по созданию неавтоклавного пенобетона с улучшенными теплозащитными характеристиками, основанные на интеграции компонентов непосредственно в структуру строительной пены.

Разработка жаростойкого пенобетона с улучшенной теплоизоляционной функцией является перспективным направлением в

строительной индустрии. Остаются открытыми вопросы оптимального сочетания компонентов и экономической целесообразности внедрения разработанных составов.

Дальнейшее развитие данной темы требует проведения дополнительных исследований, направленных на оптимизацию состава пенобетона с учетом требований термостойкости, прочности и теплоизоляции. Материалы с такими характеристиками могут найти широкое применение в строительстве объектов, эксплуатируемых в экстремальных условиях, включая здания и сооружения промышленного и специального назначения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ramamurthy K., Nambiar E. K. K., Ranjani G. I. S. Классификация исследований свойств пенобетона // Cement and Concrete Composites. 2009. Т. 31, № 6. С. 388–396. DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2009.04.006.
2. Логанина, В. И. Оценка экономической эффективности использования алюмосиликатных микросфер в теплоизоляционном отделочном составе / В. И. Логанина, М. В. Фролов // Сухие строительные смеси. – 2018. – № 2. – С. 35-37. – EDN XOGHNZ.
3. Боровой, В. Ю. Влияние алюмосиликатных микросфер на коэффициент теплопроводности силикатного покрытия / В. Ю. Боровой // Химия и химическая технология в XXI веке : Материалы XX Международной научно-практической конференции имени профессора Л.П. Кулёва студентов и молодых ученых, Томск, 20–23 мая 2019 года. – Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2019. – С. 42-43. – EDN XYIMTS.
4. Стешенко А.Б., Кудяков А.И. Цементный пенобетон с алюмосиликатной микросферой для монолитного домостроения. Инженерно-строительный журнал. 2018. № 8(84). С. 86-96.
5. Жалилов, А. Свойства жаростойкого бетона на алюмохромфосфатной связки / А. Жалилов, Т. Н. Эшбуриев // Universum: технические науки. – 2021. – № 4-4(85). – С. 6-8. – EDN ETHDBB.
6. Добросмыслов С.С., Симунин М.М., Воронин А.С., Фадеев Ю.В., Задов В.Е., Нагибин Г.Е., Хартов С.В. Исследование влияния наноразмерного волокна оксида алюминия на термостойкость огнеупорного бетона. Новые огнеупоры. 2020;(12):38-42. <https://doi.org/10.17073/1683-4518-2020-12-38-42>
7. В Г. Бабашов, Н М. Варрик, Т А. Карасева применение аэрогелей для создания теплоизоляционных Материалов (обзор) // Труды виам.

2019. №6 (78). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenie-aerogeley-dlya-sozdaniya-teploizolyatsionnyh-materialov-obzor> (дата обращения: 27.03.2025).

8. Митрошин, И. А. Теплоизоляционные материалы на основе диатомита: специальность 05.23.05 "Строительные материалы и изделия" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Митрошин Игорь Александрович. – Саранск, 2007.

9. Guo, A., Wu, C., Sun, W., Tan, D., & Wang, Q. Optimization of Composition and Microstructure of Insulation Concrete Based on Orthogonal Experiments and Microstructural Characterization // ACS Omega. – 2023. – Vol. 8, № 43. – P. 40283–40294. – DOI: <https://doi.org/10.1021/acsomega.3c06929>.

10. Guan, J., Guo, H., Wang, X., Chen, P., Zhou, Y., & Li, L. Influence of Micro-Silica Content on the Mechanical Properties and Thermal Insulation Performance of Foam Concrete // Polymers. – 2022. – Vol. 14, № 20. – Article 4401. – DOI: <https://doi.org/10.3390/polym14204401>.

11. Zhou, X., Wang, C., Zhao, Y., & Shi, F. Mechanical, thermal insulation, and durability properties of foam concrete modified with raffia fibre // Journal of Materials Research and Technology. – 2023. – Vol. 26. – P. 9013–9027. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.07.225>.

12. Дынин Н. В., Иванова А. О., Хасиков Д. В., Оглодков М. С. Селективное лазерное сплавление алюминиевых сплавов (обзор) // Труды ВИАМ. 2017. №8 (56).

13. Трегулов В.В. Влияние особенностей формирования плёнок пористого кремния на характеристики полупроводниковых барьерных структур: дис. ... д-ра техн. наук: 1.3.11 / Трегулов Вадим Викторович; [науч. конс. Степанов В.А.]; Рязанский гос. ун-т им. С.А. Есенина. — Рязань, 2023. — 250 с

14. Патент № 2829953 С1 Российская Федерация, МПК E04B 1/76. Тонкое теплоизоляционное покрытие : № 2023133728 : заявл. 12.12.2023 : опубл. 11.11.2024 / А. М. Сычева, А. И. Шашков, Б. П. Лебедь, С. Ю. Каравес ; заявитель Федеральное государственное бюджетное военное образовательное учреждение высшего образования "Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского" Министерства обороны Российской Федерации. – EDN DLIFBR.

Трошкина В.Б., Шаповалов М.М., Артемова К.А.

Научный руководитель: Сиденко И.В.

Белгородский государственный технологический университет

им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ИННОВАЦИИ В ОБЛАСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В последние годы рынок строительных материалов сталкивается с рядом серьезных проблем, связанных как с внешними экономическими и экологическими факторами, так и с внутренними структурными ограничениями отрасли. Ниже рассмотрены наиболее актуальные из этих проблем.

Одной из основных проблем строительной отрасли является постоянный рост себестоимости материалов, обусловленный:

- увеличением цен на энергоресурсы;
- подорожанием сырья;
- ростом транспортных расходов.

Например, производство цемента требует значительных энергетических затрат, что напрямую оказывается на конечной цене продукции [1].

Существенная доля сырья и комплектующих для производства некоторых видов строительных материалов ранее импортировалась, что при осложнении внешнеторговых отношений приводит к рискам дефицита и росту цен на внутреннем рынке [2].

Многие предприятия строительной отрасли сталкиваются с рядом проблем:

- используют устаревшие технологии и оборудование;
- затруднено внедрение новых энергоэффективных и экологически чистых материалов;
- понижается конкурентоспособность продукции российских производителей [3].

Ужесточение экологических норм приводит к следующим изменениям в строительной отрасли:

- требуется переработка строительных и промышленных отходов;
- необходимо внедрение "зелёных" технологий;
- увеличивается финансовая нагрузка на производителей.

Проблема:

- уровень вторичной переработки в РФ пока остаётся недостаточным [4].]

В последние годы приоритетом стали высокоэффективные теплоизоляционные материалы, отличающиеся низкой теплопроводностью.

Особое внимание уделяется применению аэрогелей и вакуумных сэндвич-панелей, которые значительно уменьшают теплопотери зданий при эксплуатации. [5]

Тенденция к устойчивому развитию способствует следующим изменениям среди производителей строительных материалов:

- растёт популярность биоразлагаемых полимерных композитов;
- возрастают применения древесно-композитных панелей;
- материалы обладают минимальным воздействием на окружающую среду после утилизации [6].

Перспективным направлением в строительной индустрии является внедрение наноматериалов, что позволяет:

- повысить стойкость строительных изделий к влаге, огню и износу;
- улучшить прочностные и эксплуатационные характеристики за счёт применения нанодобавок в бетонные смеси [7; 8].

Разработка новых составов строительных материалов с учётом заданных параметров эксплуатации становится возможной благодаря:

- использованию методов цифрового моделирования;
- применению технологий информационного моделирования зданий (BIM).

Результат:

- повышается надёжность и точность проектных решений [9].

Некоторые российские производственные компании успешно освоили выпуск панелей из вспененного стекла, отличающихся высокой степенью экологичности и долговечности в эксплуатации [10].

Тенденции современного строительства:

- Активно внедряются технологии 3D-печати строительных объектов, что открывает возможности для использования инновационных композитов с заданными характеристиками и значительно расширяет сферу их применения [11].

- Современное строительство предъявляет растущие требования к эксплуатационным характеристикам материалов, что определяет необходимость их постоянного совершенствования [12].

Наиболее перспективными направлениями являются:

- использование энергоэффективных и экологичных решений, среди которых инновационные теплоизоляционные материалы, такие как аэрогели и вспененное стекло [13];
- внедрение биоразлагаемых композитов, способствующих

снижению негативного воздействия на окружающую среду [14].

Отдельного внимания заслуживает применение нанотехнологий, способствующее улучшению влагостойкости и прочности конструкций за счет использования специальных нанодобавок в составах бетонов. [15]

Современные тенденции и инновации в строительной отрасли:

- в последние годы растет интерес к цифровому моделированию и применению BIM-технологий, что позволяет оптимизировать составы материалов с учетом конкретных условий эксплуатации здания [16].

Практическая реализация инноваций наблюдается на ряде отечественных предприятий, наладивших производство панелей на основе вспененного стекла, отличающихся высокой экологичностью и износостойкостью [17].

3D-печать строительных конструкций расширяет возможности внедрения новых композитов с заданными свойствами [18].

Ключевые факторы устойчивого роста строительного сектора:

- комплексное внедрение инноваций и модернизация производства;
- формирование нормативной базы;
- стимулирование утилизации и внедрения композитов;
- интеграция цифровых технологий [19].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Белова И.В. Современное состояние рынка строительных материалов в России // Вопросы экономики и управления, 2022. №3. С. 18–23.
2. Севастьянова Л.Г. Импортозависимость в строительной индустрии: угрозы и перспективы // Экономика. Предпринимательство. Окружающая среда, 2021. №12. С. 42–47.
3. Новиков С.П., Емельянова Т.А. Инновационные технологии в производстве строительных материалов // Инновации в строительстве 2023. №1. С. 49–54
4. Захаров К.А., Чернов Л.С. Экологические аспекты производства стройматериалов // Строительство. Экология. Безопасность, 2020. №5. С. 36–40.
5. Афанасьев И.В. Новые теплоизоляционные материалы для энергоэффективного строительства // Технические науки, 2023. №9. С. 101–105.
6. Козлова Е.А., Данилов П.С. Разработка экологически чистых композитных строительных материалов // Экологическая безопасность

2022. №4. С. 48–53.

7. Воробьев М.Ю., Шелест С.П. Потенциал нанотехнологий в строительном материаловедении // Инновации в строительстве, 2024. №2. С. 112–118

8. Исаков А.П. Современные добавки для высокопрочного бетона на нанотехнологической основе // Строительные материалы, 2021. №11. С. 32–35.

9. Богданова Ж.Н., Павлов Л.И. BIM-технологии и цифровое моделирование в строительстве // Современное строительство, 2023 №5. С. 70–75.

10. Николаев С.В., Петрова Л.М. Энергоэффективные строительные панели на основе вспененного стекла // Материалы и технологии, 2022. №7. С. 54–58.

11. Игнатьев А.К. Инновации в строительстве: применение 3D-печати и новых композитов // Российская строительная наука, 2023. №4. С. 10–14.

12. Михайлова Н.В. Пути повышения качества строительных материалов // Вестник строительства, 2023. №2. С. 15–20.

13. Афанасьев И.В. Новые теплоизоляционные материалы для энергоэффективного строительства // Технические науки, 2023. №9. С. 101–105.

14. Козлова Е.А., Данилов П.С. Биоразлагаемые композиты: перспективы применения в строительстве // Материалы и технологии, 2022. №4. С. 48–53.

15. Воробьев М.Ю., Шелест С.П. Нанотехнологии в современном строительстве // Инновации в строительстве, 2024. №2. С. 112–118.

16. Богданова Ж.Н., Павлов Л.И. BIM-технологии в разработке строительных материалов // Современное строительство, 2023. №5. С. 70–75.

17. Николаев С.В., Петрова Л.М. Энергоэффективные панели из вспененного стекла // Материалы и технологии, 2022. №7. С. 54–58.

18. Игнатьев А.К. 3D-печать и новые композиты в строительстве // Российская строительная наука, 2023. №4. С. 10–14.

19. Климов Е.Ф. Ключевые направления модернизации отрасли строительных материалов // Научный вестник строительства, 2023. №4. С. 70–76.

20. Наумов А.Е., Ашихмин Э.А., Фадин Ю.М., Плужников Н.А., Медведев С.В. Инновационные технологии в строительстве, Белгород: Изд-во БГТУ им. В. Г. Шухова, 2023. 197–202 с.

Оглавление

Антошина Н.В., Фомина Е.В., Агеева М.С.

ПЕРСПЕКТИВЫ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ ПЛАСТМАСС ПРИ ПОЛУЧЕНИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ 3

Бублик В.В.

ВЛИЯНИЕ ИНТЕНСИФИКАТОРОВ ПОМОЛА НА СВОЙСТВА ЦЕМЕНТНОГО ТЕСТА 7

Бублик В.В.

ВЛИЯНИЕ ИНТЕНСИФИКАТОРОВ ПОМОЛА НА СКОРОСТЬ ПОМОЛА 15

Воробьев Е.Л.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВУЛКАНИЧЕСКОГО ШЛАКА КАМЧАТКИ В КОМПОЗИЦИОННЫХ ВЯЖУЩИХ 19

Галкина М.А.

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ТЕРМИРОВАННОЙ ДРЕВЕСИНЫ 22

Дудин А.Д., Загороднюк Л.Х.

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ДОБАВОК НА ФОРМИРОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО БЕТОНА 26

Дудин А.Д., Загороднюк Л.Х.

ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ БЕТОНЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЕРЛИТОВОГО ПЕСКА 30

Дудченко В.А., Тарасов И.А., Бабешко А.В.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛОМА КЕРАМЗИТОБЕТОНА И БОЯ КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА В ПРОИЗВОДСТВЕ МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ БЕТОНОВ 34

Евдокимов А.Ю.

ПРИМЕНЕНИЕ БЕТОНА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ 37

Евдокимов А.Ю.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЛАСТИФИКАТОРОВ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ 42

Иванова В.Ф.	
БУФЕРИЗИРУЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ШТУКАТУРНЫХ ПОКРЫТИЙ	44
Калатози Г.М., Пшеничных М.А., Куценко П.А.	
ХИМИЧЕСКИЙ И МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЙ СОСТАВ МИКРОЦЕМЕНТА	49
Катрич Я.М., Мешкова К.В., Грищенко М.С.	
СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ АКТИВАЦИИ МИНЕРАЛЬНЫХ ПОРОШКОВ ДЛЯ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ	54
Коломиец М.Р., Писанная В.В., Данилова А.Н.	
РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО ПРОИЗВОДСТВА	61
Колпачников М.Д.	
АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СТРОИТЕЛЬНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ УТИЛИЗАЦИИ ОТСЕВОВ ДРОБЛЕНИЯ ГРАНИТНОГО ЩЕБНЯ	65
Крышка Д.В.	
ВЛИЯНИЕ ПОНИЖЕННЫХ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУР НА МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТАЛЬНОЙ АРМАТУРЫ	70
Савицкий А.А.	
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕДНЫХ И ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ТРУБ	75
Сычева А.М., Майер В.А., Майер С.С.	
ЖАРОСТОЙКИЙ ПЕНОБЕТОН С УЛУЧШЕННОЙ ТЕПЛОЗАЩИТНОЙ ФУНКЦИЕЙ	80
Трошкина В.Б., Шаповалов М.М., Артемова К.А.	
АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ИННОВАЦИИ В ОБЛАСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ	85