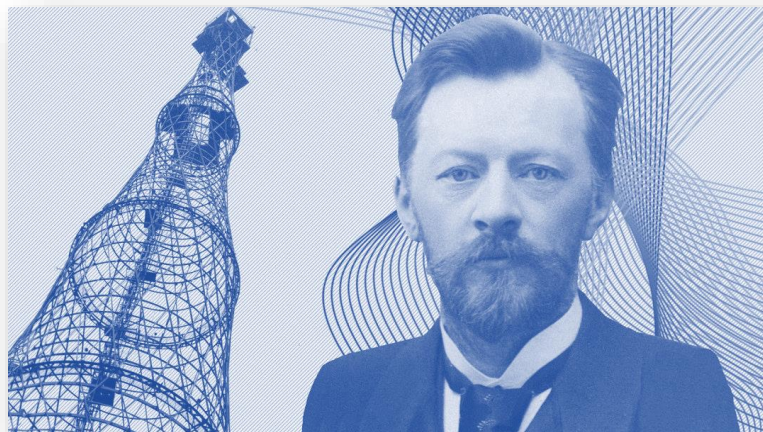


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Российская академия наук  
Российская академия архитектуры и строительных наук  
Администрация Белгородской области  
ФГБОУ ВО Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова  
Международное общественное движение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

**Международная научно-техническая  
конференция молодых ученых  
БГТУ им. В.Г. Шухова,  
*посвященная 170-летию со дня рождения В.Г. Шухова***



*Сборник докладов*

*Часть 4*

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

Белгород  
16-17 мая 2023 г.

УДК 005.745

ББК 72.5

М 43

М 43

**Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, посвященная 170-летию со дня рождения В.Г. Шухова [Электронный ресурс]:** Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2023. – Ч. 4. – 226 с.

ISBN 978-5-361-01142-1

В сборнике опубликованы доклады студентов, аспирантов и молодых ученых, представленные по результатам проведения Международной научно-технической конференции молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, посвященной 170-летию со дня рождения 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

**ISBN 978-5-361-01142-1**

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

## Оглавление

Анфалова Е.Б.

ПЛАЗМЕННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ЗАКАЛЕННЫХ  
СТЕКЛОМИКРОШАРИКОВ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ ИНДУСТРИИ  
..... 9

Афонсу Р.Г. де Азеведу<sup>1</sup>, Яцюк М.К.<sup>2</sup>, Выходцев И.А.<sup>2</sup>

ПОВРЕЖДЕНИЯ МАТЕРИАЛА ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ  
СООРУЖЕНИЙ..... 15

Бондаренко Д.О.

КАЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗАЩИТНО-  
ДЕКОРАТИВНОГО ПОКРЫТИЯ ..... 19

Бочарников А.Л.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ ПОДСОЛНЕЧНИКА В КАЧЕСТВЕ  
ПЛАСТИФИЦИРУЮЩЕЙ ДОБАВКИ В ЦЕМЕНТНОЕ ТЕСТО .. 22

Бредис А.Д.

THE USE OF NANOTECHNOLOGY IN BUILDING MATERIALS. 26

Водопьянова А.А.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ С  
УЧЕТОМ ЗАКОНА СРОДСТВА СТРУКТУР ДЛЯ  
ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПАМЯТНИКОВ МОНУМЕНТАЛЬНОЙ  
АРХИТЕКТУРЫ ..... 29

Воробьев Е.Л., Коваленко Е.В.

СОСТАВ И СВОЙСТВА РАСТВОРНОЙ СМЕСИ НА ОСНОВЕ КГВ  
ДЛЯ УСТРОЙСТВА СТЯЖЕК ПОЛОВ ..... 33

Гарифьянова Л.А., Якушев Н.М.

ОБЗОР РЫНКА И СТОИМОСТИ УТЕПЛИТЕЛЯ ДЛЯ  
ПРОМЫШЛЕННОГО ЗДАНИЯ ..... 38

Гришина Э.П.

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВОВ МАСС ДЛЯ  
ПРОИЗВОДСТВА КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА НА ОАО  
«ОСМиБТ»..... 41

Гунба Б.В., Гунина Ю.А., Солдатов П.В.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗЕРНОВОГО СОСТАВА ЗАПОЛНИТЕЛЯ ПО КРИТЕРИЮ МАКСИМАЛЬНОЙ ПЛОТНОСТИ УПАКОВКИ..... 46

Данилов Д.Ю., Чашин Д.Ю.

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ – ПРИЧИНА ПРЕЖДЕВРЕМЕННОГО РАЗРУШЕНИЯ БЕТОНА ..... 51

Данилов Д.Ю., Чашин Д.Ю., Чуев С.С.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БЕТОНОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РАСХОДА ВЯЖУЩЕГО ..... 55

Джабаров А.С.

ОТСЕВ ДРОБЛЕНИЯ КАК АЛЬТЕРНАТИВА ШИРОКО ПРИМЕНЯЕМЫМ ЗАПОЛНИТЕЛЯМ..... 59

Дмитриева М.О.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ДЕТАЛЕЙ МЕТОДОМ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО СПЛАВЛЕНИЯ ..... 64

Дудченко В.А.

ИСТОРИЯ АРБОЛИТА В ФОРМИРОВАНИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ..... 67

Есина А.Ю., Григоров А.А., Вициенко М.И.

ПОЛИМЕРНАЯ МОДИФИКАЦИЯ БИТУМА КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ КОМПОЗИТОВ ..... 70

Игнатова М.С.

БИОЦИДНЫЕ ДОБАВКИ ДЛЯ ЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИТОВ .. 74

Кесафоти Х.Е.

РАЗНОВИДНОСТИ СОВРЕМЕННЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ ..... 78

Кикалишвили Д.Г., Бублик В.В., Назарчук И.И.

ПОЛУЧЕНИЕ ЩЕЛОЧЕАКТИВИРОВАННЫХ ВЯЖУЩИХ НА ОСНОВЕ ТЕХНОГЕННЫХ ВОЛОКНИСТЫХ ОТХОДОВ ..... 82

- Корольков А.А., Королькова К.А., Ерофеев А.В.  
 ТЕРМОФЛУКТУАЦИОННЫЕ КОНСТАНТЫ  
 ПОЛИВИНИЛХЛОРИДНЫХ ПЛИТ ПОСЛЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ В  
 РЕАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ НА ПРОТЯЖЕНИИ 6 МЕСЯЦЕВ ..... 87
- Королькова К.А., Корольков А.А.  
 ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ТВЁРДОСТЬ  
 ПОЛИВИНИЛХЛОРИДНЫХ ПЛИТ ..... 90
- Кривопустов Д.Ю., Салил Мурад Яхья Мухаммед  
 ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДОБАВОК ФЕРРИТНЫХ ФАЗ НА  
 СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ БЕТОНОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
 ИНФРОКРАСНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ ..... 93
- Купин М.Ю.  
 ПРИМЕНЕНИЕ НАНОМАТЕРИАЛОВ В СОВРЕМЕННОМ  
 СТРОИТЕЛЬСТВЕ: ВОЗМОЖНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ..... 97
- Левицкая К.М.  
 НАПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФОСФОГИПСА В  
 СТРОИТЕЛЬНОМ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИИ ..... 99
- Лесниченко И.Н.  
 НАНОМАТЕРИАЛЫ. ВИДЫ, ТИПЫ, СИНТЕЗ И ОБЛАСТИ  
 ПРИМЕНЕНИЯ НАНОМАТЕРИАЛОВ ..... 104
- Махортова А.В.  
 АРХИТЕКТУРНЫЕ БЕТОНЫ ДЛЯ ВНУТРЕННЕЙ ОТДЕЛКИ  
 ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ С УЧЕТОМ КОЛОРИСТИКИ..... 109
- Микаелян Х.А., Новиченков Г.В.  
 ЗОЛОЦЕМЕНТНЫЕ КОМПОЗИЦИИ НА ОСНОВЕ  
 ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ ГИДРОУДАЛЕНИЯ ..... 113
- Моторыкин Д.А., Отман А.С.А., Коваленко Е.В.  
 ЭФФЕКТИВНОСТЬ VINNAPAS 8034N ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ  
 ВОДОСТОЙКОСТИ КОМПОЗИТНОГО ГИПСОВОГО  
 ВЯЖУЩЕГО ..... 117
- Мугахед Амран<sup>1</sup>, Яцюк М.К.<sup>2</sup>, Выходцев И.А.

ВИДЫ КОРРОЗИИ БЕТОНА В ЖИДКОЙ СРЕДЕ .....	120
Мурали Гунасекаран <sup>1</sup> , Яцюк М.К. <sup>2</sup> , Выходцев И.А.	
КОРРОЗИЯ БЕТОНА В МОРСКОЙ ВОДЕ.....	123
Мухин И.В.	
СОВРЕМЕННЫЕ УСЛОВИЯ РАЗВИТИЯ ЖИЛИЩНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА В РОССИИ.....	126
Неровная С.В., Клименкова Е.В., Чикилева Е.Н.	
ВЛИЯНИЕ МИКРОАРМИРОВАНИЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ШТУКАТУРНЫХ СМЕСЕЙ.....	132
Нерубенко Д.П., Процык Е.С., Пономарёв М.С.	
ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ В СОВРЕМЕННОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ.....	136
Нецвет Д.Д., Ветков В.В., Хомидов Х.О., Голец А.А.	
ВЛИЯНИЕ МИКРОАРМИРУЮЩИХ ВОЛОКОН НА МИКРОСТРУКТУРУ МОДИФИЦИРОВАННОЙ МАТРИЦЫ ДЛЯ ПЕНОБЕТОНА.....	140
Нецвет Д.Д., Урманова Х.В., Калатоzi Г.М.	
ИССЛЕДОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО И МИНЕРАЛОГИЧЕСКОГО СОСТАВОВ ГЛИНОЗЕМИСТЫХ ЦЕМЕНТОВ .....	145
Отман А.С.А.	
ОЦЕНКА СТЕПЕНИ СМАЧИВАЕМОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ШТУКАТУРНОГО РАСТВОРА НА КГВ.....	152
Панченко И.А., Гостевская А.Н., Дробышев В.К.	
ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ РАЗРУШЕНИЯ ВЫСОКОЭНТРОПИЙНОГО СПЛАВА CoCrFeMnNi .....	157
Панченко И.А., Черепанова Г.И., Дробышев В.К.	
ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА 7075.....	159
Подгорный Д.С., Бондаренко Д.О.	

ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКИЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА ТИТАНА КАК ПЕРСПЕКТИВНЫЙ МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ .....	162
Присяжнюк А.П., Скрыпченко В.А.	
ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА ТВЕРДЕНИЯ СТЕКЛОЩЕЛОЧНОГО ВЯЖУЩЕГО .....	166
Рулев Д.А., Степаненко М.А., Чурсанов Д.А.	
АКТУАЛЬНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВТОРИЧНОГО И ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ .	169
Салил М.Я.М., Вашева С.В.	
СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ИЗ ФРАГМЕНТОВ РАЗРУШЕННЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ЙЕМЕНА .....	174
Сальникова А.С., Сальников Д.А.	
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМПОЗИЦИОННОГО ВЯЖУЩЕГО ЗА СЧЕТ ВВЕДЕНИЯ КАРБОНАТОСОДЕРЖАЩИХ ДОБАВОК.....	177
Сальникова А.С., Сальников Д.А.	
ПОВЫШЕНИЕ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА ЗА СЧЕТ МОДИФИЦИРОВАНИЯ МЕЛКОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ .....	180
Синегубова М.М.	
ДОБАВКИ, УЛУЧШАЮЩИЕ КАЧЕСТВО АСФАЛЬТОБЕТОНА .....	183
Синицын А.А., Подгорный Д.С., Аль Мамуки Саад Кхаил Шадид	
ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ШУНГИТА В КАЧЕСТВЕ ДОБАВКИ ТОКОПРОВОДЯЩЕГО БЕТОНА.....	186
Сметанин И.А., Быканова У.Ф.	
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ В ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ .....	189
Старченко К.М.	

К ВОПРОСУ ОБ ИННОВАЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА В КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ .....	192
Сяо Вэньсюй <sup>1</sup> , Яцюк М.К. <sup>2</sup> , Выходцев И.А.	
РЕОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ГАЗОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ .....	ХАРАКТЕРИСТИКИ 198
Токарев В.А., Курлыкина А.В.	
ПРИМЕНЕНИЕ ВТОРИЧНОГО ЩЕБЕНЯ ИЗ БЕТОННОГО ЛОМА В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ.....	201
Цаль-Цалко А.С., Яремчук М.В., Скрыпченко В.А.	
МОДИФИЦИРУЮЩИЕ ДОБАВКИ К СТЕКЛОЩЕЛОЧНОМУ ВЯЖУЩЕМУ .....	205
Чашин Д.Ю., Данилов Д.Ю.	
ТЕРМИЧЕСКАЯ ДЕСТРУКЦИЯ БЕТОНА ПРИ ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ.....	209
Шумаков А.А.	
СОВРЕМЕННЫЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ .....	213
Шумаков А.А.	
ЗАНЯТИЕ СПОРТОМ КАК СПОСОБ УКРЕПЛЕНИЕ ЗДОРОВЬЯ .....	217
Юдов А.Е.	
ПРИМЕНЕНИЯ МАГНЕТИТОВОГО КОНЦЕНТРАТА ПРИ СОЗДАНИИ КОМПОЗИТОВ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ.....	221
Яцюк М.К., Братчиков В.В., Выходцев И.А.	
ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ В УСЛОВИЯХ АРКТИКИ .....	224



*Анфалова Е.Б.*

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

## **ПЛАЗМЕННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ЗАКАЛЕННЫХ СТЕКЛОМИКРОШАРИКОВ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ ИНДУСТРИИ**

В настоящее время стекломикрошарики (СМШ) в значительных объемах выпускаются отечественной промышленностью. В соответствии с требованиями нормативного документа ТУ 5951-012-23356171-99 в зависимости от размера СМШ выпускают четырех типов (мкм): 10-100; 200-630; 50-315 и 100-630. Содержание сферических частиц должно быть не менее 98%, а плотность 2,4-2,6 г/см<sup>3</sup>. СМШ подразделяются по размеру на пять групп (мкм): 50-160; 160-315; 200-450; 400-700; 100-700 с прочностью на сжатие не менее 600 Н, плотностью 2,4-2,6 г/см<sup>3</sup> и содержанием сферических частиц 98% (ТУ 5951-012-23356173-2007). СМШ применяют в различных отраслях, в частности в качестве светоотражающих элементов световой дорожной разметки, при струйной обработке материалов, в качестве наполнителя при производстве строительных материалов, изделий и покрытий, при производстве красок и шпатлевок, в качестве присадки к смазочным материалам и модифицирующей добавки к клеям. Кроме того, СМШ находят широкое применение в медицине [1-3]. Разработана технология получения стеклообразных микросфер для ядерной медицины из иттриевых алюмосиликатных стекол (YAS). Технология предусматривает варку стекла в электрической печи при температурах 1600-1650 °С в платиновом тигле, выработку расплава через вращающиеся валки, помол, рассев на фракции 20-35 мкм и оплавление в потоке плазмы электродугового плазмотрона при мощности 25 кВт [2]. В настоящее время как в России, так и за рубежом наибольшее распространение получили две традиционные технологии получения СМШ. По одной из них СМШ (размер 5-500 мкм) получают предварительным измельчением готового стекла с последующим его оплавлением, а по другой (размер СМШ 500-1500 мкм) – с помощью предварительной варки стекла в стекловаренных печах с последующей диспергацией расплава в газовом потоке [4-8].

СМШ, полученные путем варки в газовых или электрических печах, с показателем преломления не менее 1,539, имеют следующий

химический состав (масс. %):  $\text{SiO}_2$  – 54,0-7,0;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 0-0,5;  $\text{CaO}$  – 17,0-30;  $\text{MgO}$  – 0-0,5;  $\text{Na}_2\text{O}$  – 7,0-16,0;  $\text{K}_2\text{O}$  – 0-0,5 [9]. Использование высокотемпературной плазменной струи позволило синтезировать СМШ из тугоплавких алюмо-иттриевых стекол [10]. Традиционные технологии не позволяют получить СМШ из тугоплавких составов. СМШ из бесцветных и цветных стекол были синтезированы в специально разработанной установке, включающей огнеупорный корпус, встроенную плазменную горелку, вибросито и сборник. Размер синтезированных СМШ лежал в пределах 80-1450 мкм [11]. В работе [12] СМШ получали путем ввода в индукционную плазму порошков силикатного и кварцевого порошка, диаметром 50-125 мкм.

Анализ имеющихся в научной отечественной и зарубежной литературе сведений позволяет сделать следующие выводы, что необходимы дальнейшие исследования по разработке эффективных технологий, закаленных СМШ, обладающих повышенными эксплуатационными показателями. Целью данной работы является разработка технологии получения закаленных СМШ и исследование влияния высоких температур плазмы, мощности работы плазменного реактора и расхода плазмообразующего газа аргона на эксплуатационные показатели СМШ и их гранулометрический состав. Решением, не применяемым ранее, является разработка плазменной технологии получения закаленных СМШ.

Для исследования фазового состава синтезированных стекломикрошариков методом рентгенофазового анализа был использован дифрактометр APL XTRA «Thenno Fisher Scientific» в диапазоне двойных углов 4-64. Параметры съемки порошковых дифрактограмм – медный анод и  $K_\alpha$  – излучение при напряжении 40 кВ. Количественное содержание компонентов в синтезированных стекломикрошариках определяли рентгенофлуоресцентным методом с использованием рентгенофлуоресцентного спектрометра APL 9900 «WorkStation». Параметры излучения установки были следующие – кобальтовый анод и  $K_\alpha$  – излучение; напряжение составляло  $U = 60$  кВ. Результаты исследований, полученные на спектрометре, были обработаны и задокументированы с использованием программного обеспечения OXSAS, работающего в среде WindowsXP Professional.

Анализ рентгеновских спектров производили с использованием программы DIFWIN. Для расшифровки порошковых рентгеновских дифрактограмм использовали картотеку ASTM и демонстрационной версии программы Match (Phase Identification from Powder Diffraction) фирмы CrystalIm-pact. Микроструктуру СМШ на основе отходов обогащения железистых кварцитов КМА определяли

энергодисперсионным спектрометром для электронно-зондового анализа – MIRA 3LM. Микротвердость определяли с использованием твердомера Nexus 4000 (метод Виккерса), а расчет производили по выражению (1):

$$HV = \frac{2P \sin \frac{\alpha}{2}}{d} = 1,8544 P/d^2, \quad (1)$$

где P – приложенная нагрузка, кгс; d – значение измеренных диагоналей, мм.

Нагрузку P при измерениях меняли в интервале 100-300 кгс, а время выдержки от 5 до 15 сек.

Синтез СМШ на основе отходов обогащения железистых кварцитов КМА производили на разработанной плазменной установке. Плазмообразующим газом служил аргон марки А. Расход аргона лежал в пределах 1,5-2,5 м<sup>3</sup>/час. Мощность работы плазменного реактора 12,0-15,0 кВт. Расход воды на охлаждение – 24 л/мин. Шихту загружали в два порошковых питателя. Плазмообразующий газ-аргон поступал из порошкового питателя вместе с гранулированной шихтой в два плазменных реактора. За счет высоких температур плазмы, порядка 9000-10000 К, происходило плавление частиц гранулированной шихты, которые отходящим потоком плазмообразующего газа транспортировались в зону двух диспергированных водяных струй. Резкое охлаждение приводило к закаливанию СМШ и повышению их микротвердости. После прохождения водоохлаждаемой зоны СМШ поступали в конус, а из конуса по перфорированному конвейеру в технологический проем для сбора конечного продукта.

Зависимость среднемассовой температуры аргоновой плазмы от силы тока имеет прямопропорциональную зависимость [13]:

$$T = 24,292 \cdot J - 5,31, \quad (2)$$

где J – сила тока дуги; T – температура, К.

Высокие температуры плазменного факела приводят к частичному испарению оксидов [14,15].

Расчетная по выражению (2) среднемассовая температура аргоновой плазмы представлена в табл. 1

Таблица 1 - Расчетная среднемассовая температура плазменного факела

Мощность работы плазмотрона, кВт	Сила тока, А	Средневековая температура, К
12,0	400	9711
13,5	450	10974
15,0	500	12140

Синтезированные СМШ при заданных параметрах работы установки с использованием рентгенофлуоресцентного метода исследовали на содержание оксидов и отдельных элементов. При высокотемпературном воздействии плазмы силикатный расплав разогревался до температур 2273-2373 К. Парциальное давление паров при температурах до 3373 К уменьшается в последовательности:  $K_2O - Fe_2O_3 - SiO_2 - CaO$  [16]. Следовательно, в плазме возгоняться в первую очередь будут оксиды щелочных металлов и железа и в последнюю очередь оксид кальция. Химический состав закаленных СМШ представлен в табл. 2.

Таблица 2 - Химический состав закаленных СМШ

№	Наименование	Массовое содержание								Σ
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	PbO	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	
1	Состав №1	71,5	2,5	8,5	3,0	14,5	-	-	-	100
2	Состав №2	62,0	15,0	4,5	3,5	15,0	-	-	-	100
3	Состав №3	71,0	0,5	3,5	2,5	1,0	18,0	3,5	14,5	100

Проведен синтез СМШ из гранулированных шихт при мощности работы плазмотрона 13,5 кВт и расходах плазмообразующего газа – аргона 1,5 м<sup>3</sup>/час, 2,0 м<sup>3</sup>/час и 2,5 м<sup>3</sup>/час. Известно [17], что с увеличением расхода плазмообразующего газа снижается температура плазменного факела и увеличивается скорость плазменной струи. С увеличением скорости струи происходят процессы коагуляции. Более мелкие частицы расплава теряют скорость быстрее, чем крупные. В результате крупные частицы догоняют более мелкие и соединяются с ними [17]. Скорость плазменной струи может лежать в пределах 20-140 м/с [19]. Таким образом, расход плазмообразующего газа оказывает влияние на гранулометрический состав СМШ.

С увеличением расхода плазмообразующего газа с 1,5 до 2,5 м<sup>3</sup>/час количество СМШ размером 320-1250 мкм увеличивается с 24% до 33%, а количество СМШ 20-140 мкм – снижается с 37% до 22%. Основная фракция СМШ размером 140-630 мкм составляет 39-45%.

Микротвердость СМШ является одним из важнейших эксплуатационных показателей. Результаты исследований микротвердости СМШ представлены в табл. 3

Таблица 3 – Микротвердость шариков незакаленных и закаленных

№	Наименование	Нагрузка Р, кгс	Время, с	Диагональ, d, мкм	HV	HV среднее
1		100	5	19,53	486,1	555,4
		200	10	24,87	599,6	

	Микрошарики закаленные состава №1	300	15	30,95	580,7	
2	Микрошарики незакаленные состава №1	100	5	22,48	366,9	433,3
		200	10	29,98	412,6	
		300	15	32,68	520,9	
3	Микрошарики закаленные состав №2	100	5	21,73	392,8	452,3
		200	10	28,84	446,6	
		300	15	32,78	517,7	
4	Микрошарики незакаленные состав №2	100	5	23,48	336,8	425,6
		200	10	29,94	413,6	
		300	15	33,48	496,8	
5	Микрошарики закаленные состав №3	100	5	19,84	471,3	542,6
		200	10	25,02	592,7	
		300	15	31,45	562,6	
6	Микрошарики незакаленные состав №3	100	5	22,73	359,3	426,3
		200	10	30,07	394,2	
		300	15	32,51	526	

Синтезированные СМШ имеют идеальную сферическую форму. Разработанная технология закаленных СМШ является высокопроизводительной, экологически чистой за счет использования в качестве плазмообразующего газа – аргона, энергосберегающей, что позволяет получить конечный продукт, конкурентоспособный, как на внутреннем, так и на внешнем рынках. Технология предусматривает подачу гранулированной шихты в порошок питатель, а из питателя совместно с плазмообразующим газом аргоном в плазменный реактор. Установлены закономерности влияния мощности работы плазменного реактора на изменение химического состава СМШ, заключающиеся в обогащении их оксидами алюминия и кальция и обеднения оксидами железа, кремния, натрия и калия за счет испарения с увеличением мощности с 12 до 15 кВт. Установлено влияние расхода газа – аргона на гранулометрический состав СМШ. Показано, что с увеличением расхода плазмообразующего газа с 1,5 до 2,5 м<sup>3</sup>/час уменьшается содержание фракций 20-320 мкм и увеличивается содержание фракций 630-1250 мкм. Исследован фазовый состав СМШ. Установлено, что за счет высокой скорости охлаждения, порядка 2000 град/мин, синтезированные СМШ являются рентгеноаморфными. Синтезированные СМШ в своем составе имели 98,3-98,6% частиц с идеально сферической формой. Разработанная технология – относится к классу бережливых и экологически чистых технологий и рекомендуется к широкому промышленному внедрению.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пат. № 2505492 РФ. МПК C03B19/10. Способ получения микрошариков из иттрий-алюмосиликатного стекла для радиотерапии, заявл. 14.06.2012; опубл. 27.01.2014, Бюл. № 3. 7 с.
2. Будов В.М., Егорова Л.С. Стекланные микрошарики. Применение, свойства, технология // Стекло и керамика. 1993. № 7. С. 2-5.
3. Крылов В.К., Бубнова Б.Г., Возный С.И., Рабенау В.В. Причины загрязнения разметки, выполненной термопластичными материалами // Строительные материалы. - 2010. № 2. С. 34-35.
4. Бондаренко Д.О., Строкова В.В., Тимошенко Т.И., Роздольская И.В. Плазмохимическое модифицирование облицовочного композиционного материала на основе полых стеклянных микросфер с защитно-декоративным покрытием // Перспективные материалы. 2018. № 8. С. 72-80.
5. Бондаренко Д.О., Бессмертный В.С., Строкова В.В., Бондаренко Н.И. Процессы образования ликваций, термодиффузии и испарения в облицовочном композиционном материале при плазмохимическом модифицировании // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. № 7. С. 65-70.
6. Благов В.И., Екатеринчук В.И., Бензен-Спиридонов А.В. Установка для производства стеклянных микрошариков // Стекло и керамика. 1987. № 3. С. 15-16.
7. Пат. № 2672890 РФ. СПК C03B 19/10. Стеклянный микрошарик // заявл.14.01.2018; опубл. 20.11.2018, Бюл. № 32, - 5 с.
8. Крохин В.П., Бессмертный В.С., Пучка О.В., Никифоров В.М. Синтез алюмоиттриевых стекол и минералов // Стекло и керамика. 1997. № 9. С. 6-7.  
[Krokhin V. P., Bessmertnyi V. S., Puchka O. V., Nikiforov V. M. Synthesis of yttrium-aluminum glasses and minerals // Glass Ceram. 1997. V.54. P. 271-272].
9. Бессмертный В.С., Крохин В.П., Ляшко А.А., Дрижд Н.А., Шеховцова Ж.Е. Получение стеклянных микрошариков методом плазменного распыления // Стекло и керамика. 2001. № 8. С. 6-7.  
[Bessmertnyi V. S., Krokhin V. P., Lyashko A. A., Drizhd N. A., Shekhovtsova Zh. E. Production of Glass Microspheres Using the Plasma-Spraying Method// Glass Ceram. 2001. V. 58. P. 268-269].
10. Пат. № 2401811 РФ МПК C03B19/10. Кремнеземные микрошарики, способ изготовления, соединения и возможные варианты применения кремнеземных микрошариков; заявл. 19.09.2005; опубл. 23.03.2006, Бюл. № 29. - 32 с.

11. Бессмертный В.С., Дюмина П.С., Дикунова Л.М. Декорирование стекла и изделий из него с использованием альтернативных источников энергии /– Белгород: Кооперативное образование, 2004. - 180 с.
12. Бессмертный В.С., Лесовик В.С., Бондаренко Н.И., Антропова И.А., Ильина И.А. Инновационная технология глазурования изделий из бетона // Успехи современного естествознания. - 2013. - № 2. - С. 107-108
13. Bessmertnyi V.S., Krokhin V.P., Panasenko V.A., Drizhd N.A., Dyumina P.S., Kolchina O.M. Plasma rod decorating of household glass // Glass and Ceramics. - 2001. - Т. 58. - № 5-6. - С. 214-215.
14. Вурзель Ф.Б., Назаров В.Ф. Плазмохимическая модификация поверхности стекла // Плазмохимические процессы - М.: Наука. - 1979. - С. 172-203.
15. Демиденко Л.М. Высокоогнеупорные композиционные покрытия // М.: Металлургия, 1979. - 216 с.
16. Бессмертный В.С., Пучка О.В., Кеменов С.А., Бондаренко Н.И., Табит Салим А.А. Плазмохимическая модификация стеновых строительных материалов с отходами стеклобоя и отходами обогащения железистых кварцитов КМА // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2014. № 5. С. 21-24.
17. Бессмертный В.С., Ляшко А.А., Антропова И.А., Гурьева А.А., Крахт В.Б., Гусева Е.Н., Бахмутская О.Н. Исследование свойств стеклошариков, прошедших плазменную обработку // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2010. № 12. С. 102-104.

#### **УДК 691**

*Афонсу Р.Г. де Азеведу<sup>1</sup>, Яцюк М.К.<sup>2</sup>, Выходцев И.А.<sup>2</sup>*

*Научный руководитель: Федюк Р.С., д-р техн. наук, доц.*

*<sup>1</sup>Государственный университет Северного Рио-де-Жанейро,  
г. Рио-де-Жанейро, Бразилия*

*<sup>2</sup>Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток, Россия*

### **ПОВРЕЖДЕНИЯ МАТЕРИАЛА ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ**

Возрастающие масштабы работ, обусловленные необходимостью ремонта и восстановления железобетонных конструкций (ЖБК), продиктованы ограничениями сроков службы данных конструкций вследствие ограниченной стойкости стальной арматуры к агрессивным средам. Необходимо принять во внимание, что данную проблему

усугубляет низкая ремонтпригодность железобетона в случае развития коррозионных процессов в арматуре конструкций. В связи с этим возникает необходимость обеспечения требуемых сроков службы армированных бетонных конструкций, эксплуатируемых в условиях агрессивных сред. Прежде всего, усугубляют и ускоряют этот негативный процесс следующие факторы: водопроницаемость бетона, воздействие на конструкцию нерасчетных нагрузок, выщелачивание отдельных компонентов цементного камня, накапливание и кристаллизация солей, проникновение в бетон агрессивных газов и солей, склонность к карбонизации и т.д. Лучшей стойкостью к воздействию агрессивной внешней среды, в том числе морского воздуха в условиях 100% влажности и агрессивной щелочной среде бетона, обладает базальтопластиковая арматура. В то же время, в ходе экспериментальных исследований отмечена высокая деформативность конструкций, армированных базальтопластиковой арматурой. Прогобы и ширина раскрытия трещин у данных конструкций превысила аналогичные значения для образцов близнецов со стальной арматурой в 4-8 раз [1-2].

Для гидротехнических сооружений характерно биологическое повреждение различными микроорганизмами [3]. Однако, те разрушительные микроорганизмы, которые обитают в Черном море, в условиях отрицательных температур Арктики не представляют угрозы.

Помимо выше перечисленного, гидротехнические бетоны подвержены биологическим воздействиям, то есть растительным и животным обрастаниям. При этом считается, что растительные обрастания защищают бетон от разрушения, а животные обрастания воздействуют по-разному. К примеру, мидии – разрушают, а болянусы – защищают. При воздействии сточных вод бетон подвержен коррозии от действия микробов. В качестве защитного средства, к примеру, от действия сульфатредукторов используют полидим П, а для защиты от тионовых бактерий применяют катамин АБ или катамин КБ [4]. Бетон гидротехнических сооружений подвержен также абразивному действию наносов, кавитации, аэрации воды. Износ бетонной поверхности гидротехнических сооружений (ГТС) от абразивного воздействия происходит от удара частиц, наносов, содержащихся в потоке воды, и последующего истирания их о бетонную поверхность. От абразии страдают облицовочные плиты сооружений [5].

Аэрация воды происходит в зонах разбивания волн. Она почти не влияет на стойкость бетона, но плохо действует на железобетон, поскольку насыщение воды кислородом приводит к коррозии арматуры ГТС. Бетон в зонах разбивания волн должен быть плотным, иметь



щелочную среду и ограниченную воздухопроницаемость. Что касается кавитационной износостойкости гидротехнических бетонов, то существуют различные мнения и гипотезы по поводу механизма кавитационного воздействия [6]. Кавитация – это явление образования пустот, то есть разрыв сплошности жидкости в тех областях потока, где в результате перераспределения давления, обусловленного движением жидкости, происходит значительное его понижение. По одной из гипотез, разрушение бетона происходит от воздействия короткой, но интенсивной волны, на образование которой расходуется вся кинетическая энергия движущейся массы жидкости в результате прекращения движения жидкости в момент полного смыкания пузырька вблизи поверхности материала. К наиболее подверженным эрозии от кавитации гидротехническим сооружениям относятся:

- гасители энергии вследствие наличия выступов и резкого изменения формы обтекаемых поверхностей, что обуславливает существование постоянного источника отрыва потока и образование вакуумных зон (в зарубежной практике наблюдалось разрушение боковых граней ступеней водобоев донных водосбросов);

- входные и выходные участки водосбросов (Братская ГЭС, Волжская ГЭС);

- затворные узлы (плотина Паркер, Бонневиль в США);

- отдельные неровности на поверхности водосбросов и водосливов (лотковая часть водосбросного туннеля гидроузла Боулдер в США, поверхность водослива плотины Братской ГЭС).

Среди факторов, влияющих на износостойкость цементного камня, выделяют следующие:

- угол падения струи – чем он больше, тем быстрее развивается эрозия;

- скорость струи – увеличение скорости движения потока ведет к возрастанию эрозии;

- длина струи – увеличение длины струи увеличивает эрозию;

- попеременное замораживание – оттаивание; - вид и тип цемента – влияют на стойкость бетона лишь в раннем возрасте, пока заметна разница прочности при сжатии; - возраст бетона – чем он выше, тем более стоек бетон. До недавних пор единственным способом борьбы с эрозией бетона от кавитации считались металлические облицовки и полимерные покрытия. Однако, как оказалось [7-8], возможно повысить кавитационную стойкость цементного камня путем регулирования формирования его структуры.

Кавитационная стойкость цементного камня определяется его водоцементным отношением, возрастом и прочностью. Кавитационная

стойкость тем выше, чем ниже водоцементное отношение и чем выше прочность цементного камня при сжатии, причем прочность при сжатии повышается по мере увеличения возраста цементного камня. Опыты Ц.Г. Гинзбурга [8] и др. по определению кавитационной износостойкости цементного камня показали, что наиболее благоприятным условием для формирования структуры материала является твердение материала в воде, поскольку в таких условиях отсутствуют внутренние напряжения, вызываемые деформациями усадки вследствие колебания влажности при твердении бетона в воздушных условиях. Опыты позволили сформировать следующие технические требования к кавитационностойкому бетону: возраст – 28 суток, предел прочности при сжатии – не менее 400 кгс/см<sup>2</sup>, при осевом растяжении – не менее 30 кгс/см<sup>2</sup>, водоцементное отношение – не более 0,42, марка бетона по морозостойкости – не менее F500, осадка конуса ~ 3-4 см. Выявились также, что бетоны на щебне более кавитационностойки, чем бетон на гравии. Помимо прочего, оказалось, что деревянная или фанерная опалубки более способствуют повышению кавитационной стойкости, нежели металлическая. Это связано с тем, что любая сухая древесина ввиду своей пористости способна отсасывать воду из твердеющего бетона, уменьшая тем самым его водоцементное отношение и соответственно увеличивая прочность и стойкость бетона. Также повышает кавитационную стойкость 1-3% в бетоне фибр из арматурных проволок.

Таким образом, из негативных воздействий на специальные гидротехнические сооружения в условиях Арктики, выделяются ледовая абразия и коррозия (карбонизация и выщелачивание).

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шаповалов, Н.А. Тяжелые бетоны на карбонатном заполнителе улучшенного качества / Н.А. Шаповалов, М.М. Косухин, А.А. Слюсарь, О.В. Мухачев // Строительные материалы. - 2002. - №1. - С. 8-9.

2. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. – М., 2018. – 150 с.

3. Santos, R.F. Nanofibrillated cellulose and its applications in cement-based composites: A review / R.F. Santos, J.C. Lopes Ribeiro, J.M. Franco de Carvalho, W.L. Esteves Magalhães, L.G. Pedroti, G.H. Nalon, G.E. Soares de Lima // Construction and Building Materials. - 2021. – Vol. 288. – P. 123122.

4. Tafesse, M. Flowability and electrical properties of cement composites with mechanical dispersion of carbon nanotube / M. Tafesse,

N.K. Lee, A.S. Alemu, H.K. Lee, S.W. Kim, H.-K. Kim // Construction and Building Materials. - 2021. – Vol. 293. - P. 123436.

5. Kumar, M. An overview of beneficiary aspects of zinc oxide nanoparticles on performance of cement composites / M. Kumar, M. Bansal, R. Garg // Materialstoday: Proceedings. - 2021. Vol. 43(2). - P. 892-898.

6. Akbar, A. Multicriteria performance evaluation of fiber-reinforced cement composites: An environmental perspective / A. Akbar, K.M. Liew // Composites Part B: Engineering. - 2021. – Vol. 218. – P. 108937.

7. Москвин, В.М. Коррозия бетона / В. М. Москвин. - М : Гос. изд-во лит. по строительству и архитектуре, 1952. - 344 с.

8. Гинзбург, Ц.Г. Проектирование износостойчивого противокавитационного бетона / Ц.Г. Гинзбург, А.М. Чистяков. - М; Л: Госэнергоиздат, 1959. - 36 с.

**УДК 691.3:620.197**

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

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

## **КАЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗАЩИТНО- ДЕКОРАТИВНОГО ПОКРЫТИЯ**

Бетон в настоящее время является наиболее распространенным и востребованным строительным материалом, который также нуждается в защите от агрессивных факторов окружающей среды. В этой связи важным является разработка специальных покрытий, которые позволят повысить эксплуатационные характеристики и увеличить срок службы бетонных изделий. Решением указанной проблемы является применение газотермических технологий нанесения покрытий [1, 2].

Технология высокотемпературной обработки (плазменного оплавления) способствует получению на поверхности строительных материалов высокоэффективных стекловидных защитно-декоративных покрытий [3–5]. Данные покрытия улучшают физико-механические свойства как материала, так и покрытия, а также повышают их декоративность [6–9].

Рабочей гипотезой исследования явилось предположение об эффективности составов на основе глинозёмистого цемента (ГЦ) и портландцемента с боем высокоглинозёмистого огнеупора разной фракции (П+ВО) с использованием измельченного цветного тарного стекла (ЦТС) и красящих солей металлов (КСМ) [10]. Разработанные

составы подвергали оплавлению при помощи многофункционального плазменного комплекса при  $t = 6000$  °С. Затем проведен комплекс исследований эксплуатационных и эстетических свойств материалов (таблица 1) в зависимости от состава, которые определяют качественные характеристики композитов с покрытиями.

Оценка водостойкости и кислотостойкости покрытий производилась по стандартным методикам ГОСТ 10134.1–82 и ГОСТ 473.1–81, а также с использованием визуального обзора. Микротвёрдость определялась на твердомере Nexus 4504-IMP по методу Виккерса. Прочность сцепления покрытия с матрицей композита измерялась на разрывной машине М-1. Термостойкость покрытия оценивалась по разности температур, при которых на лицевой поверхности появляются микротрещины. Органолептический метод применялся для анализа поверхности и установления фактуры, цвета и блеска покрытий.

Таблица 1 – Качественные характеристики бетона с защитно-декоративным покрытием

Состав композита		Качественные характеристики						
Защитный слой	Декоративный слой	Прочность сцепления, МПа	Микротвёрдость, НВ	Водостойкость (гидролитический класс)	Кислотостойкость (органолептическая оценка)	Термостойкость, °С	Цвет	Блеск поверхности
П+ВО (фр. 0,25–0,63)	КСМ (кобальт)	1,8	823	III	Пятна отсутствуют, изменения не наблюдаются	134	синий	блестящая
П+ВО (фр. 0,63–0,8)	КСМ (никель)	1,7	698	III		132	серо-коричневый	
П+ВО (фр. 0,63–0,8)	КСМ (медь)	2,1	1280	III		140	красный	

ГЦ	ЦТС (фр. 0,25– 0,63)	3,4	4813	IV	95,7	105	зеленый	
ГЦ	ЦТС (фр. 0,63–0,8)	3,8	4926	IV	96,2	108	синий	

С увеличением толщины покрытия микротвёрдость снижается, поэтому толщину можно регулировать скоростью плазменной обработки. Целесообразна разработка покрытий не более 500 мкм. Кроме того, анализ параметров высокотемпературного модифицирования показал, что для получения сплошного покрытия с ровным разливом необходимо использовать скорость 10–15 мм/с, а для бугристого покрытия – 20 мм/с.

Таким образом, все разработанные составы покрытий имеют достаточно высокие показатели качества и могут быть использованы для расширения номенклатуры отделочных материалов.

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

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИ СПИСОК

1. Volokitin, O. Plasma technology for creation of protective and decorative coatings for building materials / O. Volokitin, G. Volokitin, N. Skripnikova, V. Shekhovtsov // AIP Conference Proceedings. – 2016. – Vol. 1698. – Article number 070022.
2. Volokitin, O.G. Prospects of application of low-temperature plasma in construction and architecture / O.G. Volokitin, V.V. Shekhovtsov // Glass Physics and Chemistry. – 2018. – Vol. 44. – Issue 3. – P. 251–253.
3. Баженов, Ю.М. Высокотемпературная отделка бетона стекловидными покрытиями. / Ю.М. Баженов, С.В. Федосов, Ю.А. Щепочкина, М.В. Акулова. – М.: АСВ, 2005. – 128 с.
4. Федосов, С.В. Плазменное оплавление строительных композитов / С.В. Федосов, М.В. Акулова, Ю.А. Щепочкина, Э.Д. Подлозный, Н.Н. Науменко. – М.: АСВ; Иваново: ИГАСУ, 2009. – 228 с.
5. Shekhovtsov, V.V. Thermal plasma in construction industry / V.V. Shekhovtsov, O.G. Volokitin, N.K. Skripnikova, G.G. Volokitin, M.A. Semenovych // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2021. – Vol. 688. – Article number 012010.
6. Бондаренко, Н.И. Исследование влияния плазмохимического модифицирования на макро- и микроструктуру поверхностного слоя

автоклавных стеновых материалов / Н.И. Бондаренко, Д.О. Бондаренко, Н.М. Бурлаков, Л.Л. Брагина // Строительные материалы и изделия. – 2018. – Т. 1. – № 2. – С. 4–10.

7. Бондаренко, Н.И. Глазурование изделий из бетона с использованием факела низкотемпературной плазмы / Н.И. Бондаренко, В.С. Бессмертный, И.А. Ильина, Э.О. Гащенко // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2012. – № 2. – С. 124–127.

8. Федосов, С.В. Закрепление плазмоплавленнного стекловидного декоративного слоя на бетоне с помощью пропиток / С.В. Федосов, М.В. Акулова, Е.В. Кошелев // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2008. – № 3 (11). – С. 44–49.

9. Бондаренко, Д.О. Плазмохимическое модифицирование облицовочного композиционного материала на основе полых стеклянных микросфер с защитно-декоративным покрытием / Д.О. Бондаренко, В.В. Строкова, Т.И. Тимошенко, И.В. Роздольская // Перспективные материалы. – 2018. – № 8. – С. 72–80.

10. Бондаренко, Д.О. Подбор и анализ сырьевых компонентов для защитного и декоративного слоя композиционного материала / Д.О. Бондаренко // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2021. – № 12. – С. 27–33.

**УДК 666.972.162**

***Бочарников А.Л.***

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

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ ПОДСОЛНЕЧНИКА В КАЧЕСТВЕ ПЛАСТИФИЦИРУЮЩЕЙ ДОБАВКИ В ЦЕМЕНТНОЕ ТЕСТО**

Строительная отрасль является одним из крупнейших потребителей цемента и по оценкам, спрос на цемент будет продолжать расти в ближайшие годы [1], учитывая, что на восстановление новых территорий РФ потребуется значительное количество строительных материалов, в том числе и цемента (Рис.1). Производство цемента приводит к выбросам парниковых газов и использованию невозобновляемых источников энергии. Поэтому поиск устойчивых и экологически чистых альтернатив традиционным цементным добавкам

продолжается.

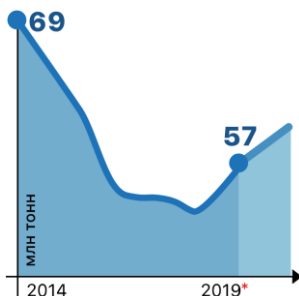


Рис. 1 График потребления портландцемента в РФ

В последние годы отходы подсолнечника, побочный продукт процесса экстракции подсолнечного масла, стали потенциальной пластифицирующей добавкой в цементное тесто [2].

Для начала необходимо вспомнить, что подсолнечное масло представляет собой – это, масла растительного происхождения, получаемое из семян подсолнечника, под давлением пресса которого вытекает подсолнечное масло и остается твердое, маслянистая масса далее идет обработка, в результате которой методом рафинирования избавляются от душистых веществ, таких как дезодоранты, в том числе от не нужных компонентов, представляющие собой фосфолипиды (фосфор содержащие соединения), углеводов. В результате остаются только чистые жирные кислоты, витамины, антиоксиданты и другие полезные компоненты, которые делают подсолнечное масло ценным продуктом.

После экстракции подсолнечного масла из семян подсолнечника остается остаточный материал, который называется жмыхом подсолнечника или шротом. Жмых подсолнечника представляет собой твердую маслянистую массу волокнистого состава, которая остается после того, как подсолнечное масло вытекло под давлением пресса [4].

При добавлении в цементное тесто он действует как пластифицирующая добавка, улучшая удобоукладываемость и реологические свойства смеси. Это в свою очередь уменьшает количество воды затворения, необходимой в смеси, что приводит к сокращению общего углеродного следа цемента [5].

Использование отходов подсолнечника (жмыха) нашли широкое применение в различных отраслях промышленности. Он может использоваться в кормовой промышленности для производства кормов для животных, таких как скот, птица и рыба, благодаря своему

высокому содержанию белка. Также жмых подсолнечника может быть использован в производстве биотоплива, в производстве пищевых добавок или как удобрение (Рис. 2).

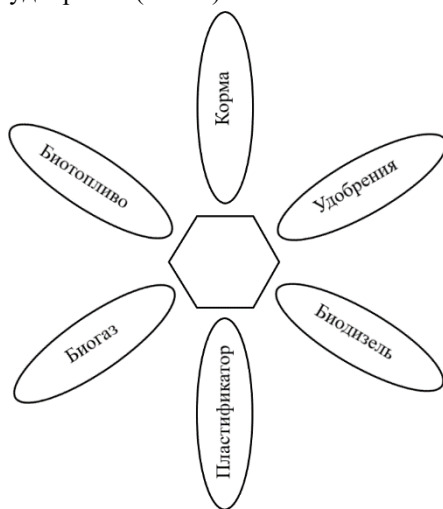


Рис. 2 Пути переработки отходов подсолнечника

Применение отходов подсолнечника в качестве пластифицирующей добавки в цементное тесто и повышения прочности цементного композита, объясняется тем, что растительные масла, содержащие глицериды непредельных высших кислот с двумя и более двойными связями, при окислении на воздухе образуют прозрачную твердую и прочную пленку – линоксин [6].

Следует выделить основные преимущества использования отходов подсолнечника в качестве пластифицирующей добавки в цементное тесто:

- Устойчивость: Отходы подсолнечника являются возобновляемым и биоразлагаемым материалом, который можно легко получить в процессе экстракции подсолнечного масла. Его использование в цементе помогает сократить использование невозобновляемых ресурсов и углеродный след производства цемента.

- Улучшены механические свойства: было показано, что использование отходов подсолнечника в качестве пластифицирующей добавки улучшает механические свойства цемента, такие как прочность на сжатие, прочность на изгиб и ударная вязкость.

- Сокращение времени схватывания: было обнаружено, что отходы подсолнечника сокращают время схватывания цемента, что



делает его более практичным решением для строительных проектов, требующих более быстрого времени схватывания.

- Экономичность: отходы подсолнечника являются недорогой альтернативой традиционным пластифицирующим добавкам, что делает его привлекательным решением для строительных компаний, стремящихся снизить свои затраты.

В заключение следует отметить, что отходы подсолнечника могут стать устойчивой и экологически чистой альтернативой традиционным пластифицирующим добавкам в цементном тесте. Было показано, что его использование улучшает механические свойства, сокращает время схватывания и снижает стоимость производства цемента. Необходимы дальнейшие исследования, чтобы полностью понять потенциал отходов подсолнечника в качестве пластифицирующей добавки в цементном тесте и оценить его эффективность с течением времени.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рынок цемента [Электронный ресурс] URL: <https://prcs.ru/analytics-article/rynok-cementa/> (дата обращения 16.05.2023).

2. Михалко, И. К. Использование промышленных отходов в производстве цемента / И. К. Михалко // Природноресурсный потенциал, экология и устойчивое развитие регионов России : Сборник статей XVII Международной научно-практической конференции, Пенза, 24–25 января 2019 года. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2019. – С. 123-129.

3. Артеменко А. И. Органическая химия: Учеб. для строит. спец. вузов / А. И Артеменко. – 5-е изд., испр. – М.: Высш. шк., 2002. – 559 с.: ил.

4. Смычагин, Е. О. Анализ состава отходов очистки масличных семян и способов их утилизации и переработки / Е. О. Смычагин, С. К. Мустафаев // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2016. – № 120. – С. 651-663.

5. Характеристика гидрофобно-пластифицирующих добавок [Электронный ресурс] URL: <http://www.arhplan.ru/materials/concrete/characteristics-of-hydrophobic-plasticizing-additives> (дата обращения 16.05.2023).

6. Глинка Н. Л. Общая химия: Учеб. пособ. для вузов /Н. Л. Глинка. – изд. 28-е, переработанное и дополненное – М.: Интеграл-Пресс, 2000. – 728 с.

УДК 72

*Бредис А.Д.*

*Научный руководитель: Быкадорова Е.С., канд. пед. наук, доц.  
Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск,  
Россия*

## **THE USE OF NANOTECHNOLOGY IN BUILDING MATERIALS**

This work deals with nanomaterials. Let's answer the question how small a nanocrystal is. For an immediate comparison, a nanometre represents a dimension about a few tens of thousand times thinner than human hair. It gives an idea of the scale of different objects, from macroscale to nanoscale. Although nanomaterials are negligible, they have been widely used in construction. With global trends of population growth, high cost of resources and a growing necessity for sustainably sourced building materials, modern buildings are often made with fewer resources, designed to be lighter, stronger, and more durable. However, without additional treatments, this can also mean they are less fire-resistant, particularly, if those materials are not fortified to meet fire resistance requirements such as those set out by the National Fire Protection Agency (NFPA) or in local, national, or international building codes.

Nanomaterials are very helpful in construction, but they have their shortcomings. Hazards of nanoparticles are dependent on size, shape, aggregation, agglomeration, solubility, electrical charge, and toxicity. Nanoparticles are primarily absorbed through the respiratory system. Particles smaller than 10 nm are retained in the respiratory tract whereas particles with dimensions 10–100 nm are deposited in the bronchioles and alveoli. Nanomaterials can also be absorbed through skin contact and ingestion.

Steel and wood are widespread in nanomaterials for building construction.

Nanomaterial can be used in steel as a nano-coating or incorporated into its fabrication. Nanocomposite polymers and coatings applied to the steel structures can reduce the heat released and improve fire retardancy. By refining materials down to the nanoscale and driving out impurities such as carbides, the steel becomes stronger, more resistant to corrosion, and possesses a tensile strength 100 times that of steel (Fig.1).

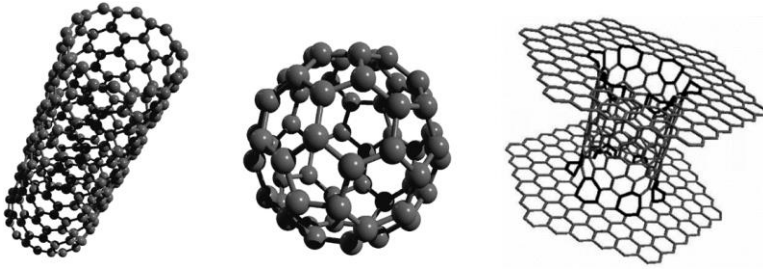


Fig. 1 Nanoparticles

Untreated wood is highly combustible. Building codes limit wood use mainly to residential construction due to its low fire resistance, unless treated with fire-resistant coatings. Fire resistance can be improved with traditional chemical fire retardants. However, traditional fire-resistant coatings can produce toxic gas [1].

One interesting development in wood construction fire protection is hydrothermal synthesis of nanooctahedra  $\text{MnFe}_2\text{O}_4$  onto the wood surface that creates a fire-resistant and electromagnetic wave-absorbing coating (Fig.2).



Fig. 2 Steel Nanotechnology structure

The use of nanotechnology in building materials can be highly effective in providing fire-resistant and structure-strengthening properties. However, their current barriers to widespread adoption are cost and the need for assurances of their safety since there is limited information available on the toxicological effects of nanomaterial exposure and limited provisions for their control (Fig.3).



Fig. 3 Fire resistant nanomaterial

Because the majority of fire deaths occur in residential properties both in the United States and around the world and to address life safety in fire protection, better fire-resistant materials in residential construction are needed [2, 3].

The use of nanotechnology in building materials has significant potential to create safer and more resilient residential structures.

To justify widespread adoption of a particular construction material, it should show superior fire resistance, structural strength, durability, release less hazardous smoke, and finally, present fewer toxicological hazards than conventional coatings and materials [4].

To summarise residential fire deaths and injuries are a growing safety and public health concern. Better fire-resistant building materials are needed in residential construction to bolster fire protection and to improve life safety outcomes. This work examined literature, from a safety perspective, to address these concerns by examining the application of nanotechnology to building materials to improve safety.

## REFERENCES

1. Vakhitova, L. Fire retardant nanocoating for wood protection. In *Nanotechnology in Eco-Efficient Construction*; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2019; pp. 361–391.
2. Taghiyari, H.R. Nanotechnology in wood and wood-composite materials. *J. Nanomater. Mol. Nanotechnol.* 2014, 3.
3. Olawoyin, R. Nanotechnology: The future of fire safety. *Saf. Sci.* 2018, 110, 214–221.
4. Karlsson, H.L.; Cronholm, P.; Gustafsson, J.; Moller, L. Copper oxide nanoparticles are highly toxic: A comparison between metal oxide

nanoparticles and carbon nanotubes. Chem. Res. Toxicol. 2008, 21, 1726–1732.

**УДК 691.535**

**Водопьянова А.А.<sup>1</sup>**

**Научный руководитель: Лесовик В.С.<sup>1,2</sup>, д-р техн. наук, проф.**

<sup>1</sup>*Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

<sup>2</sup>*Центральный научно-исследовательский и проектный институт  
Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства  
Российской Федерации, г. Москва, Россия*

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ С УЧЕТОМ ЗАКОНА СРОДСТВА СТРУКТУР ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПАМЯТНИКОВ МОНУМЕНТАЛЬНОЙ АРХИТЕКТУРЫ**

Реставрационные материалы, которые находятся в непосредственном контакте с оригинальным материалом памятника монументальной архитектуры, должны удовлетворять большому количеству требований. Они должны быть близки к оригинальному материалу по текстуре, микроструктуре и макроструктуре, не должны изменять цвет материала памятника и должны обеспечивать прочность, биосовместимость, атмосферостойкость и долговечность при длительном использовании. При обеспечении достаточной совместимости оригинального и реставрационного материала, предотвращается накопление воды и водорастворимых солей, что, в свою очередь, останавливает развитие механических напряжений в зоне контакта работ. Это позволяет ослабить разрушительные процессы и отторгает новообразования, сопровождающие деградацию исходного материала [1].

При разработке материалов для реставрационных работ, необходимо обеспечить соответствие всем этим параметрам, в противном случае результат реставрационной деятельности может не оправдать эстетических и эксплуатационных ожиданий, в России есть множество таких примеров.

«Родина-мать зовёт» — один из самых знаменитых монументов в мире, который требует особого реставрационного подхода и применения современных реставрационных композитов для сохранения эстетической выразительности и исторической ценности. Памятник «Родина-мать» открыли 15 октября 1967 года, в 2019 году спустя 52 года

монумент был отреставрирован, выполнены противоаварийные работы по наружной поверхности монумента с применением высотных работ методом промышленного альпинизма, фрагментарная реставрация бетонной поверхности внутри монумента, реставрация наружной поверхности монумента. Однако на сегодняшний день состояние наружной поверхности железобетонной скульптуры вызывает вопросы: внешний вид монумента изменился, отреставрированные участки наружной поверхности из бетона отличаются по цвету и бросаются в глаза (Рис. 1).



Рис. 1 Состояние монумента «Родина-мать» в г. Волгограде после реставрации

Следующим примером проведения восстановительных работ с применением материалов, не соответствующих предъявляемым требованиям, является мемориал «Штыки» в городе Зеленограде. Памятник защитникам Москвы на 40-м километре Ленинградского шоссе в нынешнем виде был открыт 45 лет назад — 24 июня 1974 года. Мемориал выполнен из бетона, гранита и бронзы по проекту архитекторов Игоря Покровского и Юрия Свердловского, скульптора Евгения Штейман-Дервянко и художника-монументалиста Алексея Штеймана. Реставрация была проведена в 2016-2017 годах, однако бетонная поверхность сооружения по эстетическим соображениям снова требует ремонта (Рис. 2).

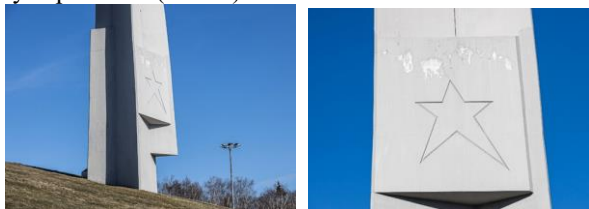


Рис. 2 Мемориал «Штыки» в городе Зеленограде после реставрационных работ

В 2014 году были проведены восстановительные работы монумента «Маска скорби», посвященного жертвам политических репрессий 30-50-х годов. Памятник был открыт 12 июня 1996 года в

Магадане, у подножия сопки Крутая, где находилась знаменитая "транзитка" — откуда отправлялись этапы заключенных на Колыму. Маска высотой 15 метров, которая по замыслу авторов – скульптора Эрнста Неизвестного и архитектора Камиля Козаева, вырвалась из недр сопки и разбросала вокруг валуны, задумывалась быть бетонной, без изменения цвета и полировки. После проведения работ всё это почти не сохранилось (Рис.3).



Рис. 3 Состояние монумента «Маска скорби» до и после реставрации

Реализация закона сродства структур позволяет создать композит, в котором заложены основы реагирования на изменяющиеся условия синтеза и эксплуатации; целенаправленно синтезируются новообразования и создается нано-, микро- и макроструктура, обладающая способностью регулировать влажностный режим в толще реставрируемого материала в определенном диапазоне эксплуатационных нагрузок. Анализируя состояние памятников монументальной архитектуры, создание и применение подобных композитов является актуальной на сегодняшний день задачей.

Композиционные вяжущие вещества являются наиболее гибкими минеральными системами и обладают огромным потенциалом к адаптации [2]. В таких вяжущих может изменяться соотношение клинкера и минеральной добавки, состав самого клинкера, применение химических модификаторов и изменение режима обработки. Все это позволяет получать составы со свойствами, необходимыми для применения в каждом конкретном случае.

При разработке композиционных вяжущих для реставрационных растворов, согласно требованиям закона сродства структур [4], в качестве минеральных добавок в состав композиционных вяжущих были выбраны: бой тяжелого бетона (Тб); кварцевый песок (Кп) – контрольная добавка. Соотношение клинкерной части и минеральной добавки в составе композиционного вяжущего, на основе предварительных экспериментов, было установлено как 40% к 60%. Минеральные добавки предварительно измельчались дроблением до максимальной крупности частиц 2 мм. Получение композиционных

вяжущих производилось совместным помолом компонентов в вибрационной шаровой мельнице [3] (Табл. 1).

Таблица 1 – Характеристики композиционного вяжущего

Состав	КВ40Тб	КВ40Кп
Рациональная дозировка пластификатора Muraplast, % от вяж.	0,7	0,5
Нормальная густота теста, % – без СП	30	34,7
– с СП	23,5	25
Сроки схватывания, мин – начало	120	110
– конец	240	220
Суд, м <sup>2</sup> /кг	677	699
Активность, МПа	36,1	32,3
Прочность р-ра, МПа при Ц:П=1:3, В/Ц=0,5 (хранение в воздушно-влажных условиях, 28 сут.)	12,4	10,6

На основе разработанного композиционного вяжущего был получен реставрационный раствор. Для состава было принято единое отношение вяжущего к песку 1:3, пластифицирующая добавка вводилась в рациональной дозировке. Примечательно, что предел прочности раствора на предложенном композиционном вяжущем, твердеющем на подложке соответствующего базового материала, выше, чем традиционных цементно-известково-песчаных. Также было отмечено, что состав демонстрирует более высокие показатели по адгезии (Табл.2).

Таблица 2 – Показатели реставрационного раствора

Состав		Марочная Прочность, МПа	Фактическая прочность при твердении на подложке из цем. бетона, МПа	Нормальная прочность к цементному бетону, МПа
Вяжущее (40 %)	Вид минеральной добавки (60 %)			
	Тяжелый бетон	12,4	6,8	0,59
	Кварцевый песок	10,6	6,4	0,76
Сухая строит. смесь для штукатурных работ «Р-10»		11,3	6	0,64



Цементно-известково-песчаный р-р (Ц – 20%;И – 5%; П – 75%)		11,1	5	0,48
--	--	------	---	------

При выполнении реставрационных и восстановительных работ необходимо использовать закон сродства структур, который обеспечивает все необходимые требования по проведению таких работ, а также обеспечивает создание надежных плотных слоев с повышенной прочностью и долговечностью.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лесовик В.С. К проблеме проектирования строительных композитов для защиты среды обитания человека. / В.С. Лесовик, Е.В. Фомина // Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2021 году. Сборник научных трудов РААСН. Москва — 2022. — С. 177-185.

2. Чулкова, И. Л. Известково-реставрационные композиты // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. — 2012. — № 5(27). — С. 71-77.

3. Куприна А.А. Кладочные растворы на основе композиционных вяжущих: Автореф. диссертации на соискание уч. степ. канд. техн. наук / А.А. Куприна. — Улан-Удэ, 2015. — 21 с.

4. Шкарин А.В. Получение композиционных вяжущих в различных помольных агрегатах / А.В. Шкарин, Л.Х. Загороднюк, А.Ю. Щекина // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. — 2012. — №4. — С. 53-57.

**УДК 691.5**

***Воробьев Е.Л., Коваленко Е.В.***

***Научный руководитель: Чернышева Н.В.***

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

### **СОСТАВ И СВОЙСТВА РАСТВОРНОЙ СМЕСИ НА ОСНОВЕ КГВ ДЛЯ УСТРОЙСТВА СТЯЖЕК ПОЛОВ**

Для современных условий строительства зданий и сооружений

предъявляются особые требования к качеству и «экологичности» используемых строительных материалов. Наличие в России развитой индустрии по производству вяжущих материалов в сочетании с богатыми природными запасами минерального сырья является мощной базой для отечественного производства сухих строительных смесей (ССС) – материалов полной заводской готовности, преимущества использования которых, по сравнению с традиционными растворами и бетонами, подтверждена многолетней зарубежной и отечественной практикой строительства [1-8].

Растворные смеси для стяжек могут быть саморазравнивающимися или требующими разравнивания, обладающими определенной удобоукладываемостью. Саморазравнивающиеся смеси способны саморастекаться при нагнетании на выравниваемую поверхность и самовыравниваться без приложения внешних сил, а обычные смеси для стяжек – при приложении внешних сил [2].

Эффективными являются СС на основе водостойких композиционных гипсовых вяжущих (КГВ), которые представляют собой рационально подобранную смесь гипсового вяжущего, гидравлического компонента, получаемого в результате совместной механоактивации портландцемента с кремнеземистой добавкой, и модифицирующих добавок (суперпластификаторов, замедлителей сроков схватывания и др.). Однако их использование сдерживается ввиду отсутствия или дефицита в ряде регионов РФ необходимых для их получения кремнеземсодержащих компонентов [6-8].

В настоящее время в результате массовых разрушений зданий (в частности на Донбассе) образуются большие объемы бетонного лома (БЛ), имеются в большом количестве другие виды техногенного сырья, содержащего кремнезем в различной форме. Их применение для производства СС имеет свою специфику и требует серьезного изучения с целью обеспечения ценным сырьем строительно-восстановительные работы и во многом решить экологические проблемы, связанные с захоронением больших объемов строительного мусора.

Особый интерес представляет использование в качестве минеральной добавки в составе КГВ тонкодисперсного БЛ, обладающего заметными вторичными вяжущими свойствами и состоящего из гидросиликатов кальция группы  $C_2SH_2$ ,  $Ca(OH)_2$  и остатков не прогидратированных клинкерных минералов.[6].

В исследованиях для разработки состава КГВ применяли гипсовое вяжущее ГВВС-16 (ГВ), портландцемент ЦЕМ I 42,5 Н (ПЦ) и в качестве минеральной добавки – тонкодисперсный бетонный лом (БЛ).

Химический состав ПЦ и БЛ представлены в табл.1, свойства

гипсовых вяжущего в табл.2, влияние химических добавок на свойства КГВ в табл.3.

Таблица 1 – Химический состав компонентов КГВ.

Компонент	Оксиды (масс.%)								
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	CaOсв	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>
Бетонный лом	52,4	4,9	3,7	34,7	–	1,2	0,51	1,5	0,5
Портланд цемент ЗАО «Белгородский цемент»	22,49 ±0,5	4,77 ±0,3	4,40 ±0,1	67,22 ±1,0	0,20 ±0,05	0,43 ±0,03	0,20 ±0,05	0,21 ±0,01	1,5 ±0,5

Удельная поверхность применяемого ПЦ – 320...330 м<sup>2</sup>/кг, начало схватывания цементного теста – 1 час 40 минут, конец схватывания – 4 часа 20 минут.

Таблица 2 – Свойства гипсовых вяжущего.

Показатели	Единицы измерения	Вяжущее
		ГВВС - 16
Степень помола, максимальный остаток на сите с размером ячеек 0,2 мм	%	21
Нормальная густота	–	0,38
Сроки схватывания:	начало	11-30 13-00
	конец	
Предел прочности при изгибе	МПа	6,3
Предел прочности при сжатии: - сухих образцов - насыщенном водой образцов	МПа	16,0
	МПа	29,8
	МПа	7,7
Коэффициент размягчения		0,47

Для активации процессов гидратации КГВ осуществляли помол БЛ до удельной поверхности 500 м<sup>2</sup>/кг, с последующим перемешиванием с портландцементом и гипсовым вяжущим α-модификации ГВВС-16, совмещенным с кратковременным домолом.

Условиями создания долговечных и высокоэффективных водостойких КГВ является правильно подобранный состав гидравлического компонента

В ранее проведенных исследованиях было установлено [6], что согласно ТУ 21-31-62-89 при соотношении БЛ/цемент=1:1 концентрация СаО в специальных растворах КГВ с тонкодисперсным

БЛ снижается до требуемых пределов и исчезают условия образования высокоосновных гидроалюминатов кальция и этtringита.

Испытания по определению свойств затвердевших КГВ производились на образцах-кубах размером 3×3×3 см в возрасте 2 часов и 28 суток после формования, по три образца в каждой партии.

С целью повышения эффективности КГВ исследовали влияние суперпластификатора Melflux 5581 F и замедлителя сроков схватывания Plast Retard PE.

Разработанная комплексная химическая добавка – MELFLUX 5581 F (0,1%)+PlastRetard PE (0,08%), позволяет в широких пределах замедлить начало и конец схватывания гипсоцементных смесей (до 45 мин и 47 мин, соответственно), с повышением предела прочности при сжатии затвердевшего КГВ: через 2 часа – с 5,9 МПа до 8,1 МПа, через 7 суток – с 14,6 МПа до 37,3 и в 28 суток – с 23 МПа до 45,4 МПа

На основе разработанного КГВ были подобраны составы мелкозернистых бетонов (МЗБ) в соотношениях по массе 1:1, 1:2, 1:3 (КГВ: наполнитель) (рис.2).

Таблица 3 – Влияние химических добавок на свойства КГВ (распływ 120 ±5 мм)

№ п/п	Вид добавки	Добавкамасс. %	В/Вяж	Сроки схватывания., мин-с		Rсж, МПа, через			Кр
				начало	конец	2 ч	7 сут	28 сут	
1	Без добавки	—	0,43	8-00	9-30	5.9	14.6	23,0	0,56
2	MELFLUX 5581 F	0,3	0.22	8-00	9-30	6,4.	28.3	39,5	0,81
3	Plast Retard PE	0,08	0,41	45-00	48-00	4,4	18.3	23.6	0,60
4	Melflux 5581 F (0,3%)+ Plast Retard PE (0,08%)		0,24	45-00	47-00	8,1	37,3,	45,4	0,83

(60:20:20 – гипс: цемент :БЛ, соответственно).

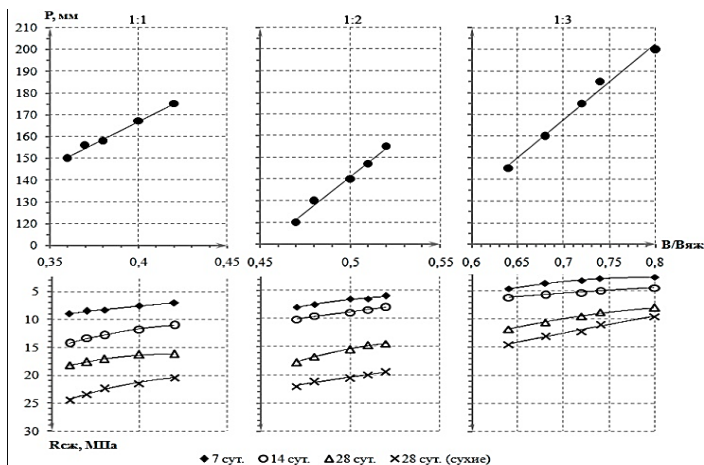


Рис. 2 Зависимость подвижности и прочности при сжатии затвердевших растворов смесей на КГВ с минеральной добавкой бетонного лома от В/Вяз отношения

КГВ и растворы на их основе характеризуются новым уровнем технологических и технических показателей и отличаются улучшенными эксплуатационными свойствами. Они могут применяться и при отрицательных температурах благодаря быстрому схватыванию и твердению, что позволяет ходить по стяжкам уже через 1–2 часа, а также достаточно большой теплоте гидратации, что позволяет работать с такими смесями круглогодично. Применение модифицирующих добавок позволяет регулировать сроки схватывания и жизнеспособность смесей в широких пределах. Стяжки практически не дают усадки, имеют высокую трещиностойкость.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гипсовые материалы и изделия (производство и применение) / Под ред. А.В. Ферронской. – М.: АСВ, 2004 – 488 с.
2. Коровяков В.Ф. Сухие строительные смеси для полов // Стройпрофиль. – 2004 – №7. – С.16-20.
3. Рапина К.А. Гидрато- и структурообразование гипсовых вяжущих, используемых для устройства самонивелирующихся стяжек полов // Материалы к 47-му международному семинару по моделированию и оптимизации композитов – МОК'47. – Одесса: Астропринт, 2008 – С.86-87.

4. Баженов Ю.М., Коровяков В.Ф., Денисов Г.А. Технология сухих строительных смесей: Учебное пособие. Издательство АСВ, 2011 - 112 с.

5. Кашибадзе Н.В., Загороднюк Л.Х., Стрекозова М.П. Разработка и оптимизация свойств сухих строительных смесей для наливных полов с использованием шлаков // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2009. – №3. С.89-95.

6. Чернышева Н.В., Агеева М.С., Эльян Исса Жамал Исса, Дребезгова М.Ю. Влияние минеральных добавок различного генезиса на микроструктуру гипсоцементного камня // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2013 –. № 4. С. 12 – 18.

7. Дребезгова М.Ю., Чернышева Н.В., Шаталова С.В. Композиционное гипсовое вяжущее с многокомпонентными минеральными добавками разного генезиса // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2017 –. № 10. – С. 27 – 34.

8. Отман Азми С.А., Чернышева Н.В., Дребезгова М.Ю., Коваленко Е.В., Масалитина С.В. Состав и свойства композиционного гипсового вяжущего повышенной водостойкости // Строительные материалы. – 2023. – № 5 . С. 81–88.

**УДК 699.865**

***Гарифянова Л.А., Якушев Н.М.***

***Научный руководитель: Кислякова Ю.Г., канд. пед. наук, доц.***

***Ижевский государственный технический университет  
имени М. Т. Калашникова, г. Ижевск, Россия***

## **ОБЗОР РЫНКА И СТОИМОСТИ УТЕПЛИТЕЛЯ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ЗДАНИЯ**

Утепление промышленных зданий, как правило, происходит еще на этапе строительства. Но если в ходе эксплуатации или начало нового производственного цикла потери тепла увеличиваются и это критически влияет на само производство, то необходимо задуматься об утеплении помещений.

Основным способом утепления больших зданий и сооружений является теплоизоляция этих объектов с внешней, либо с внутренней стороны. Современный рынок строительных материалов предлагает огромное количество видов теплоизоляции различного назначения и свойств. Среди самых популярных материалов выделяются минеральная вата, пенополиуретан и пенополистирол. Они

обеспечивают надежную защиту здания от промерзания и позволяют эксплуатировать его в разных климатических условиях.

По данным маркетинговых исследований в 2008 г. начался рост производства, но неравномерный по группам изделий, например, выпуск стекловолна и экструдированного полистирола вырос на 26% и 25%, а каменной ваты, наоборот, снизился на 8% [1]. Однако в I квартала 2009 г на объем продукции сказалось падение строительства во время и после кризиса. По итогам объем выпущенной продукции снизилось на 10–15% по сравнению с I кварталом 2008 г.

Аналогичная ситуация произошла во второй половине 2014 года и до 2016 года на спрос на теплоизоляционные материалы серьезное влияние оказал экономический спад в России. Но уже в 2017 году ситуация постепенно начинает стабилизироваться [2].

С 2017 года основными сегментами теплоизоляционных материалов являются каменная вата (45% потребления), стекловата (24% потребления), пенопласт (17% потребления), экструзионный пенополистирол (13%), PIR (0,5%) [3].

С 2021 года наблюдается резкий подъем уровня производства теплоизоляционных материалов в связи с отложенным спросом на них: так, по итогу 5 месяцев 2021 года производство минеральных теплоизоляционных материалов и изделий составило 18 432 тыс. м<sup>3</sup>, что на 47% превышает объем выпуска теплоизоляционных материалов за аналогичный период предыдущего года (12 517 тыс. м<sup>3</sup> по итогу 5 месяцев 2020 года) [4].

С января 2022 года в России было произведено на 7% больше показателя 2021 года. Больше половины произведенной в 2022 году минеральной ваты пришлось на ЦФО – 53% [5]. Пик производства минеральных теплоизоляционных материалов приходится на летние месяцы, преимущественно на июль. Заметно снижаются объемы производства зимой вместе со снижением интенсивности строительства.

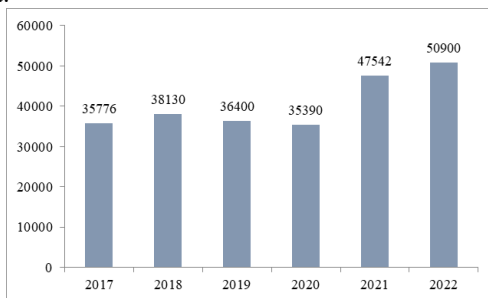


Рис. 1 Динамика производства минеральной ваты в России, тыс.м<sup>3</sup>

Средняя цена на внутреннем рынке по России на минеральные тепло- и звукоизоляционные материалы и изделия в рассмотренном периоде ежегодно увеличивалась: прирост в 2018 году составил 14,7%, и цена равнялась 1 364 руб/м<sup>3</sup>, в 2019 году стоимость увеличилась на 15,5% и на 4,8% в 2020 году и составила 1 651 руб/м<sup>3</sup>, однако, по итогу 5 месяцев 2021 года стоимость минеральных тепло- и звукоизоляционных материалов и изделий была ниже.

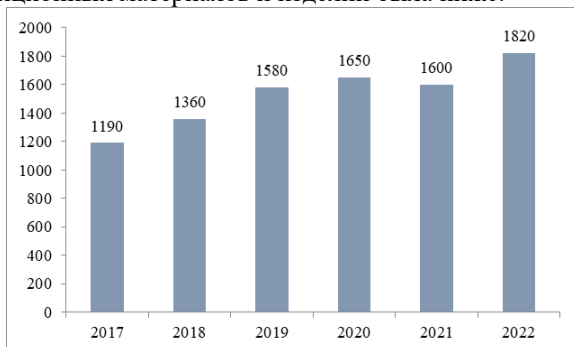


Рис. 2 Динамика цен минеральных тепло- и звукоизоляционных материалов и изделий в России, руб./м<sup>3</sup>

Рассматривая динамику средних цен минеральных тепло- и звукоизоляционных материалов по месяцам, можно заметить, что в 2021 году стоимость была ниже, чем в аналогичных периодах предыдущего года, так в январе 2021 года цена сократилась на 9,8% относительно января 2020 года и составила 1 524 руб/м<sup>3</sup>, к марту цена увеличилась и составляла уже 1 629 руб/м<sup>3</sup>, что на 8,1% было ниже цены в аналогичном периоде прошлого года, средняя стоимость минеральных тепло- и звукоизоляционных материалов в мае 2021 года составила 1 744 руб/м<sup>3</sup>, что лишь на 0,8% превысило цену в аналогичном периоде 2020 года [4].

Наибольшая цена наблюдается за первое полугодие 2022 года, она на 17% превышает среднегодовой показатель 2021 года.

Подорожание минеральных теплоизоляционных материалов объясняют резким спросом. Строительный бум, который начался в 2020-м (связан с пандемией и ростом интереса к индивидуальному жилому строительству), стал причиной дефицита производственных мощностей [6].

На сегодняшний момент в России реализуется более 10 инвестиционных проектов развития и/или организации производства высококачественных теплоизоляционных материалов. Согласно прогнозу, к 2025 году снижение объема производства минеральных



теплоизоляционных материалов по сравнению с 2021 годом достигнет 4%. Выручка отрасли может сократиться на 27%, однако уже к 2024 году выручка отрасли может восстановиться и превысить значение 2021 года. В 2025 году ожидаемая выручка от продаж минеральной теплоизоляции прогнозируется на 42% больше показателя 2021 года [5].

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Максименко А.Т. Анализ рынка теплоизоляционных материалов в России / А.Т. Максименко, Е.В. Казмирова // В сборнике: Современные технологии: актуальные вопросы, достижения и инновации. Сборник статей XIII Международной научно-практической конференции: в 2 частях. — 2018. — С. 85-87.

2. Зиганшин А.М. Динамика развития рынка теплоизоляционных материалов в РФ / А.М. Зиганшин // Экономика и социум. — 2018. — № 2 (45). — С. 214-220.

3. Попов Г.П. Анализ рынка теплоизоляционных материалов / Г.П. Попов // Инженерные исследования. — 2021. — № 3 (3). — С. 3-8.

4. Богомолов В. Российский рынок минеральных теплоизоляционных материалов в 2017 – 5 мес. 2021 гг. / Богомолов В., Лебедева А. // Журнал «Промышленник Сибири». — 2021.

5. Маркетинговое исследование российского рынка минеральной теплоизоляции // ЭКЦ «ИНВЕСТ-ПРОЕКТ». — 2022 г. — С. 86.

6. ООО «ФОРУМХАУС» : [сайт]. - 2022. - URL: <https://www.forumhouse.ru/journal/articles/10562-uteplitel-podorozhal-na-90-230-stroiteli-pozhalovalis-v-fas> (дата обращения: 01.05.2023). - Текст : электронный.

УДК 691

*Гришина Э.П.*

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

## РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВОВ МАСС ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА НА ОАО «ОСМиБТ»

На сегодняшний день на рынке строительных материалов представлен большой ассортимент продукции. Широкое применение

находят такие материалы, как кирпич, керамические и легкобетонные камни. Они отличаются обширным спектром преимуществ по сравнению со своими аналогами.

Лицевой кирпич — это кирпич, который предназначен для наружной отделки зданий и сооружений. Он отличается от обычного кирпича более аккуратной обработкой поверхности, а также более точными размерами и формой. Лицевой кирпич обладает разнообразием цветов и фактур, что позволяет создавать разнообразные дизайнерские решения. Он часто используется в строительстве жилых домов, офисных зданий, торговых центров и других объектов. Кроме того, лицевой кирпич обладает высокими техническими характеристиками, такими как прочность, морозостойкость и огнестойкость [1].

В настоящее время на рынке представлено множество различных видов лицевого кирпича, от классических красных и бежевых до современных серых и черных оттенков. Выбор цвета и фактуры зависит от индивидуальных предпочтений заказчика и архитектурного стиля здания.

Кирпичная промышленность развивается на протяжении многих лет из-за широкой доступности глины, которая является основным материалом для строительства прочных и долговечных зданий и сооружений. Эта отрасль внесла значительный вклад в основные фонды промышленности строительных материалов, особенно в таких регионах, как Белгород, где добывается большое количество сырья [2].

Данная работа посвящена исследованию керамических масс для производства лицевого кирпича, состоящих из смеси глинистого сырья Андреевского месторождения, глины Городищенского месторождения, а также новиковского песка.

Глина Городищенского месторождения относится к группе умереннопластичного глинистого сырья (число пластичности 12,2); глина Андреевского месторождения - к группе среднепластичного глинистого сырья (число пластичности 20,5); коэффициент чувствительности к сушке Городищенской глины – 0,1, Андреевской – 0,06; по огнеупорности: глина Городищенская - легкоплавкая (огнеупорность 1090-1205°C); глина Андреевская - огнеупорная (огнеупорность 1365-1670°C). Химический состав материалов, используемых в работе, приведен в табл. 1.

Таблица 1 – Химический состав сырьевых материалов

Наименование материалов	Содержание оксидов, масс. %								
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	п.п.п.
Глина Городищенская	66,3	11,85	4,73	0,77	1,20	2,44	4,39	1,09	7,24
Глина Андреевская Техник 4	70,0	23,0	2,0	1,5	0,5	0,4	0,4	2,0	7,2
Песок Новиковский	94,38	2,59	0,41	0,41	0,26	0,48	0,17	0,1	6,9

Для проведения исследований были сформованы образцы в форме кубиков размером 30х30х30 мм методом пластического формования. В процессе экспериментальных исследований определялись воздушная, огневая и полная усадка, прочность на сжатие, другие физико-механические свойства образцов после обжига. С целью исследования влияния добавки песка на свойства формовочных масс и обожженного полуфабриката были приняты следующие соотношения компонентов сырьевой смеси (табл. 2).

Таблица 2 – Соотношения сырьевых компонентов в экспериментальных составах

Материал	Составы масс, %				
	1	2	3	4	5
Андреевская глина	75	75	75	75	75
Городищенская глина	25	25	25	25	25
Песок Новиковский (сверх 100%)	10	15	20	25	30

На рис. 1 показано влияние введения добавки песка и изменения температуры обжига на усадку экспериментальных образцов. С увеличением температуры обжига в целом наблюдается уменьшение значений полной усадки. Образцы, изготовленные из заводского состава, показали значение полной усадки, равное 6,23, находящееся в оптимальном диапазоне значений для данной температуры обжига (1050°С) без существенных отклонений от значений экспериментальных образцов.

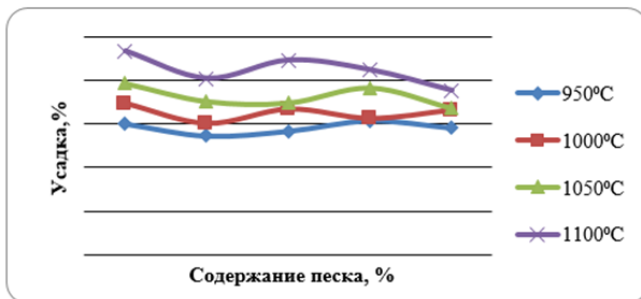


Рис. 1 Изменение полной усадки образцов в зависимости от содержания песка при различных температурах обжига

По результатам исследования было выявлено, что в диапазоне температур от 950 до 1050°C, а также при температуре 1100 °С, происходит плавное уменьшение значений водопоглощения (рис 2) и пористости для образцов, содержащих до 20% песка в сырьевой смеси.

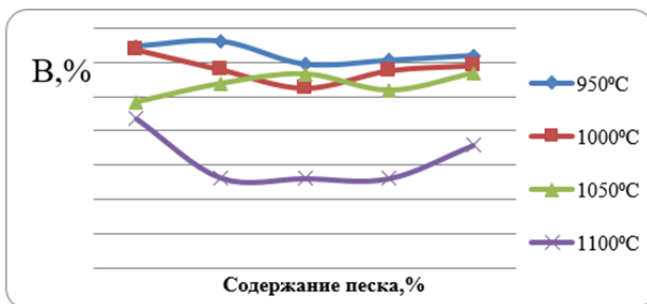


Рис. 2 Зависимость водопоглощения от содержания песка при различных температурах обжига

Как следствие, можно наблюдать увеличение плотности изделий (рис 3). Образцы, обожженные при 1050 °С, наоборот, показали уменьшение плотности при прочих равных условиях. При дальнейшем увеличении содержания песка во всех случаях наблюдается стабилизация изучаемых показателей с незначительными отклонениями. Значения водопоглощения, пористости и плотности заводского состава составили соответственно 8,06%, 17,32%, и 2,15 г/см<sup>3</sup>, что также не имеет существенных отличий от экспериментальных составов, но водопоглощение образцов заводского состава имеет меньшее значение, чем у экспериментальных образцов.

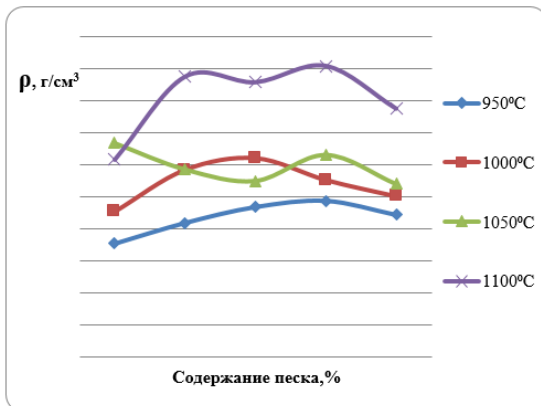


Рис. 3 Зависимость плотности обожженных образцов от содержания песка при различных температурах обжига

Все образцы, обожженные при температурах от 950 до 1050 °С, имеют водопоглощение не менее 8% и не более 14%, что соответствует ГОСТ 530 – 2012 «Кирпич и камень керамические»

Средние значения результатов прочности по составам и температурам обжига представлены на рис. 4.

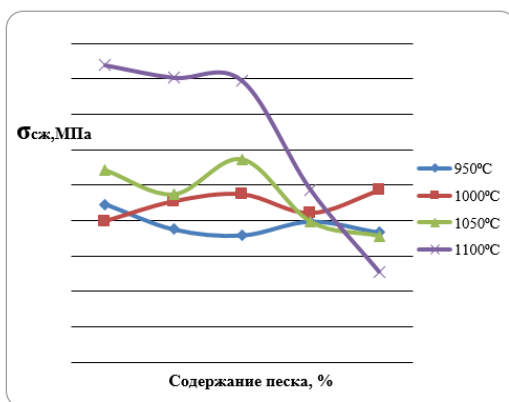


Рис. 4 Изменение прочности при сжатии образцов от содержания песка при различных температурах обжига

В ходе эксперимента было выявлено, что увеличение содержания песка приводит к некоторому снижению прочности на сжатие, однако образцы заводского состава показали средний результат 24,7 МПа, что

уступает значениям экспериментальных составов. Таким образом, данные составы масс пригодны для изготовления керамического лицевого кирпича марок М100 – М175, температура обжига которых колеблется в пределах от 950 до 1050°С.

Однако, при выборе материала для строительства необходимо учитывать не только его технические характеристики, но и экологическую безопасность, устойчивость к воздействию окружающей среды и энергоэффективность. Например, использование кирпича из переработанных материалов или экологически чистых материалов может быть более предпочтительным в долгосрочной перспективе.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Мороз, И. И. Технология строительной керамики : учебное пособие / И. И. Мороз. - 3-е изд., перераб. и доп. - Киев : Выща школа, 1980. - 384 с.

2. Баранов Е. В. Особенности получения керамического кирпича светлых тонов / Е. В. Баранов, Т. И. Шелковникова, А. В. Хорина // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. - 2016. - № 7. - С. 18-21.

3. Шакурова Н.В., Сыса О.К. Влияние способа формования на микроструктуру и морозостойкость керамического кирпича // Сб. научных трудов Международной научно-практической конференции, посвященной 65-летию БГТУ им. Шухова «Наукоемкие технологии и инновации (XXIII научные чтения). Белгород: Изд-во БГТУ, 2019.

**УДК 691.332**

*Гунба Б.В., Гунина Ю.А., Солдатов П.В.*

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

*Воронежский государственный технический университет,  
г. Воронеж, Россия*

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗЕРНОВОГО СОСТАВА ЗАПОЛНИТЕЛЯ ПО КРИТЕРИЮ МАКСИМАЛЬНОЙ ПЛОТНОСТИ УПАКОВКИ**

Проблема выбора рационального зернового состава заполнителей связана с возможностью экономии дорогого вяжущего (цемента) без потери прочности бетона. Как показано в работе [1], количество цементирующего вещества в бетонах и растворах определяется объемом пустот заполнителей и их суммарной поверхностью. Для

заполнения пустот нередко расходуется более 60 % вяжущего. Если пленочная часть вяжущего активно участвует в формировании эксплуатационных свойств искусственного конгломерата, то доля вяжущего, израсходованного на заполнение пустот, практически выполняет механические функции заполнителя. Поэтому уменьшение пустотности заполнителей во многом определяет технико-экономическую эффективность производства изделий.

Объем пустот заполнителя зависит от соотношения зерен различной величины, так как пустоты, образующиеся при любом типе упаковки, заполняются зернами меньших размеров, уменьшая суммарную пустотность и увеличивая плотность [1, 2]. Можно выделить следующие условия получения плотной структуры [2]: размер зерен следующей фракции должен быть значительно меньше, чем размер пустот, образованных зернами предыдущих фракций; для смеси из двух фракций эффект повышения плотности упаковки растет с увеличением соотношения между максимальным и минимальным диаметрами  $d_{\max}/d_{\min}$ : 3...5 – незначительный, 8...10 – заметный, >10 – явный. Соотношение крупной и мелкой фракций должно быть примерно 7:3.

Эти условия легко выполнить для обычного крупнозернистого бетона на щебне, но сведения о возможности уменьшения пустотности заполнителя в мелкозернистых бетонах отсутствуют. Одним из перспективных заполнителей для мелкозернистого бетона являются отсеvy дробления - отход производства гранитного щебня, составляющий до 25...30 % объема выпускаемой продукции, что в масштабах России означает около 11 млн. м<sup>3</sup> ежегодно [3]. В связи с этим, актуальной проблемой является их строительно-технологическая утилизация в качестве заполнителя мелкозернистого бетона.

Целью данной работы являлся подбор гранулометрического состава гранитного отсева, обеспечивающего его максимально плотную упаковку. Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Испытания фракций гранитного отсева.
2. Подбор оптимального состава смеси фракций по критерию минимальной пустотности.
3. Оценка прочности бетона на заполнителях разного гранулометрического состава и плотности упаковки.

Методика исследований. Гранитный отсев производства ОАО "Павловск Неруд" (г. Павловск Воронежской обл.) рассеивали на стандартном наборе сит с получением фракций, представленных в табл.

1. Для каждой фракции определяли насыпную плотность  $\rho_n$  и

межзерновую пустотность  $\Pi_{мз}$  стандартными методами, и рассчитывали средний диаметр частиц каждой фракции по формуле, предложенной И.Н. Ахвердовым [4]:

$$d_{cp} = \frac{2d_1 2d_2}{d_1 + d_2}, \quad (1)$$

где  $d_1$  и  $d_2$  - наибольший и наименьший размер зерен фракции.

Плотность гранитных отсеков в зерне  $\rho_3$  оценивали пикнометрическим методом. Погрешность этого метода сравнительно невелика в связи с незначительной пористостью частиц гранита (порядка 1 %). Результаты испытаний и расчетов представлены в табл. 1.

Таблица 1 - Характеристика фракций гранитного отсева

Фракция отсева, мм	$\rho_n$ , Г/см <sup>3</sup>	$\rho_3$ , Г/см <sup>3</sup>	$d_{cp}$ , мм	$\Pi_{мз}$ , %
5..10	1388	2680	6,67	48
2,5..5	1403		3,33	48
1,25...2,5	1393		1,67	48
0,63...1,25	1378		0,84	49
0,315...0,63	1718		0,42	36
0,14.0,315	1743		0,194	35
0,63...1	1450		0,77	46

В качестве показателя гранулометрического состава двухфракционного заполнителя использовали коэффициент наполнения  $K_n$  - соотношение объема мелкой фракции  $V_{Фр2}$  и объема межзерновых пустот крупной фракции  $V_{ПФр1} = V_{Фр1} \times \Pi_{Фр1}$ :

$$K_n = \frac{V_{Фр2}}{V_{ПФр1}}, \quad (2)$$

где  $\Pi_{Фр1}$  - пустотность крупной фракции.

В качестве крупной фракции (Фр1) была принята фракция 5-10 мм. При ее постоянном объеме  $V_{Фр1} = 2$  л (расход  $M_{Фр1} = 2,776$  кг) мелкие фракции (Фр2) вводили из условия получения  $K_n = 0,5, 0,75$  и 1 (табл. 2). Фракции отвешивали в заданном соотношении и загружали в полочный барабан, где перемешивали в течение 10 мин. После этого смесь выгружали, определяли ее насыпную плотность и рассчитывали пустотность (табл. 2).



Таблица 2 - Результаты определения пустотности двухфракционного заполнителя

№	Фр2, мм	d <sub>ср1</sub> :d <sub>ср2</sub>	K <sub>н</sub>	M <sub>фр2</sub> , кг	ρ <sub>н</sub> , кг/м <sup>3</sup>	П <sub>мз</sub> , %	M <sub>фр1</sub> : M <sub>фр2</sub>
1	1,25-2,5	4	0,5	0,697	1,67	37,7	3,98
2	- // -	4	0,75	1,045	1,725	35,6	2,66
3	- // -	4	1	1,393	1,74	35,1	1,99
4	1,0-1,25	6	0,5	0,7	1,69	37	3,97
5	- // -	6	0,75	1,05	1,79	33	2,64
6	- // -	6	1	1,4	1,85	32,3	1,98
7	0,63-1,25	8	0,5	0,75	1,75	34,7	3,7
8	- // -	8	0,75	1,075	1,84	31,3	2,63
9	- // -	8	1	1,41	1,89	29,4	1,97

Установлено, что минимальную пустотность имеет двухфракционная смесь № 9 с соотношением между диаметрами d<sub>ср1</sub>:d<sub>ср2</sub> = 8 и K<sub>н</sub> = 1 (соотношение по расходам крупной и мелкой фракции 1:0,5).

Для изучения влияния гранулометрического состава заполнителя на свойства мелкозернистого бетона изготавливали три серии образцов кубов 5×5×5 см по 6 образцов в серии. Состав бетонной смеси рассчитывали методом абсолютных объемов при В/Ц=0,5. Расход гранитного заполнителя Γ, кг/л, определяли по формуле:

$$\Gamma = V_{abc} \cdot \rho_n / (1 - П_{мз}), \quad (3)$$

где  $V_{abc} = V_n \cdot (1 - П_{мз})$  и  $V_n$  – объём заполнителя в абсолютно плотном и насыпном состоянии соответственно, л.

Расход цемента в кг/л определялся по формуле:

$$\text{Ц} = \frac{(1 - V_s) \cdot \rho_c}{1 + 0,5 \rho_c}, \quad (4)$$

где  $\rho_c$  – истинная плотность цемента, принимаем  $\rho_c = 3,1$  кг/л.

Первая (контрольная) серия изготавливалась с заполнителем фракции 2,5-5 мм, вторая – с заполнителем оптимального состава (смесь № 9 табл. 2) и таким же расходом компонентов, третья – с расходом компонентов согласно пустотности. Смесь перемешивали вручную до однородной консистенции, помещали в формы и уплотняли на виброплощадке. Через 28 суток твердения в нормальных условиях образцы испытывали на прочность при сжатии. Результаты испытаний представлены в табл. 3 и на рис. 1.

Таблица 3 - Результаты испытаний образцов бетона

№ серии	Расход компонентов, кг/л			R <sub>сж</sub> , МПа	R <sub>сж</sub> /Ц
	Ц	Г	В		
1	0,615	1,32	0,31	39,4	64
2	0,615	1,32	0,31	36,57	59
3	0,41	1,78	0,21	45,41	110

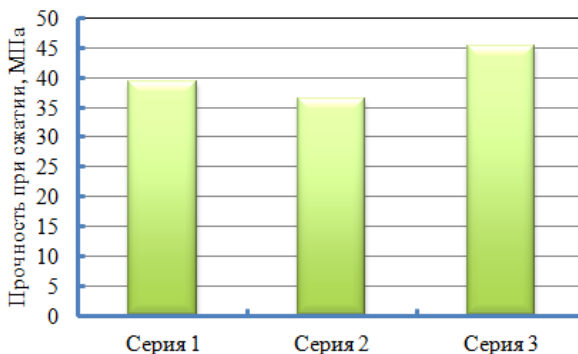


Рис. 1 Результаты испытаний образцов на прочность при сжатии

Установлено, что прочность бетона 2 серии оказалась ниже, чем контрольного состава, а третьей – выше на 12,5 %. При этом эффективность использования цемента по относительной прочности на кг цемента выросла почти вдвое (табл. 3). Это объясняется тем, что в 3 серии была получена оптимальная структура [5], в которой все межзерновое пространство заполнителя было заполнено цементным камнем. В структуре бетона 2 серии цементного камня было слишком много, зерна заполнителя оказались раздвинутыми, и это не только не повысило прочность, но наоборот, сделало процесс продвижения трещины менее энергоемким [6].

В ходе работы был подобран оптимальный гранулометрический состав двухфракционной смеси гранитного отсева с наименьшей пустотностью, что позволило на 12,5 % увеличить прочность мелкозернистого бетона с использованием меньшего на 36 % количества цемента. Полученные результаты могут быть использованы для решения проблемы эффективной строительно-технологической утилизации отсева дробления гранитного щебня.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лесовик, В.С. Повышение эффективности производства

строительных материалов с учетом генезиса горных пород / В. С. Лесовик. – М.: АСВ, 2006. - 524 с.

2. Горбунов, Г.И. Основы строительного материаловедения (состав, химические связи, структура и свойства строительных материалов): Учеб. пособие / Г.И. Горбунов. – М.: АСВ, 2002. - 168 с.

3. Макеев, А. И. Научно-техническое обоснование технологии глубокой переработки отсевов дробления гранитного щебня / А. И. Макеев // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2011. – № 3(23). – С. 56-67.

4. Ахвердов И.Н. Основы физики бетона / И.Н. Ахвердов. – М.: Стройиздат, 1981. – 464 с.

5. Макеев, А. И. Пылевидная фракция отсевов дробления гранита как носитель микронаночастиц, участвующих в структурообразовании цементных бетонов / А. И. Макеев, Е. М. Чернышов // Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. – 2018. – Т. 10, № 4. – С. 20-38.

6. Чернышов, Е. М. К моделированию напряженного состояния структурно-неоднородных конгломератных композитов в строительных конструкциях / Е. М. Чернышов, А. И. Макеев // Международный журнал по расчету гражданских и строительных конструкций. – 2015. – Т. 11, № 2. – С. 160-170.

### **УДК 691.3**

*Данилов Д.Ю., Чашин Д.Ю.*

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

*Белгородский государственный технологический университет*

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

## **ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ – ПРИЧИНА ПРЕЖДЕВРЕМЕННОГО РАЗРУШЕНИЯ БЕТОНА**

В настоящее время вопрос долговечности строительных изделий и конструкций стоит как никогда остро. Поэтому важно учитывать все факторы, влияющие на работу бетонных конструкций в период их эксплуатации, в том числе состояние окружающей среды и наличие агрессивных веществ в контакте с бетоном. Хотя объемы агрессивных выбросов из различных источников имеют в последние годы тенденцию к снижению [4], они все равно оказывают значительное влияние на эксплуатационные показатели, так как способствуют ускоренной

коррозии строительных конструкций, как металлических, так и бетонных.

Одним из вредных факторов, влияющим на загрязнение окружающей среды, являются выбросы в атмосферу. Источниками выбросов являются как стационарные (предприятия, промышленные сооружения и пр.), так и передвижные (транспортные средства всех типов). Выбросы (газы, пыль) этих источников опасны тем, что, попадая в атмосферу, они образуют своеобразные облака, проходя через которые, атмосферные осадки превращаются в жидкие среды, близкие по составу к растворам кислот [5].

Другим опасным фактором является повышение уровня грунтовых вод под существующими зданиями и сооружениями. Конденсация влаги и инфильтрация поверхностных вод приводит к тому, что уровень грунтовых вод становится выше, тем самым делая условия эксплуатации конструкций неблагоприятными [5]. В условиях жаркого и сухого климата степень минерализации грунтовых вод более высокая. В грунтовых водах содержание сульфатов не более 60 мг/л. Но в некоторых случаях концентрация сульфатов может достигать 4000-5000 мг/л. В России площадь распространения засоленных грунтов составляет 2200 тыс. км<sup>2</sup>, что более 10% площади страны, в основном это территории Кавказа, Крыма и Западно-Сибирской низменности. Засоленность относится к сульфатным, хлоридным и иным типам [2]. По отношению к бетонам наибольшую опасность представляют грунты смешанного карбонатно-хлоридно-сульфатного засоления.

Преждевременное разрушение строительных конструкций может происходить за счет неконтролируемого стока промышленных вод. Все осложняется тем, что состав сточных вод определяют, как правило, ориентировочно, что вызывает трудность при оценке химического воздействия на бетон. В агрессивной среде сточных вод очистных сооружений железобетонные конструкции подвергаются коррозии выщелачивания, углекислотной и биологической.

Большой проблемой является сульфатная коррозия (рис. 1), которая представляет собой наиболее сложный вид химической коррозии цементов. Она происходит в результате химического взаимодействия сульфатов с гидроксидом кальция и алюминатными составляющими цементного камня. Как результат, образуется  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , имеющий свойство накапливаться в порах бетонного тела, приводя к его постепенному разрушению [1, 3]. Кристаллизуясь, гидросульфат алюмината кальция увеличивается в размерах в 4,8 раза и тем самым давит на стенки пор вызывая растрескивание цементного камня.



Рис. 1 Результат сульфатной коррозии бетона [10].

Большое влияние на образование этtringита оказывает концентрация  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  в порах цементного камня. При концентрации  $\text{CaO} < 0,5\text{--}0,6$  г/л кристаллы этtringита образуются не только вблизи поверхности алюминатных частиц, но и в свободном поровом пространстве, что не только не представляет большой опасности, но даже может иметь положительное влияние за счет укрепления цементных систем.

Таким образом для повышения сульфатостойкости бетона нужно понизить концентрацию  $\text{CaO}$  до уровня 0,5 г/л и менее. Сделать это можно за счет ввода в цемент активных минеральных добавок, поглощающих свободный гидроксид кальция. Типы сульфатостойкого цемента представлены в табл. 1. Исследования, в которых показательна эффективность сульфатостойких цементов, представлены в [6,7,8].

Таблица 1 – Типы сульфатостойкого цемента

Наименование цемента	Тип цемента	Применяемые классы и под-классы прочности	Разрешенные минеральные добавки - основные компоненты
Сульфатостойкий портландцемент	ЦЕМ I СС	32,5Н; 32,5Б; 42,5Н; 42,5Б	не допускаются
Сульфатостойкий портландцемент с минеральными добавками	ЦЕМ II/A-III СС ЦЕМ II/B-III СС	32,5Н; 32,5Б; 42,5Н	доменный гранулированный шлак
	ЦЕМ II/A-II СС		пуццолана
	ЦЕМ II/A-K(III-II) СС ЦЕМ II/A-K(III-MK) СС		смесь шлака с пуццоланой или микрокремнеземом

Сульфатостойкий шлакопортланд- цемент	ЦЕМ III/A CC	32,5Н; 32,5Б; 42,5Н	доменный гранулирован- ный шлак
---	--------------	------------------------	---------------------------------------

Существует множество типов бетонных конструкций, изготовленных на основе малоцементных бетонов, расположенных ниже отметки земли в непосредственном контакте с грунтами (дорожные одежды, подбетонные подготовки под плитные и ленточные фундаменты, основания под емкостные сооружения), поэтому важно учитывать этот фактор, ведь нередко грунты представляют собой агрессивные для бетона среды [1]. Конструкции из малоцементных («тощих») бетонов особенно подвержены преждевременному разрушению из-за повышенной по сравнению с традиционными бетонами пористостью.

Таким образом, на практике существует большое количество агрессивных факторов, влияющих на долговечность бетонных конструкций. Среди этих факторов особое место занимают химически агрессивные среды, которые вызывают сульфатную коррозию бетона, одну из наиболее опасных по отношению к бетонным изделиям и конструкциям.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

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

2. Каюмов, А.Д. Дорожные насыпи из засоленных грунтов и методы улучшения их расчетных характеристик / Каюмов А.Д., Худайкулов Р.М., Мирзаев Т. // Транспорт шёлкового пути. – 2019. – № 3-4. – с. 77-84

3. Волошина, Н. А. Механизм сульфатной коррозии и способы защиты бетона // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. – 2007. – № 17. – С. 229-231

4. Марчук, Н. А. Динамика выбросов загрязняющих атмосферу веществ стационарными и передвижными источниками / Н. А. Марчук, А. Л. Куленцан // Modern Science. – 2021. – № 12-2. – С. 373-376.

5. Шевяков, В.П Проектирование защиты строительных конструкций химических предприятий от коррозии. – М.: Стройиздат, 1984. – 168 с.

6. Рахимбаев Ш.М., Тольпина Н.М. Сравнительная стойкость бетонов с заполнителем различных размеров и без него// Вестник БГТУ

им. В.Г. Шухова. 2017. №11. С. 43-47.

7. Рахимбаев Ш.М., Тольпина Н.М., Хахалева Е.Н. Оптимизация процесса выбора типа цемента для изделий, эксплуатирующихся в агрессивных средах // Вестник БГТУ им. В.Г.Шухова. 2018. №3. С.18-23.

8. Сафаров, К. Б. Обеспечение долговечности гидротехнических бетонов в агрессивных условиях эксплуатации / К. Б. Сафаров, В. Ф. Степанова // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Материалы. Конструкции. Технологии. – 2019. – № 1. – С. 22-34.

9. Тольпина Н.М., Щигорева Е.М., Головин М.В., Щигорев Сульфатостойкость бетона на химически активном заполнителе из нефелинсодержащих пород // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. № 10. С. 21-27.

10. Как защитить бетон от природных воздействий и максимально продлить срок его эксплуатации: [Электронный ресурс] // Cemmix. URL: <https://cemmix.ru/clauses/kak-zaschitit-beton-ot-prirodnikh-vozdeystviy-i-ma> (Дата обращения: 11.04.2023)

### УДК 691.3

*Данилов Д.Ю., Чашин Д.Ю., Чуев С.С.*

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

## **СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БЕТОНОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РАСХОДА ВЯЖУЩЕГО**

При выполнении строительных работ любого уровня использование высококачественных бетонов в некоторых случаях может быть нецелесообразным по экономическим или техническим причинам. В таких случаях часто используют «тощие» бетоны со сниженной долей цемента и увеличенной долей мелкого и крупного заполнителей. Тощие или малоцементные бетоны соответствуют классам прочности от В 5 до В 20. В соответствии с этим их используют в неотчетственных конструкциях, которые не несут большой нагрузки. Они могут применяться в различных областях строительства: для создания дорожных одежд [1, 2]; оснований под бордюры; используются как подбетонные подготовки под плитные и ленточные фундаменты [3]; для устройства оснований под емкостные сооружения (бассейны, резервуары), заделывания отверстий и т.д. Инновационным

является применение укатанных малоцементных бетонов при возведении плотин [4, 5, 6]. Применение малоцементных бетонов связано с возможностью производства бетонной смеси на месте производства работ, использованием вторичных материалов.

Однако в малоцементных бетонных смесях суперпластификаторы малоэффективны, в том числе гиперпластификаторы последнего поколения на поликарбоксилатной основе, они оказывают слабое водоредуцирующее или пластифицирующее действие. Малоцементные бетонные смеси достаточно сложно транспортировать бетононасосами и уплотнять. В этой связи малоцементные бетонные смеси с расходом цемента менее 250 кг/м<sup>3</sup> проблематично использовать, что приводит к существенным перерасходам портландцемента, хотя доля низкомарочных бетонов достаточно значительная.

Данная статья посвящена исследованию влияния расхода вяжущего на физико-механические характеристики бетонов и эффективность действия суперпластификатора.

Для исследования были изготовлены образцы размером 2,5x2,5x10 см из составов с разными соотношениями цемента и заполнителя от 1:5 до 1:9. После 14 и 28 суток твердения в воде были проведены испытания образцов на прочность на гидравлическом прессе ПГМ-100МГ4. Были использованы материалы: портландцемент ЦЕМ I 42,5 Н ЗАО «Осколцемент»; суперпластификатор «Реопласт ПКЭ 3392» (ТУ 5745-002-25842763-2014); кварцевый песок  $M_{кр}=0,85$  (ГОСТ 8736–2014); гранитный щебень фр. 3-8 мм (ГОСТ 8267-93).

Результаты исследований приведены на рис. 1.

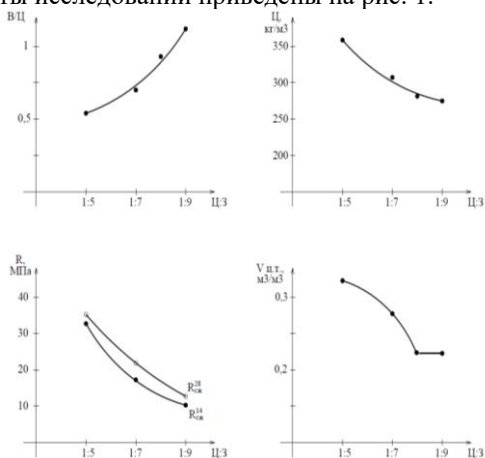


Рис. 1 Изменение технических свойств бетонной смеси и бетона в зависимости от соотношения цемента к заполнителю



По представленным данным можно увидеть, что при увеличении доли вяжущего от 1:9 до 1:7 в составе смеси водопотребность уменьшается на 37,5% (с 1,12 до 0,7), при этом 7-суточные показатели прочности на сжатие растут с 10,3 МПа до 17,26 МПа, а 28-суточные – с 12,3 МПа до 21,82 МПа. При снижении расхода вяжущего в составах от 1:7 к 1:5 водопотребность смеси уменьшается менее заметно – на 23% (с 0,7 до 0,54), при этом прочность увеличивается на 44% (с 17,26 МПа до 30,72 МПа) после 7 суток и на 37% (с 21,82 МПа до 34,89 МПа) после 28 суток. Стоит обратить внимание на расход цемента – при снижении его доли с 1:5 до 1:9 расход уменьшается на 37% (с 365 кг/м<sup>3</sup> до 228 кг/м<sup>3</sup>).

Для исследования эффективности суперпластификатора в малцементных смесях были изготовлены образцы с использованием суперпластификатора и без него. Соотношение цемента к заполнителю в обоих составах 1:8. На диаграммах (рис.2) представлены значения водопотребности и прочности на сжатие после 28 суток в данных образцах.

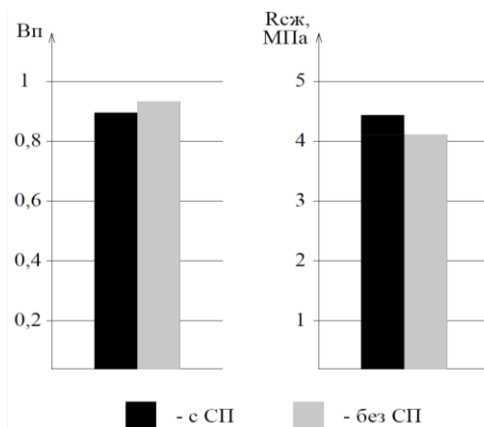


Рис. 2 Влияние суперпластификатора на свойства бетона состава Ц:З=1:8

Результаты исследований показали, что суперпластификатор не сыграл большой роли в малцементном составе. При добавлении СП водопотребность снизилась всего на 4% (с 0,92 до 0,89), при этом прочность слабо возросла приблизительно на 7% (с 4,11 до 4,45 МПа).

Подводя итоги всего вышенаписанного, можно сказать, что увеличение доли вяжущего в составе смеси способствует снижению водопотребности смеси и повышению прочности на сжатие бетона. Суперпластификаторы не показывают достаточную эффективность в

малоцементных бетонах, а значит, недостаточно рентабельны для их применения в бетонах с низким расходом цемента менее 230 кг/м<sup>3</sup>.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Корочкин, А.В. Опыт применения "тощего" бетона в конструкциях жестких и нежестких дорожных одежд / А.В. Корочкин // Строительные материалы. – 2018. – № 7. – С. 20-23.

2. Буренина, О.Н. Модификация "тощих" бетонов для строительства оснований дорожной одежды / О.Н. Буренина, А.В. Андреева, М.Е. Саввинова // Современный мир: опыт, проблемы и перспективы развития – 2016. – Т. 2, № 1. – С. 51-54.

3. Шешеня, Н.Л. Опыт применения защитных мероприятий по повышению несущих свойств слабых грунтов оснований зданий и сооружений / Н.Л. Шешеня // – 2013. – № 10(177). – С. 33-37

4. Рахимбаев Ш.М., Толпыгина Н.М., Карпачева Е.Н. Об эффективности действия суперпластификаторов в мелкозернистых бетонах в зависимости от вида мелкого заполнителя // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. №3. 2010. С. 60-63

5. Патент № 2263741 С2 Российская Федерация, МПК E02B 7/10. плотина из укатанного малоцементного бетона: № 2003125380/03: заявл. 18.08.2003; опубл. 10.11.2005 / В.И. Брызгалов, А.В. Толошинов, В.П. Ягин, И.А. Давыдов; заявитель Открытое акционерное общество "Саяно-Шушенская ГЭС им. П.С. Непорожного".

6. Рахимбаев Ш.М., Толпыгина Н.М. О влиянии знака поверхностного заряда заполнителя на разжижающую способность суперпластификаторов // Известия высших учебных заведений. Строительство. 201. №2. С. 22-26

7. Румянцева В.Е. Особенности процесса сульфатной коррозии бетона в агрессивных средах / В.Е. Румянцева, И.Н. Гоглев, М.Е. Шестеркин [и др.] // Информационная среда вуза (см. в книгах). – 2017. – № 1(24). – С. 69-73.

8. Нетеса, Н.И. Эффективность современных суперпластификаторов в низкопрочных бетонах / Н.И. Нетеса // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна. – 2005. – № 9. – С. 180-183.

## **ОТСЕВ ДРОБЛЕНИЯ КАК АЛЬТЕРНАТИВА ШИРОКО ПРИМЕНЯЕМЫМ ЗАПОЛНИТЕЛЯМ**

В строительстве используются техногенные материалы различного происхождения: шлак; золы; продукты переработки нефтехимии, отсева дробления и т.п. Применение такого рода материала улучшает экологическую обстановку, даёт экономическую выгоду как производителям бетона, потребителям, так и производителям, у которых образуются техногенные материалы. Отсев дробления как один из видов техногенного материала может применяться в качестве заполнителя для бетона, а небольшая составляющая часть отсева – высокодисперсные частицы в качестве порошкообразного компонента вяжущего вещества [1].

Отсев дробления считается отходом производства различных видов щебня [2, 3]. Огромное количество отсева дробления, накопившиеся за долгие годы, негативно влияют на окружающую среду, занимают большие площади земли, которые приносят производителям щебня экономические убытки [4, 5].

Отсевы применяются в строительстве при устройстве автомобильных дорог, изготовлении асфальтобетонных смесей, при производстве мелкостручных бетонных изделий, а некоторые фракции находят применение в производстве сухих строительных смесей, а отдельные виды отсевов используются для производства огнеупорных материалов, ячеистых бетонов [6].

Некоторые учёные предлагают рассматривать отсев в качестве самостоятельного компонента, как наделенного механической, механохимической, возможно и физико-химической активностью, которая может проявиться при взаимодействии с вяжущим веществом и водой в ходе реакции-гидратации. Отсев дробления с содержанием «доли микро- и наноразмерных частиц может затронуть и микронаноуровень структурообразования цементного камня» [2, 3].

Использование отсевов дробления ограничено, и не используются так широко как традиционные материалы, такие как мелкий и крупный заполнители (песок, щебень) [5, 7]. Отсевы дробления, по сути, считались и считаются отходами производства, поэтому они доступны и по стоимости в разы дешевле щебня.

Препятствиями для широкого использования отсева являются: содержание пылевидных и глинистых частиц до 18-26 %, пластинчатые (лещадные) и игловатые формы зерен и содержание различных примесей [8, 9]. Большое количество зерен размерами менее 0,071 мм может играть положительную роль при формировании структуры бетона – уменьшается пустотность и упрочняется структура [10, 11]. С увеличением количества таких тонких частиц в составе бетона увеличивается водопотребность бетонной смеси (количество используемой воды) и количество используемого цемента для обмазки уже более развитой поверхности [5].

Повышения плотности и прочности бетона на основе цементного вяжущего можно добиться оптимальным количеством заполнителей, наполнителей и максимальной плотной упаковки их зерен [1]. В [12] отмечается, что с введением химических пластифицирующих добавок в бетонную смесь расслаиваемость может усиливаться за счёт отсутствия и/или недостаточного количества зёрен той или иной крупности. Для того чтобы избежать расслоения бетонной смеси обогащают зерновой состав смеси заполнителей, т.е. используют в составе бетонной смеси несколько видов заполнителей и наполнителей в оптимальном количестве (соотношении).

Применение наполнителя в бетонной смеси, для регулирования зернового состава и достижения некоторых требуемых характеристик, должно быть в оптимальном количестве [13]. Наполнитель в необходимом количестве способен улучшить физико-механические показатели бетонной смеси и бетона, снижать пористость, улучшать структурообразование бетона, приносить экономическую выгоду.

В работе [3] для исследования композиционных вяжущих веществ использовали отход дробления известняка, высокодисперсную часть золы-уноса, гиперпластификатор. Размалывали смесь компонентов до удельной поверхности 600 м<sup>2</sup>/кг, вследствие чего активность вяжущего вещества была улучшена на 61 %. С применением цемента – 55 масс. %, отхода дробления известняка – 5 масс. %, золы-уноса – 40 масс. %, было получено композиционное вяжущее с пределом прочности при сжатии до 77,3 МПа.

В [10] для регулирования свойств бетона применялись добавки: гиперпластификатор и воздухововлекающая добавка. Введение добавок позволило исследователям получить бетон с прочностью в пределах 38,5-65,0 МПа. Автор работы [14] в своем исследовании применял порошкообразный минеральный модификатор (ПММ), состоящий из микрокремнезёма, алюмосодержащей, карбонатсодержащей добавок. ПММ в составе бетона позволяет получить камень с минимальным

содержанием пор и микротрещин. «Это объясняется спецификой структуры компонентов, обусловленной активно сформированной матрицей вяжущего за счёт использования запасённой в порах воды, а также микроструктурой контактных зон заполнителя и цементного камня». Бетон с содержанием в составе ПММ, может обладать прочностью до 100 МПа, морозостойкостью до марки F300.

Был получен мелкозернистый бетон из отсева камнедробления, вяжущего вещества, комплексной добавки Д-5, фибры, с высокими показателями по прочности на сжатие и на изгиб [15]. С применением отсева в составе бетона нужно помнить, о плотной упаковке зернового скелета заполнителя и о равномерном распределении связующего вещества, для получения прочных контактов между частицами заполнителя [16].

Использование такого вида материала, как отсев дробления в качестве мелкого заполнителя и часть его в качестве наполнителя для бетона является целесообразной. Применяя отсев дробления, нежелательно полностью исключать содержание крупного заполнителя в бетоне, что может вызвать возрастание усадочных деформаций и увеличение ползучести бетона, что недопустимо для некоторых железобетонных конструкций [17]. Необходимо в оптимальном количестве сочетать мелкие и крупные компоненты в смеси, для уменьшения усадочных деформаций и получить плотный, прочный материал.

Отсев дробления можно использовать в качестве заполнителей и наполнителя для снижения себестоимости бетона без ухудшения его характеристик. Однако при использовании таких техногенных материалов необходимо учитывать не только их достоинства, но и их недостатки.

Отсев дробления с глинистыми и пылевидными частицами и отмытый отсев (без глинистых и пылевидных частиц) можно широко использовать во многих направлениях строительства. Будь то в дорожном строительстве, гражданском, промышленном, при изготовлении железобетонных изделий, конструкций, а также при производстве сухих строительных смесей.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Толстой А.Д. Мелкозернистый бетон повышенной прочности // Строительные материалы и изделия. – 2020. – Том 3. – № 1. – С. 39-43.
2. Макеев А.И. Отсевы дробления гранита как компонентный фактор формирования структуры бетона. Часть I. Постановка

проблемы. Идентификация отсевов / А.И. Макеев, Е.М. Чернышов // Строительные материалы. – 2018. – № 4. – С. 56-60.

3. Федюк Р.С. Повышение непроницаемости фибробетонов на композиционном вяжущем // Вестник ТГАСУ. – 2016. – № 2. – С. 154-163.

4. Коновалова Н.А. Минимизация воздействия отходов щебеночного производства на окружающую среду путем их вовлечения в составы дорожно-строительных материалов [Электронный ресурс] / Н.А. Коновалова, П.П. Панков, Д.В. Бесполитов // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. – 2021. – Том 29. – № 1. – С. 82–91. URL:<http://dx.doi.org/10.22363/2313-2310-2021-29-1-82-91> (Дата обращения: 05.04.2023 г.).

5. Макаева А.А. Оптимизация составов бетонных смесей на основе отходов производства нерудных материалов / А.А. Макаева, А.И. Кравцов, Т.В. Тихонова, Е.А. Тарановская // Промышленное и гражданское строительство. – 2017. – № 11. – С. 45-49.

6. Кара К.А. Изучение размолоспособности кварцсодержащих добавок как компонента композиционных вяжущих // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. № 5. С. 45-52.

7. Пухаренко Ю.В. Оценка применения карбонатных заполнителей в составе сухих смесей для реставрации / Ю.В. Пухаренко, Т.В. Харитоновна // Вестник гражданских инженеров. – 2018. – № 4 (69). – С. 121-125.

8. Барбо А.С. Исследование физико-механических свойств отсева дробления известняка с целью использования в дорожном строительстве / А.С. Барбо, Д.В. Вржещ, А.А. Павленко, А.С. Решетников, А.А. Стукалов, Д.И. Бородай // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Современные строительные материалы. – 2018. – № 1 (129). – С. 101-107.

9. Зайченко Н.М. Оптимизация состава мелкозернистых бетонов с применением отходов промышленности Донбасса / Н.М. Зайченко, С.В. Лахтарина, Н.В. Гаврильченко, Я.С. Исаева // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Современные строительные материалы. – 2020. – № 1 (141). – С. 46-52.

10. Хафизова Э.Н. Применение технологических отходов дробления горных пород при разработке составов цементных бетонов / Э.Н. Хафизова, Ю.Ф. Панченко, Д.А. Панченко // Вестник СибАДИ. – 2021. – Том 18. – № 6 (82). – С. 790-799. URL:<http://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-6-790-799> (Дата обращения: 05.04.2023 г.).

11. Вайнштейн В.М. Особенности самоцементации отсевов дробления малопрочных известняков за счёт дополнительных молекул карбоната кальция в результате карбонизации смеси из отсевов дробления, укрепленных цементом / В.М. Вайнштейн, А.Н. Мирошин, П.А. Нехорошков, Е.В. Вайнштейн // Вестник ПГТУ. Сер.: Материалы. Конструкции. Технологии. – 2018. – № 3 (7). – С. 7-16.

12. Dario Cotardo. Mischungsstabilität und Robustheit fließfähiger Betone // Dario Cotardo, Christoph Begemann, Tobias Schack, Ludger Lohaus // Bauakademie Sachsen. Conference: 14. Dresdner Betontag. Dresden. – 2017. URL: [https://www.researchgate.net/publication/325896517\\_Mischungsstabilitat\\_und\\_Robustheit\\_fliessfaehiger\\_Betone](https://www.researchgate.net/publication/325896517_Mischungsstabilitat_und_Robustheit_fliessfaehiger_Betone) (Дата обращения: 05.04.2023 г.).

13. Лесовик В.С. Теоретические предпосылки создания цементных композитов повышенной непроницаемости / В.С. Лесовик, Р.С. Федюк // Вестник СибАДИ. – 2016. – Вып. 1 (47). – С. 65-72.

14. Толстой А.Д. Долговечность многокомпонентного бетона в условиях действия агрессивных сред // Вестник ВСГУТУ. – 2019. – № 4 (75). – С. 83-88.

15. Хежев Т.А. Самоуплотняющиеся мелкозернистые фибробетоны с применением отходов камнедробления // Т.А. Хежев, А.Р. Кажаров, А.В. Журтов, Р.Н. Семенов, Т.Х. Желоков, А.А. Карданов, М.Б. Ногеров // Инженерный вестник Дона. – 2017. – № 1.

16. Белов В.В. Исследование закономерностей структурообразования строительных цементных композитов в целях получения оптимальных рецептур приготовления сырьевых смесей [Электронный ресурс] / В.В. Белов, И.В. Образцов // Сборник научных трудов РААСН. – 2017. – Том 2. – С. 85-94. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41500761> (Дата обращения: 05.04.2023 г.).

17. Кадырова Д.Ш. Прочностные и деформативные свойства бетонов на основе местного сырья и отходов промышленности / Д.Ш. Кадырова, А.Б. Сайдуллаев // Современное промышленное и гражданское строительство. – 2021. – Том 17. – № 2. – С. 93-101.

*Дмитриева М.О.*

*Научный руководитель: Мельников А.А., канд. техн. наук, доц.  
Самарский национальный исследовательский университет им. академика  
С.П. Королева, г. Самара, Россия*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ДЕТАЛЕЙ МЕТОДОМ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО СПЛАВЛЕНИЯ**

Сегодня передовые технологии, освоенные в производственном секторе, приходят в сферу строительства и архитектуры. Другие промышленные отрасли, такие как авиация и двигателестроение, претерпели радикальные изменения производственных процессов, внедряя цифровые технологии для повышения качества и производительности. Описываемая трансформация существует в рамках концепции развития «Индустрия 4.0» и обуславливается переходом от традиционных способов изготовления изделий к цифровым технологиям.

Цифровая трансформация строительного сектора осуществляется путем внедрения аддитивных технологий и способствует реализации концепции «Строительство 4.0», сформированной по аналогии с концепцией «Индустрия 4.0».

Аддитивные технологии, применяемые в рамках аддитивного производства, включают в себя процесс получения готовых изделий путем соединения материала на основании данных 3D-модели, обычно «слой за слоем» в отличие от субтрактивных технологий, таких как традиционная механическая обработка.

За последнее время наблюдается значительный рост применения изделий, полученных с помощью аддитивных методов производства, в автомобильной, аэрокосмической области и в медицине. Данная тенденция объясняется преимуществами аддитивных технологий в сравнении с традиционными, а именно:

- отсутствие необходимости дорогостоящей оснастки, что позволяет значительно сократить время и затраты на производство;
- возможность изготовления уникальных конструкций с меньшим весом при тех же прочностных характеристиках за счет оптимизации геометрии изделия;
- массовая кастомизация и персонализация изготавливаемой продукции.



Металлические конструкционные элементы для строительства могут быть изготовлены с помощью технологий аддитивного производства. Актуально применение технологии селективного лазерного сплавления, которая обеспечивает возможность создания облегченных изделий с уникальной геометрией. Известны примеры такого применения при производстве структурных узлов для соединения кабелей со стойками, а также изготовления сложных фасадных узлов с оптимизированной геометрией из алюминиевых сплавов [1-3].

Целью данной работы является изучение механических свойств образцов, полученных из алюминиевого сплава AlSi10Mg методом селективного лазерного сплавления.

Объектами исследования являются цилиндрические образцы для испытаний на одноосное растяжение по ГОСТ 1497-84, которые изготавливались с помощью установки для селективного лазерного сплавления SLM Solutions SLM 280HL. Испытания на одноосное растяжение проводились с помощью разрывной машины ИР-5113-100. Внешний вид образцов для исследования представлен на Рис. 1 и Рис. 2.



Рис. 1 Образцы для исследования, изготовленные по технологии селективного лазерного сплавления



Рис. 2 Образцы после испытаний на одноосное растяжение

Исследование механических свойств осуществлялось на образцах, изготовленных при различных углах наклона оси выращивания к платформе построения, а именно 0 и 90 градусов. Результаты механических испытаний приведены в Табл. 1.

Таблица – Результаты механических испытаний

Угол наклона оси выращивания, град	Механические свойства		
	Предел прочности $\sigma_b$ , МПа	Предел текучести $\sigma_t$ , МПа	Относительное удлинение $\delta$ , %
0	294	230	2,6
	286	243	6,8
	294	201	1,7
Среднее	291	225	3,7
90	419	223	6,1
	402	233	3,5
	418	245	5,9
Среднее	413	234	5,2
Данные для материала, полученного по традиционной технологии			
Литье в песчаную форму	260	200	4,0
Литье под давлением	290	160	2,0

Анализ полученных результатов механических испытаний показал, что прочностные характеристики образцов, выращенных под углом 90 градусов к платформе построения, выше, чем у образцов, выращенных под углом 0 градусов к платформе построения. Величина относительного удлинения находится на одном уровне.

При сравнении с данными для алюминиевого сплава, полученного традиционными способами, а именно литьем в песчаную форму и литьем под давлением, можно сделать вывод о том, что прочностные характеристики материала, полученного с помощью селективного лазерного сплавления, выше.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что применение технологии селективного лазерного сплавления при производстве металлических изделий в сфере строительства в рамках концепции «Строительство 4.0» имеет большие перспективы, так как позволяет получать облегченные конструкции при сохранении прочностных характеристик.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Galjaard S. Optimizing structural building elements in metal by using additive manufacturing / S. Galjaard [et al.] // Proceedings of the International Association for Shell and Spatial Structures (IASS) Symposium 2015, Amsterdam, The Netherlands. – 2015. – pp. 1-12.
2. Strauss H. Additive manufacturing for future facades: the potential of 3D printed parts for the building envelope / H. Strauss, U. Knaack // Journal of Facade Design and Engineering. – 2016. – V. 3 (3–4). – pp. 225-235.
3. Craveiro F. Additive manufacturing as an enabling technology for digital construction: A perspective on Construction 4.0 / F. Craveiro [et al.] // Automation in Construction. – 2019. – V. 103. – pp. 251-267.

*УДК 691.1*

*Дудченко В.А.*

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

## ИСТОРИЯ АРБОЛИТА В ФОРМИРОВАНИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

На протяжении многих веков природные материалы, такие как натуральный камень и солома, активно использовались людьми при строительстве жилья. Несмотря на экологичность, их технические характеристики не очень подходят для строительства жилья, так как солома слишком легковоспламеняющаяся, а камень очень холодный и с ним трудно работать. Годы научных и технологических исследований привели к тому, что на отечественном строительном рынке появился новый материал под названием арболит. Он гармонично сочетает в себе непревзойденные теплоизоляционные свойства натурального массива дерева и натурального камня. К его основным преимуществам относятся простота монтажа, экономичность и неприхотливость в эксплуатации.

Арболит - это легкий бетон, который активно используется при строительстве зданий и сооружений. Это идеальное малоэтажное жилое здание, в котором не более 3 этажей застройки. Этот материал изготавливается из древесной щепы специального размера и высококачественного цемента. Древесная стружка является наиболее важным компонентом конструкции арболит, поэтому в производственном процессе необходимо использовать деревянные

элементы, изготовленные на высокотехнологичном оборудовании [1]. Специальные промышленные измельчители бумаги разделяют натуральную древесину на различные элементы. Полученную древесную стружку обрабатывают минерализующим веществом, из которого удаляют сахар и другие вещества, препятствующие сцеплению древесины с цементной смесью.

Арболит можно смело отнести к общей категории материалов, используемых в индивидуальном строительстве. Его уникальность заключается в способности совмещать в себе все основные характеристики, которые присутствуют у материалов, задействуемых при масштабном строительстве [2]:

- высокая прочность бетона;
- экологичность чистой древесины;
- долговечность сочетания бетона и дерева.

Первые шаги в производстве легкого бетона были сделаны компаниями, которые начали использовать цементный раствор и органические вещества в качестве сырья. В результате был изобретен опилочный бетон, который отличается от традиционных строительных материалов, таких как известь, глина и гипс, и обладает большей прочностью.

Опилки в качестве наполнителя снижают вес блоков и повышают их теплоизоляционные свойства. Со временем изобретатели этих блоков решили добавить в их состав строительный песок, который относится к цементу, что позволяет строить конструкции, которые по прочностным характеристикам могут быть эквивалентны зданию в целом. Несмотря на то, что бетон из опилок обладает необходимыми характеристиками строительных материалов, ученые продолжают работать над его улучшением. Русский изобретатель Костович О.С. создал фанеру, которая отличается от Moderna излишней толщиной. В процессе изготовления ученые использовали опилки в качестве связующего, их изобретение представляет собой клейкую альбумин-казеиновую смесь, известную как "арборит".

В первой половине 20-х годов в США начали использовать этот материал при строительстве домов, который может значительно снизить теплопроводность здания и при этом обладать низкой воспламеняемостью и высокой прочностью. В Советском Союзе этот материал был изучен только в 1960-х годах. В то время в Советском Союзе при производстве цементно-древесного состава на стандартном оборудовании использовался сильнейший сорт цемента М400, а в качестве минерализующего агента использовался технический сульфат алюминия [3]. Основная проблема, которую ученые изучали в течение

многих лет, — это объединение древесной щепы и бетона для создания прочного материала. Этот эффект достигается за счет удаления древесных отходов из сахара, что со временем может разрушить структуру цемента. Арболит впервые заговорили на территории СССР в 70-х годах прошлого века, когда при производстве строительных материалов начали использоваться национальные стандарты. Ученым удалось создать носитель для карболита и всех его производных. С тех пор все производители начали использовать его в своей работе ГОСТ19222-73 и "Руководстве по производству изделий из арболита", которое было опубликовано в 1974 году [4]. Согласно инструкции, процесс изготовления арболита осуществляется с использованием сухой древесной щепы. Для их изготовления стали использовать специальное оборудование, после чего заготовку отправляли сушиться под навес для использования на открытом воздухе. Для того чтобы древесная щепка могла использоваться в производстве, ее необходимо сушить в специальных условиях не менее 3 месяцев.

Эксперименты, проведенные учеными, показали, что при смешивании цементного раствора с опилками наблюдается резкое расширение продукта. Из-за использования специальных металлических форм в процессе производства эта проблема была решена. Они закрыты с 6 сторон и образуют несъемную конструкцию, в которой смесь дерева и бетона затвердевает в течение нескольких дней. После решения всех проблем на территории Советского Союза были открыты десятки заводов и введен в эксплуатацию арболит. В результате здания и сооружения из досок саженцев начали возводиться в разных городах и поселках и продолжали использоваться людьми десятилетия спустя. При осмотре технического состояния этих зданий современниками не было выявлено нарушений национальных норм и признаков повреждения.

Арболит имеет долгую историю использования как строительного материала, применение которого имеет большое будущее.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Щелокова, Т. Н. Современные тенденции улучшения свойств древесины и деревянных строительных конструкций / Т. Н. Щелокова // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2018. – № 6. – С. 39-45.
2. Миронов Г.С. Комплексное использование древесины: Курс лекций для студентов специальности 26.01.00 «Лесоинженерное дело» направления 65.63.00 «Технология лесозаготовительных и

деревобрабатывающих производств» очной, заочной и трёхгодичной форм обучения / Сост. Миронов Г. С. - Красноярск: СибГТУ, 2006.

3. Бухаркин В. И., Свиридов С. Г., Рюмина З. П. Производство арболита в лесной промышленности. — М., 1969.

4. Наназашвили И. Х. Производство арболита — эффективный способ утилизации древесных отходов // ЦБНТИ «Строительная индустрия», 1972, вып. № 11.

**УДК 625.85.06:665.775.4**

***Есина А.Ю., Григоров А.А., Вициенко М.И.***

***Научный руководитель: Маркова И.Ю., канд. техн. наук, доц.***

***Белгородский государственный технологический университет***

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

## **ПОЛИМЕРНАЯ МОДИФИКАЦИЯ БИТУМА КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ КОМПОЗИТОВ**

Актуальность повышения износостойкости и периода службы асфальтобетонных покрытий с каждым годом возрастает [1–5]. Кроме того, растёт интерес к разработке технологических решений, позволяющих за счёт модификации органического вяжущего получать композиционные материалы с высокими физико-механическими и эксплуатационными характеристиками в том числе на основе вторичного и техногенного сырья. Ключевые исследования в данном направлении повсеместно направлены на совершенствование природных характеристик битума, являющегося основным структурообразующим компонентом асфальтобетона. Дополнительное изучение битума позволяет выявить новые свойства, а также способствует внедрению известных преимуществ для решения текущих проблем. Наиболее часто встречается модифицирование битумов различными полимерными добавками для улучшения характеристик. Благодаря исследованиям в данной области стало возможным производство улучшенных составов органоминеральных композитов, том числе на основе вторичного сырья (асфальтогранулят, бой бетона, щебень) и техногенного сырья (вскрышные породы, золы, шлаки, пыли-носа с фильтров измельчающего оборудования).

С одной стороны, это позволяет решить проблему с недостатком материалов. С другой – модифицирование полимерами – наиболее простой способ получения необходимой структуры битума на

молекулярном уровне. Результатом проведения комплекса исследований в данной сфере является создание полимерно-битумных вяжущих (ПБВ).

*Полимерно-битумное вяжущее (ПБВ)* – вяжущий материал органического происхождения, изготавливаемый из продуктов переработки нефти, пластификаторов и модификаторов [6, 7]. В качестве модифицирующих добавок используют полимеры, которые принято подразделять на классы: термопластичные полимеры (термопласты), каучуки и каучукоподобные полимеры (эластомеры), термоэластопласты, терморезактивные полимеры (терморезактопласты).

Добавление полимеров в битум обусловлено необходимостью достижения таких свойств как: повышение эластичности, уменьшение температурной чувствительности (рост жесткости при положительной температуре, снижение – при отрицательных температурах), повышение сопротивления износу, расширенный интервал пластичности, снижение темпов колесобразования, коррозионносойкость.

При смешивании битума и полимерной добавки не возникает химического взаимодействия. Полимер растворяется в битумном вяжущем образуя прочную структуру. Таким образом, ПБВ приобретает улучшенные физико-механические свойства, качество возрастает. При этом увеличивается срок службы дорожного полотна, что ведет к снижению затрат при эксплуатации, обслуживании и ремонту.

За счет особенностей *термопластов* (способность обратимо переходить в вязкотекучее или высокоэластичное состояние при температурном воздействии) их введение придаёт дорожному битуму (вяжущему) термостойкость, а также не влияет на морозостойкость и адгезионные свойства асфальтобетона. В качестве таких модификаторов применяют: полиэтилены, полипропилены, поливинилхлориды, полистиролы и др.

Наиболее часто исследуется введение в битумы *каучуков* и *каучукоподобных полимеров (эластомеров)*. Эластомеры отличаются спиралевидным строением молекул, низким взаимодействием внутри макромолекул и прочными внутримолекулярными связями, что влияет на их свойства при испытаниях на растяжение. Удлинение таких полимеров при прикладывании растягивающих нагрузок составляет до 10 крат от исходной длины, при снятии нагрузки эластомер возвращается в исходное состояние.

Модифицирование битумов каучуками улучшает широкий спектр свойств асфальтобетона: усталостную долговечность, устойчивость к деформациям, прочность, трещиностойкость, морозостойкость. Такой

эффект достигается за счет понижения чувствительности к температурам и изменении вязкостных характеристик при воздействии температурного фактора (рост вязкости при нагревании, снижение – при охлаждении). Недостатком применения эластомеров является деструкция при очень высоких температурах, а также плохая растворимость каучуков в битуме. Наиболее распространённые модификаторы описанного класса полимеров: бутадиен-стирольные, полихлоропропеновые, этиленпропиленовые полимеры, бутилкаучуки.

*Термоэластопласты* (ТЭП) сочетают в себе свойства эластомеров и термопластов, следовательно, сохраняют высокую эластичность, прочность и обладают технологичностью. Кроме того, ТЭП по сравнению с обычными каучуками обладают низким накоплением остаточных деформаций, что в свою очередь повышает их сопротивление старению и эксплуатационные показатели упругости.

В дорожной отрасли наиболее популярно в качестве модификаторов использовать дивинилстирольные термоэластопласты (ДСТ), относящиеся к типу стирол-бутадиен-стирол полимеров [2, 3]. Применение ДСТ улучшает степень эластичности полимерно-битумных вяжущих, повышает устойчивость к изменению температур, в том числе отрицательных. К недостаткам такого модификатора можно отнести низкую устойчивость к воздействию природных факторов (ультрафиолет, озон), что сказывается на сроке службы ПБВ.

Для получения полимерно-битумных вяжущих также применяют терморезактивные полимеры (реактопласты). Их особенность состоит в том, что при нагревании или введении в состав отвердителей реактопласты необратимо переходят в неплавкое твердое состояние. Использование их при модифицировании ПБВ приводит к пленкообразованию (при высыхании растворителя), однако для маловязких битумов – способствует повышению вязкости. В качестве примера такой добавки можно привести нефтеполимерные смолы. Поскольку данный тип полимеров недостаточно пластичен – это ограничивает его применение при прокладке дорожного полотна. Кроме того, повышенная жесткость композитов при низких температурах также ставит под вопрос применение реактопластов в данной области.

При ранжировании по популярности применения той или иной модифицирующей добавки можно получить следующий список:

- термоэластопласты (тип стирол-бутадиен-стирол (СБС));
- эластомеры (бутадиенстирольный каучук (СКС), синтетический каучук изопреновый (СКИ), полиизобутилен, латексы и др.);
- термопласты (полипропилен, полиэтилен и др.);



– реактопласты (различные смолы).

Таким образом, термоэластопласты типа стирол-бутадиен-стирол чаще всего применяют, поскольку они придают битуму не только повышенные прочностные характеристики, но и способность снимать напряжение, вызванное дорожным трафиком. Однако, в случае полимерной модификации необходимо рассматривать экономическую целесообразность.

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

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Булдаков, С.И. К вопросу применения битумной эмульсии в дорожном хозяйстве / С.И. Булдаков, К.В. Сарафанов // Актуальные вопросы проектирования автомобильных дорог: Сборник научных трудов ОАО ГИПРОДОРНИИ. – 2014. – № 5 (64). – С. 72–75.

2. Марков, И.Ю. Влияние зол-уноса на вязкоупругие характеристики дорожного битума / И.Ю. Маркова, В.В. Строкова, Т.В. Дмитриева // Строительные материалы. – 2015. – № 11. – С. 28–32.

3. Kukielka, J. The experimental study of mineral-cement-emulsion mixtures with rubber powder addition / J. Kukielka, W. Bankowski // Construction and building materials. – 2019. – Vol. 226. – Pp.759–766.

4. Битумные эмульсии дорожно-строительного назначения, модифицированные золами-уноса / А. А. Безродных, В. В. Строкова, И. Ю. Маркова, Д. Ю. Потапов // Строительные материалы. – 2021. – № 11. – С. 59-66.

5. Патент № 2763216 С1 Российская Федерация, МПК С04В 26/26, Е01С 7/18. Состав цементаасфальтобетона дорожно-строительного назначения для эксплуатации в условиях высоких температур: № 2020142403 : заявл. 24.02.2021 : опубл. 28.12.2021 / В. В. Строкова, И. Ю. Маркова, А. Ю. Марков ; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова».

6. ГОСТ Р 52056-2003. Вяжущие полимерно-битумные дорожные на основе блоксополимеров типа стирол-бутадиен-стирол. Технические условия : государственный стандарт Российской Федерации : издание официальное : принят и введен в действие Постановлением Госстандарта России 23 мая 2003 № 157-ст : дата введения 2004-01-01. - Москва : Издательство стандартов, 2003. - 5 с. - Текст: непосредственный.

7. ГОСТ 218.010-98. Вяжущие полимерно-битумные дорожные на основе блоксополимера типа СБС. Технические условия : стандарт отрасли : издание официальное : принят и введен в действие приказом Федеральной дорожной службы России 12 мая 1998 № 91: дата введения 1998-06-01 / Государственный дорожный научно-исследовательский институт. - Москва: Информавтодор, 1998. - 8 с. - Текст : непосредственный.

**УДК 666.94:621.926**

***Игнатова М.С.***

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

## **БИОЦИДНЫЕ ДОБАВКИ ДЛЯ ЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИТОВ**

В настоящее время одной из главных направлений в области строительства является разработка материалов, которые могут обеспечить эффективную защиту от биологических повреждений. Потому что цементные композиты являются одним из наиболее широко используемых материалов в строительной отрасли. Поскольку защита цементных композитов от биологических повреждений остается актуальной проблемой, которая требует постоянного внимания и развития новых технологий.

Для решения этой проблемы были разработаны биоцидные добавки, которые могут быть использованы в производстве цементных композитов. Биоцидные добавки представляют собой химические соединения, которые могут уничтожать или предотвращать рост бактерий, грибов и других микроорганизмов. Они могут быть добавлены в цементные композиты на различных этапах производства.

Биоциды могут быть химическими (органическими и неорганическими) и вводиться в состав цементной композиции при ее затворении или наноситься на поверхность затвердевшего изделия в виде различных защитных покрытий, пропиток, лаков, красок. Они могут уничтожать микроорганизмы или как биостатики, замедлять их рост. При этом важно учитывать токсичность и экологическую безопасность добавок при выборе оптимального решения.

Одним из наиболее широко используемых биоцидных добавок является триклозан. Это соединение имеет широкий спектр действия и

может быть использовано в концентрациях от 0,1% до 1%. Недостатком триклозана является его токсичность для некоторых видов организмов.

В последние годы, были разработаны новые биоцидные добавки, которые имеют более высокую эффективность и меньшую токсичность. Например, бромид кватерниарного аммония является биоцидной добавкой, которая может быть использована в концентрациях от 0,1% до 0,5%. Это соединение имеет более низкую токсичность, чем триклозан, и может быть использован для защиты цементных композитов от биологических агентов.

Необходимо учитывать токсичность и экологическую безопасность этих добавок при выборе оптимального решения. В дальнейшем развитие новых биоцидных добавок может помочь улучшить эффективность и безопасность защиты цементных композитов от биологических агентов.

Согласно классификации Москвина В.М. основными факторами, вызывающими коррозию бетона, являются коррозия первого, второго и третьего типов. Коррозия выщелачивания происходит в результате воздействия пресных вод на цементный камень, коррозия, возникающая из-за протекания обменных химических реакций между веществами агрессивной среды и компонентами цементного камня, а также коррозионные разрушения, вызванные внутренними напряжениями в структуре цементного камня.

Помимо этих факторов микроорганизмы приводят к разрушению цементного камня. Разнообразные бактерии, плесневые микроскопические грибы и лишайники постепенно проникают внутрь структуры материала, вызывая изменение внешнего вида изделия, шелушение, расслоение поверхностного слоя и ухудшение физико-механических показателей. Кроме того, некоторые виды плесневых грибов способны отрицательно влиять на здоровье человека и животных, вызывая аллергические реакции, заболевания дыхательных путей и общее снижение иммунитета.

Поверхность затвердевшего бетона имеет сильнощелочную среду, что способствует меньшему биообрастанию, чем у изделий на основе древесины и полимерных материалов. Кроме того, в процессе твердения цементного раствора его поверхность карбонизируется, что приводит к образованию прочной карбонатной пленки на поверхности бетона, которая оказывает защитное действие на поверхности бетона, препятствуя проникновению агрессивных сред и спор микроскопических грибов внутрь материала через поры. Но со временем пленка разрушается, и цементные материалы могут в значительной мере заселяться колониями микроорганизмов. Поэтому

необходима важность использования биоцидных добавок для защиты цементных композитов от биологической коррозии. При этом отмечается, что некоторые микроорганизмы способны адаптироваться к существующим биоцидам и даже увеличивать свою способность к продуцированию кислот, что осложняет борьбу с ними. Поэтому важно использовать неагрессивные и экологически безопасные добавки, которые могут предотвратить биологическую коррозию.

Широко используются химические добавки для защиты цементных систем от микроскопических грибов, вызывающих их разрушение. Среди неорганических веществ в качестве биоцидных добавок для цементных систем могут применяться частицы металлов, такие как Cu, Ag, Zn, Si, Cu и Ti. Некоторые соли минеральных кислот, такие как сульфат натрия и фторид натрия, также могут использоваться как биоцидные добавки. Органические добавки, такие как полигексаметиленгуанидин стеарат и раствор глутарового альдегида, также могут быть использованы для защиты цементных систем от микроскопических грибов.

Одним из перспективных вариантов является использование диоксида титана, который может быть легирован ионами металлов, таких как железо, серебро и стронций, для улучшения фунгицидной активности. Диоксид титана также может проявлять фотокаталитическую активность при воздействии на него ультрафиолетового излучения, что может помочь в разрушении клеточных мембран микроорганизмов. Однако, микроскопические грибы оказались более устойчивы к воздействию диоксида титана, чем бактерии.

Также эффективно использование углеродных нанотрубок для улучшения прочностных характеристик цементного камня и уменьшения количества пор. Так как они усиливают биоцидное действие в сочетании с другими компонентами.

Биоциды для цементных систем могут также включать органические вещества. Например, полигексаметиленгуанидин стеарат может использоваться для защиты от микроскопических грибов и обладает продолжительным действием. Раствор глутарового альдегида может быть использован в качестве биоцидного компонента для цементных систем, при этом добавка в количестве 0,5% также способствует улучшению прочностных характеристик цементного камня после трех дней.

Диоксид титана также может быть использован в качестве модифицирующей добавки для цементных систем. В частности, модификация анатаз диоксида титана обладает фотокаталитической

активностью, что позволяет разрушать клеточные мембраны микроорганизмов при контакте с частицами активных форм кислорода, таких как гидроксильный радикал  $\text{OH}\cdot$  и  $\text{O}_2\cdot^-$ . Однако, микроскопические грибы оказались более устойчивы к воздействию диоксида титана, чем бактерии. Усиление фунгицидной активности диоксида титана возможно при легировании его ионами металлов, таких как железо, серебро и стронций.

Таким образом, поиск новых и эффективных добавок, способных повысить сопротивляемость материалов на основе цементного камня к биокоррозии, является актуальной задачей в современной экологически ориентированной строительной индустрии.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Москвин В.М., Иванов Ф.М., Алексеев С.Н., Гузеев Е.А. Коррозия бетона и железобетона. Методы их защиты. М.: Стройиздат, 1980. - 536 с.

2. Саидов Д.Х., Умаров У.Х. Влияние минерально-химических добавок на коррозионностойкость цементных бетонов с применением промышленных отходов // Инженерный вестник Дона. №2. 2013.

3. Строкова В.В., Нелюбова В.В., Сивальнева М.Н., Рыкунова М.Д., Шаповалов Н.А. Устойчивость вяжущих систем различного состава к действию плесневых грибов // Строительные материалы. 2020. № 11. С. 41-46.

5. Светлов Д. А. Микробиологическая коррозия строительных материалов // Транспортные сооружения. 2019. Т. 6. № 4. С. 18.

6. Строганов В. Ф. Биоповреждение строительных материалов // Строительные материалы. 2015. № 5.

С. 5-9.

7. Сазанова К.В. Органические кислоты грибов и их экологофизиологическое значение. Автореферат на соискание ученой степени кандидата биологических наук. СПб, 2014. -159 с.

8. Родин А. И., Ерофеев В. Т., Пустовгар А. П., Еремин А.В., Пашкевич С.А., Богатов А.Д., Казначеев С.В., Адамцевич А.О. Кинетика набора прочности биоцидных цементов // Вестник МГСУ. 2014. № 12. С. 88-97.

9. Гаврильчик А.В. К вопросу о применении биоцидных добавок при изготовлении эффективных бетонных смесей и бетонов // Гродненский государственный университет им. Я. Купалы. С.41-42.

*Кесафоти Х.Е.*

*Научный руководитель: Орехова В.И., ст. преп.  
Кубанский государственный аграрный университет  
им. академика Трубилина Т.И., г. Краснодар, Россия*

## **РАЗНОВИДНОСТИ СОВРЕМЕННЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

Недавние исследования наноматериалов и нанотехнологий выдвинули на первый план потенциальное использование этих материалов в различных областях, таких как медицина, строительство, автомобильная промышленность, энергетика, телекоммуникации и информатика. Это связано с особыми характеристиками материалов в наномасштабе.

Область строительных материалов может быть одним из основных бенефициаров этих исследований, с приложениями, которые улучшат характеристики бетона, стали, стекла и изоляционных материалов. Улучшение сопротивления материалов и увеличение их долговечности снизит загрязнение окружающей среды за счет уменьшения углеродного следа здания. В целом наибольшее количество загрязняющих веществ приходится на производство различных строительных материалов и на энергию, необходимую при их эксплуатации. Более того, наноматериалы, нанесенные на поверхности конструктивных элементов здания, могут способствовать очистке окружающей среды за счет фотокаталитических реакций.

В зданиях, построенных за последние два десятилетия, учитывались как технические, так и эстетические соображения. Между тем, новые достижения в области материаловедения привели к увеличению технологических возможностей, и, как и эстетический аспект строительных материалов, они считаются возможностью для проектирования. Обычными строительными материалами, которые используются в современных конструкциях, являются кирпичи, камни, стекло и гипс, сталь и бетон; в последние годы к основному эффекту натуральных строительных материалов относятся довольно серьезно.

Полупрозрачный бетон, композиты, цветные огнеупорные кирпичи и т. д. являются одними из таких примеров. В настоящее время использование наноматериалов в строительстве сокращается, в основном по следующим причинам: отсутствие знаний о подходящих наноматериалах для строительства и их поведении; отсутствие конкретных стандартов проектирования и исполнения элементов

конструкции с использованием наноматериалов; сокращенное предложение нанопродуктов; отсутствие подробной информации о составе нанопродуктов; высокие затраты; незнание рисков для здоровья, связанных с наноматериалами.

Для возможности широкомасштабного использования наноматериалов в строительстве необходимо, чтобы исследования проводились по следующим этапам: выбор наноматериалов с перспективой использования в строительстве и изучение их характеристик; исследование поведения строительных элементов, содержащих наноматериалы, при различных нагрузках; разработка конкретных норм проектирования и строительства.

В этой статье рассматриваются приложения нанотехнологий, которые могут повысить общую конкурентоспособность строительной отрасли. Собранные данные и информация взяты из современной литературы и исследований и сосредоточены на основах нанотехнологий и применении нанотехнологий и нематериальных материалов в областях строительства. Цель состоит в том, чтобы указать четкое направление среди областей развития нанотехнологий, где процесс строительства сразу же задействует нанотехнологии, путем указания четких рекомендаций. Эта информация будет полезна как для инженерно-строительного образования, так и для научных исследований.

### **Виды наноматериалов для строительства**

*Углеродные нанотрубки* представляют собой форму углерода, имеющую цилиндрическую форму, название происходит от их нанометрового диаметра. Они могут иметь длину несколько миллиметров и могут иметь один «слой» или стенку (одностенные нанотрубки) или более одной стенки (многостенные нанотрубки). Нанотрубки являются членами структурного семейства фуллеренов и обладают необычайной прочностью и уникальными электрическими свойствами, являясь эффективными теплопроводниками. Например, они в пять раз превышают модуль Юнга и в восемь раз (теоретически в 100 раз) превышают прочность стали, при этом их плотность составляет 1/6 плотности стали.

Ожидаемые преимущества углеродных нанотрубок: механическая прочность и предотвращение образования трещин в бетоне, улучшенные механические и термические свойства керамики, а также возможность мониторинга состояния конструкции в режиме реального времени.

*Наночастицы диоксида титана* добавляют в бетон для улучшения его свойств. Этот белый пигмент используется в качестве

превосходного отражающего покрытия или добавляется в краски, цемент и окна из-за его стерилизующих свойств. Диоксид титана расщепляет органические загрязнители, летучие органические соединения и бактериальные мембраны посредством мощных фотокаталитических реакций, уменьшая количество загрязнителей воздуха при нанесении на наружные поверхности. Гидрофильность придает поверхности, на которую он наносится, свойства самоочистки, потому что дождевая вода притягивается к поверхности и образует листы, которые собирают загрязняющие вещества и частицы грязи, ранее разрушенные, и смывают их. Полученная бетонная поверхность имеет белый цвет, который очень эффективно сохраняет свою белизну.

**Наночастицы диоксида кремния ( $SiO_2$ ).** *Nano-SiO<sub>2</sub>* может значительно увеличить прочность на сжатие бетонов, содержащих большой объем летучей золы в раннем возрасте, путем заполнения пор между крупными частицами летучей золы и цемента. Нанокремнезем сокращает время схватывания строительного раствора по сравнению с микрокремнеземом и уменьшает выделение воды и сегрегацию за счет улучшения сцепления.

**Наночастицы оксида алюминия ( $Al_2O_3$ ).** Компонент оксида алюминия (3-х валентного) реагирует с гидроксидом кальция, полученным в результате гидратации силикатов кальция. Скорость пуццолановой реакции пропорциональна площади поверхности, доступной для реакции. Добавление нано- $Al_2O_3$  высокой чистоты улучшает характеристики бетона с точки зрения более высокой прочности на растяжение и изгибе. Цемент целесообразно заменить в бетонной смеси наночастицами  $Al_2O_3$  до максимального предела 2,0 % при среднем размере частиц 15 нм, при этом оптимальный уровень содержания наночастиц  $Al_2O_3$  достигается при замене 1,0 %.

**Наночастицы серебра ( $Ag$ ).** Наносеребро при контакте с бактериями, вирусами и грибами влияет на клеточный метаболизм и подавляет рост клеток. Наносеребро подавляет размножение и рост бактерий и грибов, вызывающих инфекцию, неприятный запах, зуд и язвы. Основной технологией наносеребра является способность производить частицы как можно меньшего размера и очень равномерно распределять эти частицы. Когда наночастицы покрывают поверхность любого материала, площадь поверхности увеличивается в несколько миллионов раз по сравнению с обычной серебряной фольгой.

**Наночастицы оксида циркония ( $ZrO_2$ ).** Нанопорошок или наночастицы оксида циркония представляют собой белые частицы с большой площадью поверхности с типичными размерами 5...100



нанометров и удельной поверхностью в диапазоне 25...50 м<sup>2</sup>/г. Наноцирконий демонстрирует хорошую эстетику (полупрозрачность), превосходную физическую стойкость (твердость, гибкость и долговечность) и химическую стойкость (практически инертен) и является очень хорошим изолятором.

**Наночастицы оксида вольфрама (WO<sub>3</sub>).** В последние годы триоксид вольфрама использовался в производстве электрохромных окон или «умных» окон. Эти окна представляют собой электрически переключаемые стекла, которые изменяют свойства пропускания света при подаче напряжения. Это позволяет пользователю тонировать свои окна, изменяя количество проходящего тепла или света.

Нанотехнологии можно использовать для процессов проектирования и строительства во многих областях, поскольку продукты, созданные с помощью нанотехнологий, обладают многими уникальными характеристиками. Эти характеристики могут, опять же, существенно решить текущие проблемы строительства, а также могут изменить требования и организацию строительного процесса.

К ним относятся продукты, предназначенные для:

- более легких и прочных конструкционных композитов;
- не требующих ухода покрытий;
- улучшения материалов и методов соединения труб;
- улучшения свойства вяжущих материалов;
- снижения скорости теплопередачи антипирена и изоляции;
- увеличения звукопоглощения акустического поглотителя;
- увеличения отражающей способности стекла.

Данный список не является исчерпывающим списком применений нанотехнологий в строительстве. Их количества и разновидностей намного больше, чем можно поместить в статью и каждая из них требует дальнейшего исследования и продвижения для открытия новых более компетентных технологий.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лихота, Е. В. Обеззараживание питьевых вод / Е. В. Лихота, В. И. Орехова // Научное обеспечение агропромышленного комплекса : Сборник статей по материалам X Всероссийской конференции молодых ученых, посвященной 120-летию И. С. Косенко, Краснодар, 26–30 ноября 2016 года / Отв. за вып. А. Г. Коцаев. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина, 2017. – С. 1100-1101.

2. Гладущенко, Т. А. Загрязнение гидросферы / Т. А. Гладущенко, В. И. Орехова // Экология речных ландшафтов : Сборник статей по материалам IV Международной научной экологической конференции, Краснодар, 03 декабря 2019 года. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2020. – С. 28-30.

3. Чижевская, Н. А. Применение алюминия при строительстве / Н. А. Чижевская, И. А. Приходько // Современные материалы и технологии : Сборник материалов Международной молодежной конференции, приуроченной к 90-летию СГТУ имени Гагарина Ю.А., Саратов, 27–28 мая 2020 года. – Саратов: Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., 2020. – С. 56-58.

4. Варенцов, В. В. Применение наночастиц при очистке сточных вод / В. В. Варенцов // Рациональное использование природных ресурсов в целях устойчивого развития : Материалы Всероссийской конференции обучающихся учреждений среднего общего, среднего профессионального и высшего образования, проводимой при поддержке Красноярского краевого фонда науки, Красноярск, 26–28 октября 2022 года / Отв. за выпуск С. А. Мамонтова. – Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2022. – С. 120-122.

**УДК 666.94:621.926**

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

## **ПОЛУЧЕНИЕ ЩЕЛОЧЕАКТИВИРОВАННЫХ ВЯЖУЩИХ НА ОСНОВЕ ТЕХНОГЕННЫХ ВОЛОКНИСТЫХ ОТХОДОВ**

Темпы развития технологий современного бетона диктуют новые требования к их составам, часто, многокомпонентным. Высокая цена большинства компонентов, обеспечение их совместной работы для достижения необходимых эксплуатационных свойств композитов являются важными проблемами. За счет оптимизации состава с применением природного и техногенного сырья, модифицированные строительные материалы могут сочетать в себе высокие прочностные, защитные и экологические характеристики [1-4].

При высокой востребованности минеральной ваты (МВ) в строительной отрасли, обладающей тепло- и звукоизолирующими свойствами, пропорционально возрастает и количество ее отходов. При этом доля их утилизации достаточно низкая. Это имеет прямое отношение как к самому процессу производства МВ и не утилизируемым отходам, так и к огромному их количеству, образующемуся при реновации устаревших зданий и сооружений. Зачастую утилизация отходов минераловатных утеплителей происходит путем использования их в качестве минеральных добавок в составе сырьевых смесей либо вторичного использования при производстве утеплителя.

Для эффективного использования отходов минеральной ваты используются различные способы их предварительной обработки и повторного воздействия на них нагрева, промывки, измельчения и др. Это позволяет максимально эффективно использовать их в качестве сырьевого компонента для различных композиционных смесей при производстве строительных изделий с заданными характеристиками. [5-6].

В работе были проведены эксперименты по получению щелочно-активированных вяжущих из отходов производства базальтового утеплителя (БУ).

Важным показателем техногенных материалов, влияющим на эффективность их вторичного использования, является химический состав, определяемый типом исходного минерального сырья. Процесс получения минеральных волокон включает плавление горных пород таких как, базальт, доломит и др. при высоких температурах (свыше 1500 °С), что влияет на содержание активных высокотемпературных модификаций кварца, образующихся за счет прохождения полиморфных превращений. Все это приводит к увеличению степени дефектности кварца и возрастанию его активности [7]. В таблице 1 приведен химический состав отходов минеральной ваты. Они представлены стеклообразующими оксидами SiO<sub>2</sub>, CaO, MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и примесями – Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>O. Количество SiO<sub>2</sub> составляет 44,11%,.

Таблица 1 – Химический состав различных видов техногенного сырья

Оксид	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O+ Na <sub>2</sub> O	Другое
Доменный гран шлак(Липецк)	37,1	7,3	0,65	41,4	9,4	0,95	2,83

БУ	44,11	12,26	9,44	16,00	13,19	2,971	2,27
Стекловата	63,3	1,5	0,5	8,2	3,1	17	6,0
Зола-унос Новотроиц кая ТЭС	56,20	27,70	6,18	1,35	4,64	2,3	9,8

Из таблицы видно, что отходы БУ содержат достаточно большой процент оксида кремния, оксидов кальция, магния и алюминия.

В исследованиях [8-9] указано, что прочность при сжатии образцов геополимеров из отходов производства минеральной ваты увеличивается в 2,5-3 раза с увеличением модуля кислотности отхода с 1 до 1,4.

Дальнейшее увеличение модуля кислотности до 2 приводит к падению прочности при сжатии почти на 40 %. Согласно таблицы модуль кислотности отхода (Мк) составил 1,87 (ГОСТ 4640-2011).

Для получения прочных геополимерных материалов рекомендуется соблюдать следующие условия, соотношения в сырье  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 = 3,5 - 4,5$  [10]. В этом случае образуется достаточное количество активного оксида Si и Al в щелочной среде вяжущего. В отходе БУ соотношение  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 = 3,59$ .

Основные кристаллические фазы в БУ принадлежат плагиоклазам –авгиту  $\text{Ca}(\text{Mg},\text{Fe})\text{Si}_2\text{O}_6$ , анортиту  $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ , что характерно для кристаллического базальта [7] .

Наличие кварца в аморфной фазе обуславливает высокую растворимость в насыщенных щелочных растворах гидратируемого вяжущего. Эти процессы позволяют направленно регулировать прочностные свойства готового строительного изделия.

Физические свойства техногенного сырья представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Физические свойства отхода минеральной ваты

Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	Истинная плотность, кг/м <sup>3</sup>	Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /кг
1100–1300	2800–2890	160-210

Внешний вид отходов, полученный на РЭМ, представлен на рисунке 1.

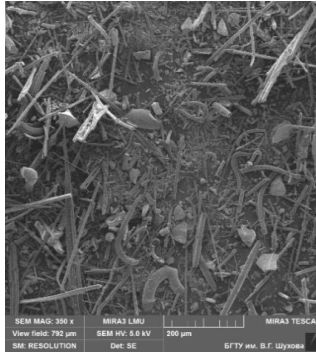


Рис. 1 Внешний вид отходов БУ, х350

Можно заметить большое количество мелких вытянутых частичек, меньшее количество крупных частиц и включения сферообразных частиц, так называемых, «корольков», образующихся в процессе плавления материала.

С целью подтверждения возможности использования отходов производства базальтовой ваты в качестве сырья для получения щелочно-активированных вяжущих отходы высушивали до постоянного веса при температуре 100°C, а затем измельчали до удельной поверхности 300-330 м<sup>2</sup>/кг.

На графике распределений частиц по размерам отчетливо видно смещение кривой в область мелких значений при более высокой удельной поверхности с возникновением пика в области 0,1–1 мкм (рисунок 2). Наличие тонкодисперсных частиц обеспечит возрастание поверхности контакта, что значительно активизирует процессы взаимодействия компонентов при твердении.

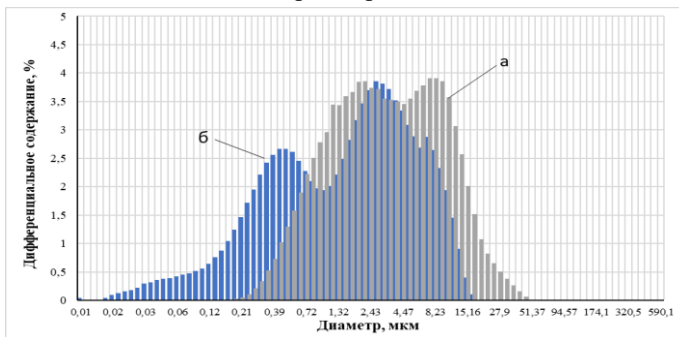


Рис. 2 Распределение частиц отхода ТВМ по размерам: а –  $S_{уд} = 220 \text{ м}^2/\text{кг}$ ; б –  $S_{уд} = 330 \text{ м}^2/\text{кг}$

Таким образом, в работе были проведены предварительные исследования отходов минераловатного утеплителя с целью получения на их основе щелочеактивированного вяжущего. Определены основные физические свойства техногенного сырья, химический и минералогический составы, гранулометрия и удельная поверхность.

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

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ferrández, D.; Yedra, E.; Morón, C.; Zaragoza, A.; Kosior-Kazberuk, M. Circular Building Process: Reuse of Insulators from Construction and Demolition Waste to Produce Lime Mortars. *Buildings* 2022, 12, 220.

2. Kinnunen, P.; Yliniemi, J.; Talling, B.; Illikainen, M. Rockwool waste in fly ash geopolymer composites. *J. Mater. Cycles Waste Manag.* 2017, 19, 1220–1227.

3. Piña, C.; Vidales, A.; Serrano-Somolinos, R.; del Rio, M.; Atanes-Sánchez, E. Analysis of fire resistance of cement mortars with mineral wool from recycling. *Constr. Build. Mater.* 2020, 265, 120349.

4. Utilization of recycled mineral wool as filler in wood–polypropylene composites

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

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

7. Fresh and mechanical properties of low-cement mortars for 3D printing / S. Klyuev, M. Ageeva, E. Fomina [et al.] // *Construction and Building Materials*. – 2022. – Vol. 338. – P. 127644. – DOI 10.1016/j.conbuildmat.2022.127644.

8. Чегодайкин А.М. Шлакощелочные вяжущие из отходов производства минеральной ваты // *Инженерно-строительный журнал*. 2018. № 6(82). С. 219–227.

9. Ерофеев В.Т., Родин А.И., Якунин В.В., Тувин М.Н. Структура, состав и свойства геополимеров из отходов минеральной ваты // *Инженерно-строительный журнал*. 2019. № 6(90). С. 3–14

*УДК 691*

*Корольков А.А., Королькова К.А., Ерофеев А.В.  
Тамбовский государственный технический университет,  
г. Тамбов, Россия*

**ТЕРМОФЛУКТУАЦИОННЫЕ КОНСТАНТЫ  
ПОЛИВИНИЛХЛОРИДНЫХ ПЛИТ ПОСЛЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ  
В РЕАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ НА ПРОТЯЖЕНИИ 6 МЕСЯЦЕВ**

Прогнозирование работоспособности, в том числе и долговечности, строительных материалов целесообразно вести с позиций термофлуктуационной концепции разрушения и деформирования твердых тел, в основе которой лежит представление о тепловом движении кинетических частиц, выступающим решающим фактором в процессе разрушения. В классическом случае (обобщенное уравнение Журкова) прогнозирование долговечности осуществляется для твердых тел, работающих в так называемых идеальных условиях: во времени, при температуре и под нагрузкой (иные факторы отсутствуют) [1, 2]. Однако практически все материалы эксплуатируются в условиях агрессивной среды, более того в большинстве своем они представляют собой композитные соединения, в связи с этим, рассмотрение термофлуктуационных зависимостей, учитывая не только материал, но и воздействия на него климатических факторов, позволят приблизить идеализированные теоретические представления о работоспособности твердых тел к реальным условиям.

В качестве объекта исследования были выбраны поливинилхлоридные плиты (ПВХ). Предметом исследования выступают термофлуктуационные константы обобщенного уравнения Журкова. Образцы ПВХ были помещены на шесть месяцев на специальном стенде, находящемся на открытом воздухе в реальных погодных условиях г. Тамбова. Испытания были начаты с 1 сентября 2021 г. На протяжении всего времени образцы были подвержены различным воздействиям: УФ-излучение, отрицательные температуры, влажность и т.д. После эксплуатации в реальных погодных условиях г. Тамбова в течение шести месяцев для ПВХ были получены экспериментальные значения зависимости долговечности от напряжения и температуры эксплуатации [3]. Полученные результаты

были статистически обработаны: проверка на наличие грубых погрешностей, определение доверительного интервала (Табл.). Исходя из обработанных значений, были определены графоаналитическим способом термофлуктуационные константы обобщенного уравнения Журкова [4].

Таблица – Экспериментальные зависимости долговечности от напряжения и температуры, а также границы доверительного интервала

Среднее значение логарифма долговечности и границы доверительного интервала при температуре											
σ, МПа	15 °С			σ, МПа	30 °С			σ, МПа	45 °С		
	Н	Ср	В		Н	Ср	В		Н	Ср	В
12,86	0,83	1,32	1,80	12,36	0,95	1,35	1,75	11,57	0,79	1,24	1,67
12,59	2,02	2,5	2,97	12,09	1,31	1,7	2,14	11,33	1,15	1,57	1,99
12,18	2,15	2,44	2,74	11,71	1,91	2,31	2,72	10,96	1,91	2,24	2,57
11,64	2,70	3,04	3,38	11,19	2,64	2,95	3,27	10,47	2,22	2,65	3,08
11,10	2,46	2,98	3,50	10,60	2,76	3,08	3,40	9,99	2,68	2,99	3,32

Примечание:  
Н - Нижняя граница доверительного интервала;  
Ср - средние значения величины десятичного логарифма времени в секундах;  
В - верхняя граница доверительного интервала;

Методика определения термофлуктуационных констант выполнена в соответствии с термофлуктуационной теорией. На начальном этапе по полученным экспериментальным данным (Табл.) построен график в координатах « $\lg \tau - \sigma$ ». Далее полученный график по стандартной методике перестроен в график в координатах « $\lg t - 1000/T$ », из которого были определены две из четырех термофлуктуационных констант (из координаты точки полюса). Оставшиеся константы находятся из графика, построенного в координатах « $U - \sigma$ » [5].

На Рис. 1 (а) приведен график, построенный по полученным экспериментальным данным (Табл.). Прямолинейная зависимость  $\lg t = f(\sigma)$  описывается уравнениями (1,2,3):

$$\text{при } T=15^{\circ}\text{C: } \lg \tau = -1,178 \cdot (\sigma) + 16,716, R2=0,989 \quad (1)$$

$$\text{при } T=30^{\circ}\text{C: } \lg \tau = -1,029 \cdot (\sigma) + 14,212, R2=1,002 \quad (2)$$



$$\text{при } T=45^{\circ}\text{C: } \lg \tau = -0,862 \cdot (\sigma) + 11,556, R2=0,988 \quad (3)$$

При перестроении графика « $\lg \tau - \sigma$ » в график « $\lg \tau - 1000/T$ » представленного на Рис. 1(б) были выбраны напряжения находящиеся в первой положительной четверти: 5; 5,5; 6 МПа. Прямолинейная зависимость  $\lg \tau = f(1000/T)$  для выбранных напряжений описывается уравнениями (4,5,6), приведенными ниже.

$$\text{при } \sigma = 5 \text{ МПа: } \lg \tau = 11,317 \cdot (1000/T) - 28,409, R2=0,996 \quad (4)$$

$$\text{при } \sigma = 5,5 \text{ МПа: } \lg \tau = 10,818 \cdot (1000/T) - 27,267, R2=0,974 \quad (5)$$

$$\text{при } \sigma = 6 \text{ МПа: } \lg \tau = 10,318 \cdot (1000/T) - 26,125, R2=0,996 \quad (6)$$

Прямолинейная зависимость  $U_0 = f(\sigma)$  представленная на рисунке 1(в) описывается следующим уравнением (7):

$$U_0 = -19,104 \cdot (\sigma) + 311,83, R2=1,000 \quad (7)$$

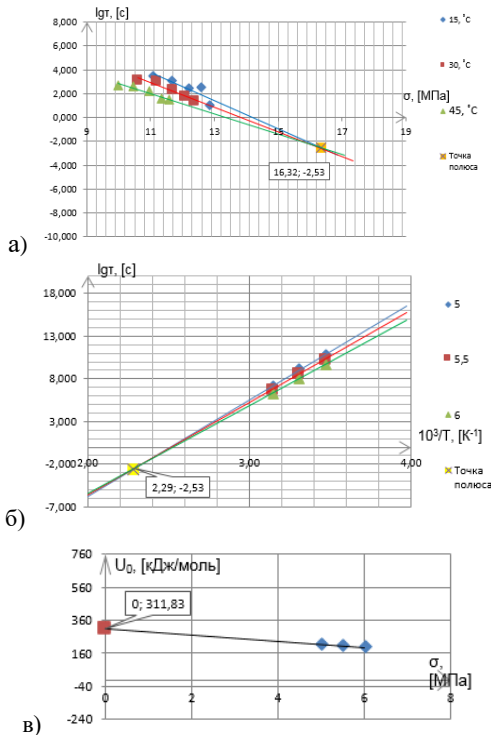


Рис. 1 Графическая интерпретация определения термофлуктуационных констант обобщенного уравнения Журкова.

а – зависимость логарифма долговечности от напряжения (прямые температур); б – зависимость логарифма долговечности от обратной температуры, увеличенной в 1000 раз (прямые напряжений; в – зависимость энергии активации процесса разрушения от напряжения

Таким образом, термофлуктуационные константы обобщенного уравнения Журкова ПВХ, эксплуатируемого в реальных погодных условиях г. Тамбова в течение 6 месяцев с 1 сентября 2021 г., равны:  $\lg t_0 = -2,53$ ,  $T_m = 437,35$  К,  $U_0 = 311,83$  кДж/моль,  $\gamma = -19,10$  кДж/(МПа·моль).

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ярцев, В.П. Прогнозирование поведения строительных материалов при неблагоприятных условиях эксплуатации: учебное пособие / В.П. Ярцев, О.А. Киселёва. – Тамбов: Изд-во Тамбовского государственного технического университета, 2009. – 124 с.

2. Бартенев, Г.М. Прочность и механизм разрушения полимеров / Г.М. Бартенев. – Москва: Химия, 1978. – 328 с.

3. Дранников, Р.Н. Определение исходных данных для расчета термофлуктуационных констант обобщенного уравнения Журкова поливинилхлоридных плит / Р. Н. Дранников, А.В. Ерофеев, Т.И. Горохов // Современная наука: теория, методология, практика: материалы 2-ой Всероссийской (национальной) научно-практической конференции / под общ. ред. П.В. Монастырева – Тамбов: Изд-во ИП Чеснокова А.В., 2020. – С. 55–59.

4. Ратнер, С.Б. Термофлуктуационные закономерности истирания полимеров / С.Б. Ратнер, В.П. Ярцев // Теория трения, износа и проблемы стандартизации: Сб. Приокское кн. Изд-во. Брянск. – 1978. – С. 150-162.

5. Ярцев, В.П. Закономерности термофлуктуационного разрушения высоконаполненных резиновых смесей и резин / В.П. Ярцев // Каучук и резина. – 1989. – № 3. – С. 17-20.

УДК 691

*Королькова К.А., Корольков А.А.*

*Научный руководитель: Ерофеев А.В., канд. техн. наук, доц.*

*Тамбовский государственный технический университет,*

*г. Тамбов, Россия*

## ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ТВЁРДОСТЬ ПОЛИВИНИЛХЛОРИДНЫХ ПЛИТ

Поливинилхлоридные плиты (ПВХ) относятся к термопластичным синтетическим материалам и применяются в различных отраслях, такие как строительство, транспортная сфера деятельности и т.д. Широкое

использование данного материала оправдано его свойствами, а также другими различными преимуществами, а именно способность подвергаться вторичной обработке, химическая стабильность и т.д. [1, 2].

Твердость – это способность материала сопротивляться вдавливанию в него других тел. По сути, она характеризует механические свойства поверхности материала. На нее влияют температура, величина и скорость приложенного усилия и другие внешние факторы.

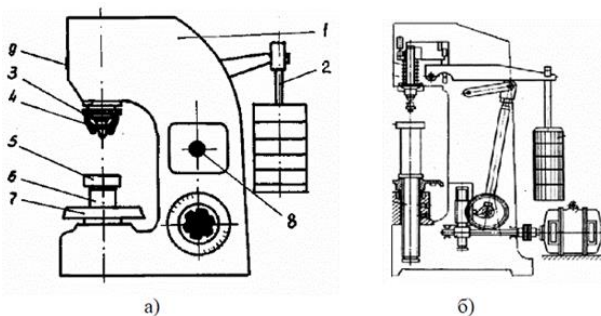
Для определения твёрдости ПВХ были испытаны образцы размерами 6x1,5x0,3см. Для установления влияния климатических факторов на твёрдость ПВХ, образцы материала помещались в реальные условия эксплуатации. Испытание было начато в сентябре 2021 года. Изменение твёрдости фиксировалось каждый месяц в течение года. Для чистоты эксперимента вёлся дневник погоды.

Основные параметры изменения погоды по месяцам представлены в таблице.

Таблица – Основные параметры изменения погоды по месяцам с сентября 2021 г. по август 2022 г.

№ п/п	Месяц	Средняя t, °C	Осадки/ Облачно/ Ясно, дни
1	сентябрь	12 °C	7/23/0
2	октябрь	7 °C	2/21/8
3	ноябрь	1 °C	7/19/4
4	декабрь	-5 °C	5/25/1
5	январь	-6 °C	9/21/1
6	февраль	-4 °C	9/15/4
7	март	-2 °C	2/18/11
8	апрель	+9 °C	6/18/6
9	май	+10 °C	7/18/6
10	июнь	+20 °C	4/17/9
11	июль	+21 °C	5/12/14
12	август	+23 °C	1/17/13

Испытание проводилось с помощью прибора ТШ-2 (Рис. 1) по методу Бринелля. В испытуемый материал под нагрузкой 4кг вдавливался стальной закрепленный шарик и по диаметру полученного отпечатка делался вывод о твердости материала. Испытание проводилось для 6 образцов каждый месяц в течение 1 года [3,4].



а – общий вид; б – схема;

Рис. 1 Прибор ТШ-2 для проведения испытаний на определение твердости материала

После завершения испытания проводился анализ результатов по методу восстановленного отпечатка по формуле (1):

$$HB = \frac{0,102F}{\frac{\pi D}{2}(D - \sqrt{D^2 - d^2})}, \quad (1)$$

где F – приложенная нагрузка, Н;

D – диаметр шарика, мм;

d – диаметр отпечатка, мм [5].

За окончательный результат принимается среднее арифметическое шести результатов исследования.

Экспериментально полученные результаты по изменению твердости ПВХ от продолжительности эксплуатации в реальных условиях представлены на Рис. 2.

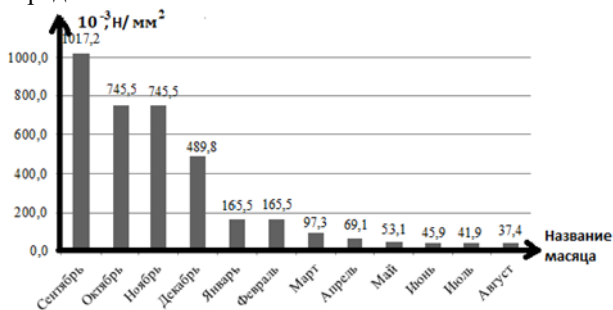


Рис. 2 Изменение твердости ПВХ от продолжительности эксплуатации в реальных условиях

Анализ рисунка 2 показывает, что значительное снижение твердости материала наблюдается в период с ноября по январь. Именно

в этот период согласно дневнику погоды, были зафиксированы переходы температуры через ноль градусов по Цельсию. Из чего можно сделать вывод о том, что именно попеременное замораживания-оттаивание, в том числе и при увлажнении материала, оказывает значительное влияние на физико-механические характеристики ПВХ, т.е. приводит к деструкции структуры материала.

С увеличением продолжительности эксплуатации материала в реальных условиях твердость материала снижается в 27 раз, за счет деструкции материала. Основная деструкция структуры материала происходит вследствие попеременного замораживания-оттаивания.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Марк Т.Берард, Ульям Кокер и др. Поливинилхлорид. – М.: Наука, 2012. – 729 с.
2. Уилки Ч., Саммерс Д., Даниэлс Ч., Поливинилхлорид. – М.: ЦОП Профессия, 2012 – 800 с.
3. Полимерные материалы: свойства, практическое применение. Учебное пособие М.А. Мельникова. – Благовещенск: Амурский гос.ун-т, 2013. – 86 с.
4. Методы исследования структуры и свойств полимеров: Учебное пособие Ю.И. Аверко-Антонович, Р.Т. Бикмуллин –Казань: КГТУ, 2002. – 604 с.
5. Колмаков А.Г., Терентьев В.Ф., Бакиров М.Б., Методы измерения твердости. – М.: Интернет Инжиниринг, 2005 – 150 с.

**УДК 691.544**

*Кривоустов Д.Ю., Салил Мурад Яхья Мухаммед  
Научный руководитель: Лесовик В.С., д-р техн. наук, проф.  
Белгородский государственный технологический университет  
им В.Г.Шухова, г Белгород, Россия*

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДОБАВОК ФЕРРИТНЫХ ФАЗ НА СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ БЕТОНОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНФРОКРАСНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ**

Главной задачей ученых всего мира является защита среды обитания человека. Особая роль отводится разработке композитов защищающих человека от воздействия природных техногенных электромагнитных полей и радиации. Важную роль в этом плане имеет

создание специализированных видов цементов – ферритных цементов [1-2].

Для оборонной промышленности при разработке железобетонных конструкций необходимо соблюдать средство бетона с армированной конструкцией. Для этих целей может быть использован сульфферритный клинкер в качестве добавки к портландцементу. Для оценки эффективности применения модифицирующих добавок оказывающих воздействие на структурообразование материалов необходимо применение достоверных и информативных методов. Целью данного исследования является оценка строения ферритных и сульфферритных клинкеров , продуктов их гидратации, при помощи метода инфрокрасной спектроскопии [3-5].

Исследования проводили при помощи ИК спектрометра ALPNA. В качестве исходных материалов исследовали ферритный (1) и сульфферритный клинкер (2) на основе сырьевых смесей составов ( Табл.1) , а также продукты гидратации бетонов с добавкой сульфферритного клинкера ( Табл. 2).

Таблица 1 – Содержание оксидов сырьевых смесей ферритного и сульфферритного клинкера, %

Состав	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	ППП
1	0,97	0,47	23,53	0,18	0,09	0	3,22
2	1,76	0,86	23,61	34,49	0,53	9,17	29,07

Таблица 2 – Исследуемые составы гидратированных образцов.

№ п/п	Соотношение компонентов, %		
	Портландцемент ( M500)	Сульфферритный клинкер	Песок
1 состав	40	-	60
2 состав	35	5	60

ИК спектроскопия в качестве физико-химического метода является универсальной для определения структурных особенностей образцов . В ИК спектрах проб клинкеров ( Рис.1 , Рис. 2) обнаружены характеристические полосы поглощения относящиеся к определенным функциональным группам.

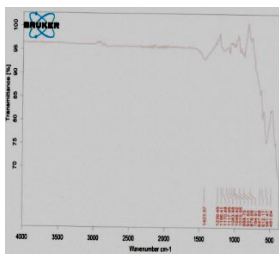


Рис. 1 Ферритный клинкер.

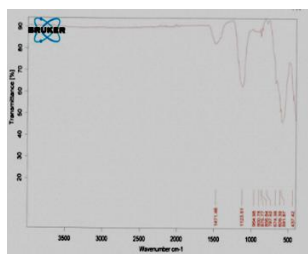


Рис. 2 Сульфферритный клинкер.

Спектры поглощения негидратированного клинкера имеют полосы поглощения  $C_3S$  и  $C_2S$  с волновыми числами  $876, 900, 931, 964, 998 \text{ см}^{-1}$ , полосы  $C_3A$  и  $C_4AF$  с волновыми числами  $784, 787 \text{ см}^{-1}$ . Полосы поглощения  $1239, 1196, 1123, 964 \text{ см}^{-1}$  характеризуют функциональные группы силикатов. В отличие от ферритного клинкера на спектре сульфферритного образца наблюдается четкая полоса поглощения  $1123 \text{ см}^{-1}$  которая характеризует ассиметричные валентные колебания сульфогруппы, а также полоса  $609 \text{ см}^{-1}$  которая принадлежит симметричным валентным колебаниям  $SO_4$ .

Гидратированные образцы цемента с добавками имеют полосы поглощения в области от  $3600 \text{ см}^{-1}$  до  $2700 \text{ см}^{-1}$  (Рис. 3), их положение, интенсивность и наличие по сравнению со спектром цемента без добавок (Рис. 4), может свидетельствовать об изменении в структуре цемента с добавками.

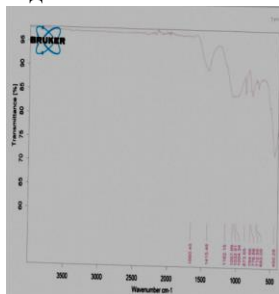


Рис. 3 1 состав

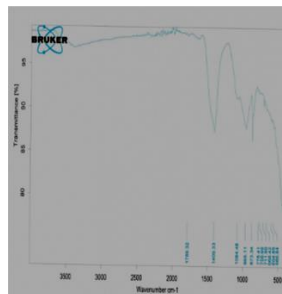


Рис. 4 2 состав

При гидратации цемента на повышение диффузности полос ИК-спектров поглощения влияет, с одной стороны, снижение количества негидратированного цемента, а с другой — неупорядоченность структуры гидратных новообразований. Рассматривая такие новообразования на ИК-спектре появляются полосы поглощения в области волновых чисел  $1580... 1650 \text{ см}^{-1}$  в нашем случае —  $1660 \text{ см}^{-1}$  и

3580...3750  $\text{см}^{-1}$  с наиболее сильной полосой на  $3630 \text{ см}^{-1}$  принадлежащей  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , и рост интенсивности полос в области  $1400\text{--}1600 \text{ см}^{-1}$ , обусловленных колебаниями, локализованными на связях О-Н в гидроксильных группах и в молекулах воды, входящих в структуру С-S-H-геля, а также на связях С-О в карбонатах, образующихся в результате протекания процессов карбонизации продуктов гидратации цемента. Эти полосы свидетельствуют о наличии в цементном камне свободной, цеолитной и химически связанной воды. Присутствие нескольких рядом расположенных полос в указанных интервалах волновых чисел определяется различным характером связи воды с окружающими ионами, что, в свою очередь, означает присутствие в затвердевшем цементном камне нескольких гидратных образований [3].

Анализ инфракрасных спектров поглощения свидетельствует, что применение сульфферритной добавки к клинкеру приводит к увеличению количества продуктов гидратации цемента. Так, установлено, что увеличивается интенсивность максимумов в диапазоне  $873\text{--}1409 \text{ см}^{-1}$ , соответствующих симметричным и асимметричным колебаниям сульфогруппы, высоко и среднеосновным гидросиликатам кальция.

На основании проделанной работы и результатов твердения исследуемых образцов, можно сделать вывод о том, что использование оценки результатов ИК спектроскопии позволяют сделать вывод о влиянии добавки сульфферритного клинкера на процессы структурообразования на границе раздела фаз в высокопрочных бетонах.

Установлено, что добавка сульфферритного клинкера в количестве 5 % приводит к увеличению количества активных центров на поверхности дисперсных фаз. Это позволяет прогнозировать ускорение гидратации портландцемента и увеличение количества гидросиликатов кальция в продуктах гидратации цементного камня.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лесовик В. С. Геоника (геомиметика). Примеры реализации в строительном материаловедении: монография. Белгород: Изд-во БГТУ, 2014. 195 с
2. Лесовик В.С., Фомина Е.В. Новая парадигма проектирования строительных композитов для защиты среды обитания человека // Вестник МГСУ. 2019. №10 с 133.



3. Т.В. Кузнецова, Ю.Р. Кривобородов. Состав свойства и применение специальных цементов//Технологии бетонов.-2014.-№6.-С.8-11.

4. Сильверстейн Р., Вебетер Ф., Кимл Д. Спектрометрическая идентификация органических соединений / Сильверстейн Р., Вебетер Ф., Кимл Д. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. – 520 с

5. Гидравлические вяжущие вещества: учебное пособие / И.Н. Кузнецова, М.А. Ращупкина, А.Ф. Косач, Н.А. Гутарева – Омск: СибАДИ, 2012. – 74 с.

*УДК 620.22-022.532:691*

*Купин М.Ю.*

*Научный руководитель: Ванькова Т.Е., доц.*

*Белгородский государственный технологический университет*

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

## **ПРИМЕНЕНИЕ НАНОМАТЕРИАЛОВ В СОВРЕМЕННОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ: ВОЗМОЖНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ**

Нанотехнологии являются одними из наиболее инновационных и перспективных направлений развития в науке и технике. В последние годы нанотехнологии стали активно применяться во многих областях, включая медицину, электронику, энергетику, а также в сфере строительства. Применение наноматериалов в строительстве может оказать значительное влияние на качество и эффективность строительных материалов, а также на экономическую эффективность процесса строительства.

Одной из главных проблем в области строительства является низкая прочность и стойкость материалов к различным воздействиям. Но благодаря свойствам наночастиц можно значительно улучшить качество строительных материалов и повысить их прочность и стойкость. Например, использование наночастиц в бетоне позволяет увеличить его прочность на 30-40%. Кроме того, наночастицы могут улучшить свойства других материалов, таких как стекло или металл [3].

Еще одним преимуществом применения нанотехнологий в строительстве является возможность создания самоочищающихся поверхностей. Например, использование наночастиц серебра может предотвратить рост бактерий и грибков на поверхности материалов, что было бы особенно полезно в случае использования в строительстве медицинских учреждений или зданий, где важна чистота окружающей среды.

Также нанотехнологии могут быть полезны в решении экологических проблем, связанных с токсичностью и вредностью строительных материалов. Использование наночастиц, например, углерода и железа, может помочь снизить токсичность отходов из строительства.

Среди примеров наноматериалов, применяемых в современном строительстве, можно назвать: наночастицы кремния, оксида алюминия, наночастицы золота и другие. Однако, применение этих материалов еще находится в стадии исследований, и разработчики должны учитывать возможные риски для здоровья и окружающей среды.

Тем не менее, можно сделать вывод о том, что применение наноматериалов в современном строительстве - это перспективное направление развития, которое имеет большой потенциал в области улучшения качества и эффективности строительных материалов, а также решения экологических проблем. Однако, для того чтобы извлечь максимальную пользу из нанотехнологий, необходимо инвестировать в исследования и разработки в этой области, а также обеспечить контроль за возможными рисками и последствиями применения наноматериалов в строительстве.

Возможности и перспективы применения наноматериалов в современном строительстве очень широки и перспективны. Наноматериалы отличаются высокой поверхностной активностью и способностью изменять механические, тепловые и электрические свойства материалов, с которыми они контактируют. Это делает их идеальными для применения в строительстве, где требуются материалы с высокой прочностью, износостойкостью, жаростойкостью, устойчивостью к воздействию воды и других негативных факторов.

Одной из важных областей применения наноматериалов в строительстве является создание усовершенствованных строительных материалов. Например, добавление углеродных нанотрубок в цемент позволяет повысить его прочность и устойчивость к растрескиванию. Наночастицы серебра могут быть добавлены в краску или клей, что гарантирует защиту от бактерий, грибков и других микроорганизмов. Наночастицы титана используются в процессе производства стекла с целью повышения его прочности и светопропускающей способности [2].

Кроме того, наноматериалы также могут использоваться в качестве инновационных теплоизоляционных материалов. Например, микрочастицы нанокремния могут помочь уменьшить теплопотери

через стены и крыши. Текстильные материалы, содержащие наночастицы, могут использоваться как утеплители в строительстве.

Отдельно стоит отметить перспективы использования наноматериалов в процессе создания «умных» домов. Например, можно использовать "умный" бетон с добавлением наночастиц, которые будут сигнализировать об опасных деформациях в реальном времени, позволяя принимать меры по предотвращению аварийных ситуаций до того, как они произойдут.

Таким образом, применение наноматериалов в современном строительстве имеет большие перспективы, и это только начало развития данной области.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Малыги, А. А. Химия поверхности и нанотехнология: взаимосвязь и перспективы [Текст] / А. А. Малыгин // Соревский образовательный журнал.- Т.8 — № 2. — С.32–37.

2. "Нанотехнологии в строительстве" [Электронный ресурс] // ScienceDirect. — Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/nanotechnology-in-construction>

3. "Применение наночастиц в строительстве" [Электронный ресурс] // Нанотехнологии в России. - Режим доступа: <https://nanonewsnet.ru/news/primenenie-nanochastits-v-stroitelstve>

4. Строкова, В. В., Жерновский, И. В., Череватова, А. В. Наносистемы в строительном материаловедении: учебное пособие. - М.: Инженерный центр, 2015. - 336 с.

**УДК 628.477.6**

**Левицкая К.М.**

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

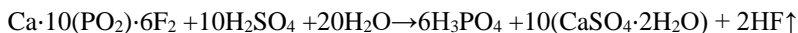
*Белгородский государственный технологический университет*

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

## НАПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФОСФОГИПСА В СТРОИТЕЛЬНОМ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИИ

Фосфорная кислота является ценным сырьевым ресурсом, который широко применяется при производстве удобрений, пищевой и деревообрабатывающей промышленности при производстве строительных материалов и т.д. Фосфорная кислота производится

путем обработки апатита серной кислотой. Помимо фосфорной кислоты в ходе химической реакции образуется фтороводород и фосфогипс (ФГ), представляющий собой двугидрат сульфата кальция.



На одну тонну апатита образуется примерно 1–3 тонны ФГ. Ежегодный прирост фосфогипса в России составляет 5–10 млн. т, в мире – 100–280 млн. т в год, общие объемы фосфогипса в России – 400–500 млн. т, в мире – 7–8 млрд. т. Проблема утилизации фосфогипса является общемировой, так как всего лишь 15 % от общего объема образующихся отходов утилизируется, а весь остальной объем складировается в отходохранилищах или сбрасывается в водоемы, нанося тем самым большой урон окружающей среде и отчуждая значительные территории (рис. 1) [1–5].



Рис. 1 Фосфогипсовый отвал

В связи с чем, многочисленными научными группами рассматриваются направления и области утилизации фосфогипса. Необходимо отметить, что основной проблемой поиска путей утилизации фосфогипса является наличие в них большого количества вредных примесей, наличие которых требует поиска путей их нейтрализации, что отрицательно сказывается на балансе конечного продукта. Среди основных направлений возможной утилизации фосфогипса рассматривается сельское хозяйство (производство удобрений, раскисление почв и пр.) [6–8], а также отрасль строительных материалов [1].

Исходя из того, что фосфогипс представлен в основном  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , его можно рассматривать как альтернативу природному

гипсовому камню, а, следовательно, использовать в тех же направлениях. В частности, существует достаточно большое количество исследований, в которых фосфогипс рассматривается как сырье для получения одно и многокомпонентных гипсовых вяжущих.

Для получения высокопрочного гипса из фосфогипса, также как и из природного сырья, могут использоваться автоклавы [9], однако, существует достаточно большое количество исследований, где показана эффективность применения метода солевых растворов, при этом в качестве кристаллизационного агента использовались  $\text{NaCl}$ ,  $\text{KCl}$ ,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{MgCl}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . К положительным сторонам данного метода можно отнести возможность получения высокопрочных гипсовых вяжущих, к отрицательным – сложность процесса (многостадийность), необходимость жесткого контроля операций на всех стадиях и использование большого количества химических реагентов [3]. Вне зависимости от способа получения вяжущего из фосфогипса авторы исследований отмечают, что его предварительная очистка от примесей способствует повышению качества конечного продукта.

Помимо технологических приемов, направленных на повышение качества вяжущего из фосфогипса, рассматривалась возможность создания многокомпонентных систем с использованием обработанного и необработанного ФГ. Такой подход способствовал существенному повышению прочности (до 20 МПа) и водостойкости (коэффициент размягчения до 0,66) конечных продуктов [9].

Еще одним, достаточно проработанным, направлением утилизации фосфогипса является использование его в цементной промышленности в качестве добавки при производстве клинкера и добавки регулирующей сроки схватывания при производстве цемента [1, 2, 11].

Довольно хорошо фосфогипс зарекомендовал себя в качестве активатора при производстве щелочеактивированных вяжущих. Его использование, в определенных дозировках, способствует не только сокращению длительности активации вяжущих, но и положительно отражается на его прочности [12].

Есть небольшое количество исследований, направленных на возможность рассмотрения использования ФГ в качестве добавки при производстве керамических материалов (кирпич, керамическая плитка керамзит). При этом, введение его в состав сырьевой массы, способствует существенному улучшению физико-механических характеристик конечных изделий [13, 14]

Среди наиболее перспективных направлений, которое позволило бы утилизировать фосфогипс в достаточно больших количествах, можно выделить получение на его основе мелкоштучных стеновых

изделий методом полусухого прессования [15]. При использовании давления прессования 10–20 МПа возможно получение стеновых изделий из сырьевой смеси, состоящий из  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ , при этом источником ди- и дигидрата сульфата кальция может выступать фосфогипс. Также возможно получение стеновых изделий с достаточно высокими физико-механическими характеристиками на основе фосфогипса и при более низких давлениях прессования до 5 МПа [16]. Основное достоинство данного способа то, что сырьевая смесь полностью состоит из фосфогипса обработанного и необработанного, что существенно повышает объемы его утилизации, к недостаткам можно отнести нестандартность (стеновые изделия из гипсовых вяжущих получают методом литья), что предопределяет необходимость создания промышленного оборудования для реализации данных технологических решений.

Еще одним направлением, которое позволило бы утилизировать фосфогипс в больших количествах, является дорожное строительство. Есть ряд научных исследований, в котором показана перспективность и эффективность развития данного направления. В частности, в ряде исследований показана возможность использования ФГ в качестве материала насыпи, материала дорожного покрытия, верхних слоев дорожной насыпи и подосновы тротуара, добавки к битуму и компонента гранулированной асфальтобетонной смеси [2, 17, 18]

Таким образом, среди основных направлений утилизации фосфогипса в строительном материаловедении можно выделить использование его в качестве сырья для производства одно- и многокомпонентных вяжущихся, цементную промышленность, производство стеновых материалов, керамическую промышленность и дорожное строительство.

Однако необходимо отметить, что при наличии достаточно большого научного опыта, направленного на разработку принципов и подходов к утилизации фосфогипса в строительной отрасли, проблема его накопления до сих пор остается нерешенной.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Rashad A.M. Phosphogypsum as a construction material Rashad // Journal of Cleaner Production. 2017. Vol. 166. Pp. 732–743. DOI:10.1016/j.jclepro.2017.08.049.
2. Alfimova N.I., Pirieva S.Yu., Titenko A.A. Utilization of gypsum-bearing wastes in materials of the construction industry and other // Construction Materials and Products. 2021. Т. 4. №1. С. 5–17.

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

4. Wu F., Ren Y., Qu G., Liu S., Chen B., Liu X., Zhao C., Li J. Utilization path of bulk industrial solid waste: A review on the multi-directional resource utilization path of phosphogypsum // Journal of Environmental Management. 2022. 313. 114957. DOI:10.1016/j.jenvman.2022.114957

5. Gu K., Chen B., Loess stabilization using cement, waste phosphogypsum, fly ash and quicklime for self-compacting rammed earth construction // Construction and Building Materials. 2020. 231. 117195. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2019.117195.

6. Yang F., Li G., Shi H., Wang Y. Effects of phosphogypsum and superphosphate on compost maturity and gaseous emissions during kitchen waste composting // Waste Management. 2015. 36. 70–76. DOI: 10.1016/j.wasman.2014.11.012

7. Luo Y., Li G., Luo W., Schuchardt F., Jiang T., Xu D. Effect of phosphogypsum and dicyandiamide as additives on NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> emissions during composting // Journal of Environmental Sciences. 2013. 25(7). Pp. 1338–1345. DOI:10.1016/S1001-0742(12)60126-0

8. Voropaev V., Titenko A., Alfimova N., Nikulin I., Nikulicheva T., Nikulichev V. Influence of gypsum-containing waste on ammonia binding in animal waste composting // Agriculture. 2021. Т. 11. № 11.

9. Губская А.Г., Подлuzский Е.Я., Меленько В.С. Производство гипсового вяжущего и изделий из природного и техногенного сырья в Республике Беларусь // Строительные материалы. 2018. №3. С. 73–75.

10. Jin Z., Ma Baoguo, Su Y., Lu W., Qi H., Hu P. Effect of calcium sulphoaluminate cement on mechanical strength and waterproof properties of beta-hemihydrate phosphogypsum. Construction and Building Materials. 2020. Vol. 242. 118198. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2020.118198

урьянов А.Ф., Полумиев Э.В. К вопросу получения искусственного гипсового камня из фосфогипса // Эксперт: теория и практика. 2023. № 1(20). С. 55–58.

aičiukyniene D., Nizevičiene D., Kiele A., Janavičius E., Pupeikis D. Effect of phosphogypsum on the stability upon firing treatment of alkali-activated slag // Construction and Building Materials. 2018. Vol. 184. Pp. 485–491. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2018.06.213

13. Türkel S., Aksin E. A comparative study on the use of fly ash and phosphogypsum in the brick production // Sadhana. 2012. Vol. 37. Pp. 595–607. DOI:10.1007/s12046-012-0099-8

Contreras M., Teixeira S.R., Santos G.T.A., Gázquez M.J., Romero M., Bolívar J.P. Influence of the addition of phosphogypsum on some properties of ceramic tiles // Construction and Building Materials. 2018. Vol. 17530. Pp. 588–600. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2018.04.131

Мирсаев Р.Н., Бабков В.В., Недосеко И.В., Юнусова С.С., Ахмадулина И. И., Шаяхметов У.Ш. Структурообразование и твердение прессованных композиций на основе дигидрата сульфата кальция // Строительные материалы. № 6. 2009. С. 6–9.

Патент на изобретение 2793093, РФ, Сырьевая смесь для прессованных гипсовых изделий и способ их изготовления / Алфимова Н.И., Титенко А.А., Левицкая К.М., Никулин И.С., Елистраткин М.Ю., Пириева С.Ю., Воропаев В.С., Кожухова Н.И.; заявитель и патентообладатель Белг. гос. тех. универ. им. В.Г. Шухова. № 2022125327; заявл. 27.09.2022; опубл. 29.03.2023, Бюл. №10.

Amrani M., Taha Y., Kchikach A., Benzaazoua M., Hakkou R. Phosphogypsum recycling: New horizons for a more sustainable road material application // Journal of Building Engineering. 2020. Vol. 30. 101267 DOI:10.1016/j.job.2020.101267

Герасимов Д.В., Игнатъев А.А., Готовцев В.М., Голиков И.В. Перспективы использования фосфогипса в производстве асфальтобетона // Дороги и мосты. 2018. № 40. С. 304–315.

Кочетков А.В., Щеголева Н.В., Коротковский С.А., Талалай В.В., Васильев Ю.Э., Шашков И.Г. Устройство слоев транспортных сооружений из фосфогипса полугидрата (отхода-побочного продукта производства азотно-фосфорных удобрений) // Интернет-журнал «Транспортные сооружения». 2019 №1. <https://t-s.today/PDF/18SAT5119.pdf>

### **УДК 620.3**

*Лесниченко И.Н.*

*Научный руководитель: Гибадуллин Р.Р., канд. техн. наук, доц.  
Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия*

## **НАНОМАТЕРИАЛЫ. ВИДЫ, ТИПЫ, СИНТЕЗ И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НАНОМАТЕРИАЛОВ**

В ISO/ TS 80004 наноматериал определяется как материал с любым внешним размером в наномасштабе или имеющий внутреннюю структуру или структуру поверхности в наномасштабе, при этом наноразмерность определяется как диапазон длин приблизительно от 1



нм до 100 нм. Сюда входят как нанообъекты, которые представляют собой отдельные фрагменты материала, так и наноструктурированные материалы, которые имеют внутреннюю или поверхностную структуру на наноуровне; наноматериал может быть членом обеих этих категорий.

18 октября 2011 года Европейская комиссия приняла следующее определение наноматериала: Природный, случайный или изготовленный материал, содержащий частицы в несвязанном состоянии или в виде агрегата или агломерата, и для 50% или более частиц в числовом распределении размеров один или несколько внешних размеров находятся в диапазоне размеров от 1 нм до 100 нм.

### **Виды**

#### **Сконструированные**

Искусственные наноматериалы были преднамеренно спроектированы и изготовлены людьми, чтобы обладать определенными требуемыми свойствами.

#### **Случайные**

Наноматериалы могут непреднамеренно образовываться как побочный продукт механических или промышленных процессов путем горения и испарения. Источники случайных наночастиц включают выхлопы двигателей транспортных средств, плавку, сварочные пары, процессы сгорания при бытовом отоплении твердым топливом и приготовлении пищи. Например, класс наноматериалов, называемых фуллеренами, образуется при сжигании газа, биомассы и свечи. Они также могут быть побочным продуктом износа и коррозии. Случайные атмосферные наночастицы часто называют ультрадисперсными частицами, которые непреднамеренно образуются во время преднамеренной операции и могут способствовать загрязнению воздуха.

#### **Натуральные**

Биологические системы часто содержат природные функциональные наноматериалы. Структура фораминифер (в основном мела) и вирусов (белок, капсид), восковые кристаллы, покрывающие лист лотоса или настурции, шелк паука и паутиного клеща, синий оттенок тарантулов, "лопаточки" на нижней части лап геккона, некоторые чешуйки крыльев бабочки, природные коллоиды (молоко, кровь), роговые материалы (кожа, когти, клювы, перья, рога, волосы), бумага, хлопок, перламутр, кораллы и даже наша собственная костная матрица - все это природные органические наноматериалы. [1]

Природные источники наночастиц включают продукты сгорания, лесные пожары, вулканический пепел, океанские брызги и радиоактивный распад радона. Природные наноматериалы также могут

образовываться в результате процессов выветривания металлосодержащих или анионосодержащих пород, а также в местах осушения кислотных шахт.

### **Типы**

Наноструктурированные материалы часто классифицируются по тому, какие фазы вещества они содержат. Наноккомпозит — это твердое вещество, содержащее по меньшей мере одну физически или химически обособленную область или набор областей, имеющих по меньшей мере одно измерение в наномасштабе. Нанопена имеет жидкую или твердую матрицу, заполненную газовой фазой, где одна из двух фаз имеет размеры на наноуровне. Нанопористый материал — это твердый материал, содержащий нанопоры, пустоты в виде открытых или закрытых пор субмикронной длины. Нанокристаллический материал имеет значительную долю кристаллических зерен в наномасштабе.

### **Нанопористые материалы**

Термин нанопористые материалы включает подмножества микропористых и мезопористых материалов. Микропористые материалы — это пористые материалы со средним размером пор менее 2 нм, в то время как мезопористые материалы - это материалы с размерами пор в области 2-50 нм. Микропористые материалы имеют размеры пор, сравнимые по длине с малыми молекулами. По этой причине такие материалы могут найти ценные применения, включая разделительные мембраны. Мезопористые материалы интересны для применений, требующих высокой удельной площади поверхности, обеспечивая при этом проникновение молекул, которые могут быть слишком большими, чтобы проникнуть в поры микропористого материала. В некоторых источниках нанопористые материалы и нанопена иногда считаются наноструктурами, но не наноматериалами, поскольку наноразмерными являются только пустоты, а не сами материалы. [2]

### **Фуллерены**

Фуллерены представляют собой класс аллотропов углерода, которые концептуально представляют собой листы графена, свернутые в трубки или сферы. К ним относятся углеродные нанотрубки (или кремниевые нанотрубки), которые представляют интерес как из-за их механической прочности, так и из-за их электрических свойств.

Первая открытая молекула фуллерепа, названная в честь семейства, бакминстерфуллерен (C<sub>60</sub>), была получена в 1985 году Ричардом Смолли, Робертом Керлом, Джеймсом Хитом, Шоном О'Брайеном и Гарольдом Крото из Университета Райса. Название было данью уважения Бакминстеру Фуллеру, на геодезические купола

которого оно похоже. С тех пор было обнаружено, что фуллерены встречаются в природе. Совсем недавно фуллерены были обнаружены в космическом пространстве.

Наночастицы или нанокристаллы, изготовленные из металлов, полупроводников или оксидов, представляют особый интерес из-за их механических, электрических, магнитных, оптических, химических и других свойств. Наночастицы использовались в качестве квантовых точек и в качестве химических катализаторов, таких как катализаторы на основе наноматериалов. В последнее время широко исследуется ряд наночастиц для биомедицинских применений, включая тканевую инженерию, доставку лекарств, биосенсоры.

Наночастицы представляют большой научный интерес, поскольку они эффективно являются связующим звеном между объемными материалами и атомными или молекулярными структурами. Объемный материал должен обладать постоянными физическими свойствами независимо от его размера, но в наномасштабе это часто не так. Наблюдаются свойства, зависящие от размера, такие как квантовое удержание в частицах полупроводника, поверхностный плазмонный резонанс в некоторых металлических частицах и суперпарамагнетизм в магнитных материалах. [3]

### **Области применения**

Наноматериалы используются в различных производственных процессах, продуктах и здравоохранении, включая краски, фильтры, изоляционные и смазочные добавки. В здравоохранении нанозимы представляют собой наноматериалы с ферментоподобными характеристиками. Они представляют собой новый тип искусственных ферментов, которые нашли широкое применение в таких областях, как биосенсорика, биоимиджинг, диагностика опухолей, обростание антибиотиками и многое другое. Высококачественные фильтры могут быть изготовлены с использованием наноструктур, эти фильтры способны удалять частицы размером с вирус, как это видно в фильтре для воды, созданном Seldon Technologies. Мембранный биореактор из наноматериалов (NMs-MBR), следующее поколение обычных MBR, недавно предложен для усовершенствованной очистки сточных вод. В области очистки воздуха нанотехнологии использовались для борьбы с распространением MERS в больницах Саудовской Аравии в 2012 году. Наноматериалы используются в современных и безопасных для человека технологиях изоляции, в прошлом они использовались в изоляции на основе асбеста. Наноматериалы в качестве смазочной добавки обладают способностью уменьшать трение в движущихся деталях. Изношенные и проржавевшие детали также можно

отремонтировать с помощью самосборящихся анизотропных наночастиц, называемых триботекс. Наноматериалы также нашли применение в ряде отраслей промышленности и потребительских товарах. Минеральные наночастицы, такие как оксид титана, использовались для улучшения защиты от ультрафиолета в солнцезащитных кремах. В спортивной индустрии более легкие летучие мыши производились с использованием углеродных нанотрубок для повышения производительности. Другое применение находят в армии, где мобильные пигментные наночастицы использовались для создания более эффективного камуфляжа. Наноматериалы также могут быть использованы в приложениях с трехсторонним катализатором (TWC). Преимуществом преобразователей TWC является контроль выбросов оксидов азота (NOx), которые являются предшественниками кислотных дождей и смога. В структуре ядро-оболочка наноматериалы образуют оболочку в качестве носителя катализатора для защиты благородных металлов, таких как палладий и родий. Основная функция заключается в том, что носители можно использовать для переноса активных компонентов катализаторов, делая их высокодисперсными, уменьшая использование благородных металлов, повышая активность катализаторов и улучшая механическую прочность.

### **Синтез**

Целью любого метода синтеза наноматериалов является получение материала, который проявляет свойства, являющиеся результатом того, что их характерный масштаб длины находится в нанометровом диапазоне (1-100 нм). Соответственно, синтетический метод должен обеспечивать контроль размера в этом диапазоне, чтобы можно было достичь того или иного свойства. Часто методы делятся на два основных типа: "снизу вверх" и "сверху вниз".

Методы "снизу вверх" включают сборку атомов или молекул в наноструктурированные массивы. В этих методах источниками сырья могут быть газы, жидкости или твердые вещества. Последние требуют некоторого рода демонтажа перед их включением в наноструктуру. Методы "снизу вверх" обычно делятся на две категории: хаотичные и контролируемые.

Контролируемые процессы включают контролируемую доставку составляющих атомов или молекул к месту (участкам) образования наночастиц таким образом, что наночастица может расти до заданных размеров контролируемым образом. Как правило, состояние составляющих атомов или молекул никогда не бывает далеко от того, которое необходимо для образования наночастиц. Соответственно, образование наночастиц контролируется посредством контроля

состояния реагентов. Примерами контролируемых процессов являются самоограничивающийся раствор для выращивания, самоограничивающееся химическое осаждение из паровой фазы, фемтосекундные лазерные технологии с формованным импульсом и молекулярно-лучевая эпитаксия.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алфимов М. М. Занимательные нанотехнологии: монография / М. М. Алфимов – Москва: Наука, 2015. – 67 с. – Текст: непосредственный
2. Лысенко В. Н. Наноструктуры: монография / Лысенко В. Н. – Санкт-Петербург: Дрофа, 2018. – 114 с. – Текст: непосредственный
3. Рыжонков Д. И. Наноматериалы / Д. И. Рыжонков – Москва: Энергия, 2013. – 88 с. – Текст: непосредственный

УДК 691.555

*Махортова А.В.<sup>1</sup>*

*Научный руководитель: Лесовик В.С.<sup>1,2</sup>, д-р техн. наук, проф.*

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

*<sup>2</sup>Центральный научно-исследовательский и проектный институт  
Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства  
Российской Федерации, г. Москва, Россия*

## АРХИТЕКТУРНЫЕ БЕТОНЫ ДЛЯ ВНУТРЕННЕЙ ОТДЕЛКИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ С УЧЕТОМ КОЛОРИСТИКИ

Главной задачей ученых настоящего времени является улучшение среды обитания человека. В современном мире на здоровье человека все большее влияние оказывают разные свойства и качества факторов окружающей среды. Около 85 % всех заболеваний в современном мире связано с неблагоприятными условиями окружающей среды, вызванными в результате повседневной, производственной деятельности человека. На сегодняшний день в мире появляются все новые неизученные заболевания, причины появления, которых не удается установить. Например, пандемия COVID-19, вызванная распространением коронавируса SARS-CoV-2, которая за 2 с половиной года унесла свыше 6 миллионов жизней по всему миру.

Негативное воздействие различных параметров окружающей среды создает угрозу физическому и нравственному здоровью людей.

В связи с этим главная задача ученых – создание комфортных условий существования человека на планете Земля [1].

Улучшение среды обитания человека связано с решением ряда вопросов, касающихся основных факторов, оказывающих негативное влияние на здоровье людей – это климатические факторы, химические, биологические, питание, воздух и в том числе наука о цвете - колористика.

Колористика достаточно важный параметр в жизни человека. Краски окружающего мира глубоко воздействуют на наш характер и наше здоровье.

Цвет – один из факторов, определяющих состояние нашей психики. Психологи и психиатры на основании предпочтения или любви людей к конкретному цвету определяют характер человека, его склонности, склад его ума, психики и даже состояние здоровья.

В настоящее время научно доказано, что различные цвета и их производные способны вызвать у человека разные эмоциональные состояния, например: радость, грусть, беспокойство, меланхолию и другие. Кроме того, оттенки одного и того же цвета могут задавать разный эмоциональный тон. Замечено, что в теплых оттенках больше «жизни», они активизируют деятельность; холодные релаксируют, располагают к отдыху. Считается, что наиболее благоприятны те мягкие светлые оттенки трех главных цветов спектра – красного, желтого и синего, которые существуют в природе. Соответственно роль колористики в окружающей среде очень важна.

На сегодняшний день та искусственная среда обитания, которую создал человек, не всегда является для него комфортной в плане колористических решений.

Также не уделяется должного внимания цветовой гамме самих помещений в зданиях, где люди проводят большую часть своей жизни – это детские сады, школы, университеты, рабочие места и так далее. Исследования, проведенные с детьми в возрасте 4 месяцев, показали, что они хорошо различают четыре группы цветов (красный, жёлтый, зелёный и синий), не дифференцируя их по оттенкам.

Также важно использовать правильно подобранные цвета в учебных заведениях для улучшения работоспособности учеников и студентов.

Цвет является мощным средством передачи информации, а также фактором, который влияет на восприятие среды субъектами образовательного процесса, т.е. студентами. Оформление интерьеров студенческих общежитий не отличается особым разнообразием и не

всегда оказывает положительное влияние на психоэмоциональное состояние студентов.

По официальным данным, потери рабочего времени, связанные с неблагоприятным цветовым климатом, достигают 10-20% [2]. Следовательно, повышение эффективности обучения можно осуществить с помощью создания благоприятной психологической обстановки, за счет грамотно подобранной колористики помещения.

Существуют различные мнения по влиянию разных цветов на психологическое состояние человека. Так, например, красный цвет вызывает ощущение теплоты, стимулируя психические процессы и повышая физическую работоспособность. На рисунке (Рис. 1) красный цвет используется в деталях интерьера учебного помещения, активное разбавление белым смягчает его воздействие [3].

Желто-зеленые цвета снимают психологическое и интеллектуальное напряжение и усталость. Они рекомендуются, когда требуется проявление фантазии и т. п. Такие цвета благотворно влияют на творческую деятельность и усиливают ее.

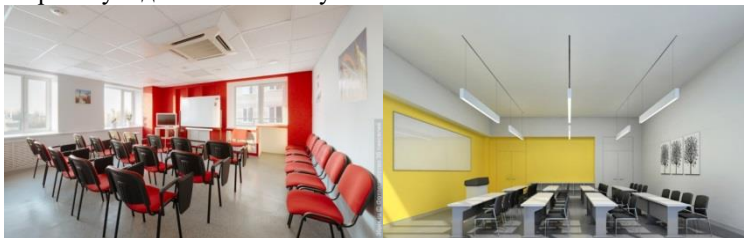


Рис. 1 Различные цвета в аудитории

Рациональный выбор цветов для учебных помещений поможет повысить эффективность работы и эффективность учебного процесса.

Дизайн учебных помещений рекомендуется поддерживать в нейтральных тонах с учетом добавления цветовых акцентов, что приводит к стимулированию активной деятельности благодаря ярким предметам интерьера на нейтральном фоне. Так же необходимо учитывать особенности влияния гомогенной и агрессивной среды на уровень утомляемости и здоровье учащихся [2].

Из вышеприведенной информации следует, что для внутренней отделки зданий, помещений необходимо подбирать не только экологичные и экономичные отделочные материалы, но также учитывать их итоговый цвет.

В настоящее время архитектурные бетоны широко применяются в современном строительстве. Они позволяют экономить время

строителей, не требуя дополнительной отделки, а также выполняют эстетическую функцию.

Но дело в том, что на данный момент в производстве архитектурных бетонов не учитываются требования «закона сродства структур» и «закона подобия», позволяющие проектировать композиты нового поколения. Также существует теория техногенного метасоматоза в строительном материаловедении, которая заключается в эволюционном приспособлении композитов к изменяющимся при эксплуатации зданий и сооружений условиям. Например, проектирование строительных композитов с учетом теории техногенного метасоматоза в строительном материаловедении позволяет предусмотреть возможность самозалечивания дефектов, возникших при эксплуатации зданий и сооружений [4].

К тому же, в производстве архитектурных бетонов не учитываются требования колористики, не смотря на важность данного параметра, влияющего на здоровье человека.

Соответственно появляется необходимость разработки новых универсальных архитектурных бетонов, удовлетворяющих всем вышесказанным требованиям, например, используя экологичные пигменты различных цветов.

Таким образом, идеально подобранный состав архитектурного бетона для внутренней отделки и его цветовая схема поможет студентам, работникам в повышении эффективности работы и концентрации. Решением проблемы влияния колористики на состояние людей будет разработка новых качественных, экологичных архитектурных бетонов с учетом колористики для физического и психологического здоровья человека.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лесовик В.С., Фомина Е.В. Новая парадигма проектирования строительных композитов для защиты среды обитания человека // Вестник МГСУ. 2019. Т. 14. Вып. 10. С. 1241–1257. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.10.1241-1257

2. Штремель А. А. Цветовое оформление учебной аудитории и его влияние на образовательный и творческий процесс // Молодежь и современные информационные технологии сборник трудов XIII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, (Томск, 9-13 ноября 2015 г.). — Том 2. — С. 206-207.

3. Базыма Б.А., Цвет и психика: монография / Б.А. Базыма. – Х.:



ХГАК, 2001. – 172 с.

4. Лесовик В.С. Геоника (геомиметика). Примеры реализации в строительном материаловедении: монография / В.С. Лесовик. – 2-е изд., доп. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2016. – 287 с.

*УДК 691*

*Микаелян Х.А., Новиченков Г.В.*

*Научный руководитель: Петропавловская В.Б., д-р техн. наук, проф.  
Тверской государственной технической университет, г. Тверь, Россия*

## **ЗОЛОЦЕМЕНТНЫЕ КОМПОЗИЦИИ НА ОСНОВЕ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ ГИДРОУДАЛЕНИЯ**

Цемент и бетон способны «поглотить» значительную долю дисперсных отходов промышленности, особую значимость имеют золы-уноса, потребляемая доля которых только цементной промышленностью составляет сегодня около 5 %. Эти отходы могут стать ценным компонентом не только цементных смесей и бетонов, но и других востребованных строительных материалов – геополимеров, газобетона, силикатных и керамических изделий [1-6]. В последнее время наибольшее распространение получили высококальциевые золы.

Вследствие высокой стоимости и энергоемкости процесса производства цементных вяжущих эффективно производить бесклинкерные алюмосиликатные вяжущие, т.е. вовлекать промышленные отходы алюмосиликатного состава как основной сырьевой компонент в производстве строительных материалов. К таким вяжущим, в полной мере способными конкурировать с цементными, относятся щелочные и щелочноземельные вяжущие [5].

В виду близости химического состава кислых золошлаковых смесей к глинам, они могут заменить последние в производстве портландцемента. При этом не требуется расходов энергии на дегидратацию глинистых минералов. Возможно применение и компонентов золошлаковых смесей в составе эффективных бетонов и цементных композиций [8 - 10]. Вовлечение составляющих золошлаковых отходов ТЭС для модификации и повышения эффективности цементных вяжущих – актуальная задача в настоящее время для России и других стран, имеющих значительные объемы подобных отходов [11, 12, 13].

В целях получения композиционного, вяжущего с высокими эксплуатационными свойствами на основе компонентов золошлаковых

отходов (ЗШО) в работе, исследовалось влияние зольного продукта на свойства цементного вяжущего.

В данной работе в качестве основного компонента использовали цементное вяжущее ЦЕМ II/A-И 42.5Б. Свойства цементного вяжущего ExtraCEM 500 приведены в табл. 1. В исследованиях также использовался обогащенный отход из золошлаковой смеси угольной ТЭС Московской области как алюмосиликатная добавка (рис.1). В результате обогащения и магнитной сепарации в заводских условиях получен зольный продукт (рис.2). Основными компонентами, содержащимися в продукте, являются –  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , которые в сумме составили 87 - 96 %. Содержание оксидов кальция и магния в сумме варьировалось в пределах 4 - 8 %. Сумма оксидов  $\text{K}_2\text{O}$  и  $\text{Na}_2\text{O}$  невелика и не превысила 2 – 3 %. Содержание серы в золе находилось в пределах 0,1- 0,16 %. Содержание таких оксидов как  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{TiO}_2$  – менее 1 %.

Таблица 1 – Свойства портландцемента ExtraCEM 500 (г. Коломна)

№	Наименование свойства	Единица измерения	Величина
1	Класс по прочности		42,5Б
2	Предел прочности при сжатии в возрасте 2 суток	МПа	26,2
3	Пределом прочности при изгибе в возрасте 2 суток	МПа	4,9
4	Предел прочности при сжатии в возрасте 28 суток	МПа	49,1
5	Предел прочности при изгибе в возрасте 28 суток	МПа	7,6

В работе изучалось влияние зольного продукта на прочность равномерность изменения объема золоцементного камня в возрасте 7 суток (рис.1). Испытания проводились в возрасте 7 суток.

По результатам проведенных исследований были получены зависимости прочности (рис.2) и плотности (рис.3) от содержания зольного продукта топливных отходов. Сравнительные результаты исследования прочности золоцементных образцов показывают, что при содержании зольного продукта 30 % от в составе цемента прочность образцов падает до 8,85 МПа, что обусловлено ролью зольного продукта в качестве инертного наполнителя, требующего обоснованного подбора зернового состава смеси. При определении

равномерности изменения объема цемента с содержанием зольного продукта 30 % от массы цемента также установлено (рис.4), что дисперсная добавка зольного продукта не оказывает негативного воздействия на процесс структурообразования искусственного золоцементного камня. На лицевой стороне лепешек не обнаружено радиальных, доходящих до краев, трещин или сетки мелких трещин, видимых невооруженным глазом или в лупу, а также каких-либо искривлений и увеличения объема лепешек.

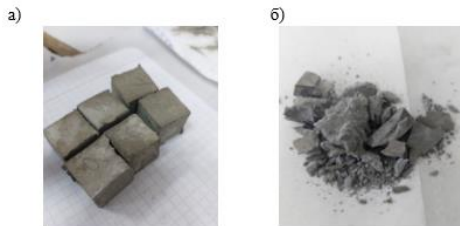


Рис. 1 Золоцементных кубики: а – образцы до испытаний; б – образцы после испытаний

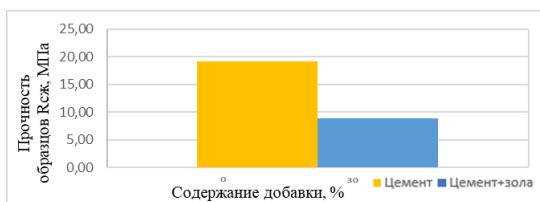


Рис. 2 Влияние содержания зольного продукта на прочность образцов золоцементной композиции

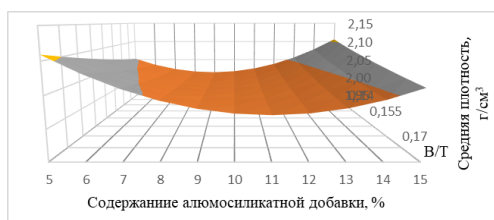


Рис. 3 Содержание добавки, %

Введение зольного продукта повышает экономическую эффективность и коррозионную стойкость материала, что является положительным аспектом его утилизации в производстве золоцементного вяжущего оптимального гранулометрического состава.



Рис. 4 Лицевая и внутренняя сторона лепешки на основе золоцементной композиции до и после кипячения в воде

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Fediuk, R. Combined effect on properties and durability performance of nanomodified basalt fiber blended with bottom ash-based cement concrete: ANOVA evaluation / R. Fediuk, N. Makarova, D.N. Qader, V.B. Petropavlovskaya, T.B. Novichenkova, M. Sulman, K. Petropavlovskii // Journal of Materials Research and Technology. – 2023. – 23. – pp. 2642–2657.
2. Makul, N. Utilization of biomass to ash: An overview of the potential resources for alternative energy / N. Makul, R. Fediuk, M. Amran, [et al.]. // Materials. – 2021. – Vol. 14, No. 21. – DOI 10.3390/ma14216482.
3. Макаренко, С. В. Влияние зол-уноса и золошлаковых смесей ТЭС ОАО "Иркутскэнерго" на свойства цемента / С. В. Макаренко, Д.И. Баишев, О.В. Хохряков, В.Г. Хозин// Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2014. – № 4(30). –С. 278-283.
4. Buryanov A. Simulating the structure of gypsum composites using pulverized basalt waste / A. Buryanov, V. Petropavlovskaya, T. Novichenkova, K. Petropavlovskii // MATEC Web of Conferences. – 2017. – С. 00026.
5. Цырятьева, А.В. Зола гидроудаления как компонент геополимеров // Научно-практические проблемы в области химии и химических технологий: материалы межрегиональной научно-технической конференции молодых ученых, специалистов и студентов ВУЗов. – Апатиты: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В. Тананаева Кольского научного центра Российской академии наук, 2015. – С. 134-138.
6. Салиева, М.Г. Некоторые аспекты использования золы гидроудаления в строительной индустрии // Материаловедение. – 2019. – № 2(30). – С. 101-103.

7. Petropavlovskaya, V., Sulman, M., Novichenkova, T. [et al.]. Ultra-Dispersed Ash Filler for Dispersed Binding Systems. – 2021. – Vol. 88. – P. 1003 -1008. – DOI 10.3303/CET2188167. – EDN JYIHXC.

8. Petropavlovskaya V. Corrosion resistant fine-grained ash concrete for repairs of constructions in the linen production / V. Petropavlovskaya, M. Sulman, T. Novichenkova, K. Petropavlovskii // Journal of Physics: Conference Series, Belgorod, 2021. Vol. 1926. – Belgorod: IOP Publishing Ltd, 2021. – P. 012045. – DOI 10.1088/1742-6596/1926/1/012045.

9. Petropavlovskaya V. [et al.]. Application of fuel ash as a microfiller in cement dispersion systems. Materials Science Forum. 2021. T. 1037 MSF. C. 729-736.

10. Petropavlovskaya, V., Novichenkova, T., Petropavlovskii, K., Aleksandrova, O. V., & Fischer, H. B. (2021). Application of Fuel Ash as a Microfiller in Cement Dispersion Systems. In Materials Science Forum (Vol. 1037.– pp. 729–736). Trans Tech Publications, Ltd. – DOI 10.4028/www.scientific.net/msf.1037.729.

11. Ahn, Tae Ho; Ogura, Norihiko. Cement composition comprising magnesium oxychloride, cement paste and mortar, and concrete material (2019), JP 2019085305 A 20190606.

12. Aleksandrova O.V.; Quang N.D.V.; Bulgakov B.I.; Fedosov S.V.; [et al.]. The Effect of Mineral Admixtures and Fine Aggregates on the Characteristics of High-Strength Fiber-Reinforced Concrete. Materials 2022,15,8851. [https://doi.org/ 10.3390/ma15248851](https://doi.org/10.3390/ma15248851).

13. Park, Jeong Jun; Lee, Jong Yeol; Hong, Pyo; Lee, Seon Mok; Lee, Dae Geun. Quick-setting cement concrete composition and repair method of road and bridge concrete structure using the same. (2018), KR 1831632 B1 20180223.

**УДК 666.914:666.913**

***Моторыкин Д.А., Отман А.С.А., Коваленко Е.В.***

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

***Белгородский государственный технологический университет***

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

## **ЭФФЕКТИВНОСТЬ VINNAPAS 8034Н ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ВОДОСТОЙКОСТИ КОМПОЗИТНОГО ГИПСОВОГО ВЯЖУЩЕГО**

На сегодняшний день композиционные гипсовые вяжущие (КГВ) активно внедряются на рынок строительных материалов, замещая традиционные составы на основе портландцемента. Это связано с

распространенностью природных источников гипсового сырья и гипсосодержащих отходов, простотой производства изделий и др.

КГВ – это трехкомпонентная смесь из гипса, цемента и минеральной добавки. Смешение различных типов вяжущего, позволило объединить их свойства и уменьшить недостатки. Так, добавление в состав гипсового вяжущего цемента способствует росту его водостойкости, сохраняя при этом преимущества гипса – быстрый набор прочности, неподверженность усадке и низкую теплопроводность [1-3].

Поскольку КГВ является сухой строительной смесью, то рекомендовано введение в его состав функциональных добавок способствующих повышению гидрофобизации изделий [4]. Одной из таких добавок являются, релаксационные полимерные порошки (РПП). РПП – это сухие порошки, произведенные из органических полимеров методом распылительной сушки. При контакте с водой они образуют водную дисперсию, которая, по мере твердения, распределяется по поверхности твердых частиц в виде полимерной пленки, не оказывая химического воздействия на вяжущее, а лишь формируя гибкие связи, что увеличивает эластичность смеси.

Однако для создания непрерывной полимерной фазы, способной обеспечить повышение физико-механических свойств КГВ, необходимо применение РПП не менее 5%. Но по причине высокой стоимости РПП, как полноценного компонента вяжущего, наибольший интерес представляет его применения в составе КГВ при дозировке до 1%. При такой дозировке полимер производит модифицирующий эффект, а основную роль на структуру и свойств материала получают минеральные компоненты [5].

Целью работы является изучение свойств КГВ, модифицированного релаксационным порошком.

Проведя анализ технической литературы, был выбран релаксационный порошок Vinnapas 8034H.

Vinnapas 8034H – это релаксационный порошок в воде гидрофобный порошок терполимера этилена, виниллаурата и винилхлорида. По утверждению производителя [6]. добавление Vinnapas 8034H в состав смеси способствует длительному гидрофобизирующему эффекту строительных материалов, а также значительному понижению водопоглощения изделий.

Материалы, используемые в работе: высокопрочный гипс ГВВС-16; бездобавочный протландцемент Цем I 42,5, высокоактивный метакаолин ВМК – 45, релаксационный порошок Vinnapas 8034H, а так же суперпластификатор (для снижения водопотребности).

Для дальнейшего проведения испытаний путем смешивания были приготовлены составы КГВ, включающие: ГВВС-16 – 70%, протландцемент – 25-30%, ВМК – 5% от массы цемента и суперпластификатор – 2%.

Чтобы изучить влияние ретиспергирующего порошка Vinnapas 8034H на свойства КГВ, были изготовлены контрольные образцы с дозировкой от 0,3 до 1% от массы вяжущего. Смесь готовилась равноподвижной с P=180-185 мм. Основными свойствами исследования были выбраны прочность на сжатие, водопоглощение и коэффициент размягчения.

Для определения физических свойств были заформованы образцы – кубики размером 30x30x30 мм. Испытания на прочность проводились в возрасте 2 часов, 7 и 28 суток.

Результаты исследования приведены в таблице.

Таблица – Физические показатели образцов КГВ

№	КГВ	Vinnapas %	В/В	нач. схв мин. с.	кон. схв. мин. с.	R сж, МПа с			Kp	W %
						2 ч.	7 сут.	28 сут.		
1	350	1	0.2	6-45	12-00	23.3	44,6	48.9	0.90	1.6
2		0.5		6-30	12-00	25.9	47.0	51.5	0.87	1.7
3		0.3		6-30	12-00	26.2	47.5	52.0	0.85	2.3
4		0		5-35	14-00	27.0	48.0	52.0	0,85	5.19

В результате проведенного исследования было установлено, что введение в состав вяжущего Vinnapas 8034H не оказывает влияние на количество воды (водовяжущее отношение во всех случаях составило В/В=0,2), однако способствовало увеличению сроков начала схватывания (с 5-35 до 6-45 мин) и уменьшению конца схватывания (с 14 до 12 минут). Так же наблюдается повышение вязкости смеси.

При добавлении Vinnapas 8034H в количестве 1% наблюдается снижение прочности сжатия образцов до 23,3 МПа в возрасте 2 часов и до 48,9 МПа в возрасте 28 суток в сравнении с образцами без добавки, где показатели составили 27 и 52 МПа.

Коэффициент размягчения образцов КГВ в возрасте 28 суток после нахождения их в воде до постоянной массы, при добавлении ретиспергирующего порошка возрастает с 0,85 до 0,9.

Так же происходит сильное снижение водопоглощения по массе с 5,19 % до 1,6 %.

Таким образом было установлено, что модификация КГВ добавкой Vinnapas 8034H способствует увеличению Kp на 10% и уменьшению водопоглощения в 3 раза по сравнению с бездобавочным составом.

Добавление в состав релаксирующего порошка Vinnapas 8034H в количестве от 0,3 до 1 % от массы вяжущего прочностные характеристики снижаются на 3-7%.

По результатам исследования для дальнейших испытаний рационально использовать 0,5 % добавки Vinnapas 8034H.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Потапова Е.Н., Исаева И.В. Повышение водостойкости гипсового вяжущего // Construction materials. 2012. №7. – С. 20–22.

2. Чернышева Н.В., Отман А.С.А., Моторыкин Д.А., Бочарников А.Л. Бетоны на композиционном гипсовом вяжущем с использование отходов дробления известняка // Университетская наука 2021. № 1 (11). – С. 87-90.

3. Чернышева Н.В., Лесовик В.С., Дребезгова М.Ю. Водостойкие гипсовые композиционные материалы с применением техногенного сырья // Белгород: Изд. БГТУ, 2015. 321 с.

4. Урбанов Андрей Витальевич, Манушина Анна Сергеевна, Потапова Екатерина Николаевна Влияние модифицирующих добавок на свойства композиционного гипсового вяжущего // Успехи в химии и химической технологии. 2017. №3 (184). – С. 111–113.

5. Панферова А.Ю., Гаркави М.С. Модифицирование гипсовых систем малыми добавками полимеров // Construction materials. 2011. №6. – С. 8–9.

6. Ахтариев Р.Р., Салихов Р.Э., Низамутдинова Э.Р., Эффективность добавки Vinnapas 8034h в гипсоцементных смесях // Символ науки. 2018. №11. – С. 7–9.

**УДК 69**

**1**

*Мугахед Амран<sup>1</sup>, Яцюк М.К.<sup>2</sup>, Выходцев И.А.<sup>2</sup>*

*Научный руководитель: Федюк Р.С., д-р техн. наук, доц.*

*<sup>1</sup>Университет принца Саттама Бин Абдулазиза, г. Аль-Хардж, Саудовская Аравия*

*<sup>2</sup>Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток, Россия*

## ВИДЫ КОРРОЗИИ БЕТОНА В ЖИДКОЙ СРЕДЕ

Из большого числа разнообразных процессов коррозии бетона от воздействия воды выделяют три основных ее вида (Рис. 1):



1. Еще в начале 20 века было доказано, что главные компоненты цементного камня в бетоне, такие как гидросиликаты, гидроалюминаты, гидроалюмоферриты и гидроксид кальция, могут существовать в твердой фазе в равновесии с жидкой только при условии ее насыщения или пересыщения относительно ионов  $\text{Ca}^{2+}$  [1-2]. Следовательно, длительное воздействие воды на напорные сооружения обязательно приведет к выщелачиванию ионов кальция и последующему разложению кристаллогидратов цементного камня, то есть к коррозии бетона первого вида. Коррозия первого вида развивается от постоянного воздействия гидростатического напора, в процессе чего происходит растворение и выщелачивание извести (наиболее растворимого компонента цементного камня), а также разложение структуросвязывающих компонентов бетона – гидросиликатов, гидроалюминатов и гидроферритов кальция. По мере растворения и выноса извести из бетона начинается гидролитическое разложение этих компонентов. Такое разложение влечет за собой образование малосвязных продуктов (кремниевых кислот, гидроокисей алюминия, гидроокисей железа) и, соответственно, снижение прочности бетона. Наиболее интенсивное выщелачивание наблюдается в напорных частях гидротехнических сооружений [3-4].

2. Коррозия второго вида происходит от воздействия воды, содержащей катионы металла, которые усиливают вынос из цементного камня растворимых соединений (хлористый натрий, уголекислоты). Таким образом, коррозия протекает за счет химических реакций обмена, протекающих между цементным камнем и агрессивной средой. В результате таких реакций происходит формирование продуктов распада со слабыми вяжущими свойствами, которые под действием жидкостей легко вымываются из структуры бетона. Основные типы коррозии второго вида: уголекислотная, кислотная и щелочная [5-6].

3. Коррозия третьего вида возникает от воздействия воды, содержащей кислотные анионы (сульфаты). Коррозия этого типа характеризуется образованием и кристаллизацией в бетоне новых соединений в результате взаимодействия продуктов гидратации цемента с веществами, растворимыми в воде. В результате происходит расширение пористой структуры, что приводит к появлению трещин и последующему нарушению целостности всего сооружения. С другой стороны, очевидно можно управлять структурообразованием, так, чтобы бетон в морской воде упрочнялся.



Рис. 1 Виды коррозии бетона в жидкой среде

Коррозия бетона в морской воде протекает в результате действия ряда физических и химических факторов, роль которых неоднозначна. Некоторые из них относятся даже к конструктивным, приводящим к улучшению качества бетона, другие же - к деструктивным. Поведение бетона в морской воде трудно прогнозировать, так как многие реакции при этом протекают в неравновесных условиях и термодинамические данные могут служить в лучшем случае лишь как оценочные [7-8].

Установлено, что разрушение бетона в морской воде - результат одновременного протекания нескольких реакций; это частично объясняет, почему морская вода менее агрессивна, чем этого можно было бы ожидать исходя из деструктивных процессов, вызываемых действием на бетон содержащихся в ней ионов, но взятых в отдельности. Морская вода состоит примерно из 3,5 % растворимых солей (по массе).

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шаповалов, Н.А. Тяжелые бетоны на карбонатном заполнителе улучшенного качества / Н.А. Шаповалов, М.М. Косухин, А.А. Слюсарь, О.В. Мухачев // Строительные материалы. - 2002. - №1. - С. 8-9.
2. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. - М., 2018. - 150 с.
3. Santos, R.F. Nanofibrillated cellulose and its applications in cement-based composites: A review / R.F. Santos, J.C. Lopes Ribeiro, J.M. Franco

de Carvalho, W.L. Esteves Magalhães, L.G. Pedroti, G.H. Nalon, G.E. Soares de Lima // Construction and Building Materials. - 2021. – Vol. 288. – P. 123122.

4. Tafesse, M. Flowability and electrical properties of cement composites with mechanical dispersion of carbon nanotube / M. Tafesse, N.K. Lee, A.S. Alemu, H.K. Lee, S.W. Kim, H.-K. Kim // Construction and Building Materials. - 2021. – Vol. 293. - P. 123436.

5. Kumar, M. An overview of beneficiary aspects of zinc oxide nanoparticles on performance of cement composites / M. Kumar, M. Bansal, R. Garg // Materialstoday: Proceedings. - 2021. Vol. 43(2). - P. 892-898.

6. Akbar, A. Multicriteria performance evaluation of fiber-reinforced cement composites: An environmental perspective / A. Akbar, K.M. Liew // Composites Part B: Engineering. - 2021. – Vol. 218. – P. 108937.

7. Ling. Y. Graphene reinforced cement composites: A review / Y. Ling, H. Du // Construction and Building Materials. - 2020. – Vol. 265. – P. 120312.

8. Dinesh, A. Carbon nanofiber embedded cement composites: Properties and promises as sensor – A review / A. Dinesh, B. Abirami, G. Moulica // Materialstoday: Proceedings. - 2021. – Vol. 44(6). - P. 4166-4172.

#### **УДК 691**

***Мурали Гунасекаран<sup>1</sup>, Яцюк М.К.<sup>2</sup>, Выходцев И.А.<sup>2</sup>***  
***Научный руководитель: Федюк Р.С., д-р техн. наук, доц.***

*<sup>1</sup>Университет САСТРА, г. Танджавур, Индия*

*<sup>2</sup>Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток, Россия*

### **КОРРОЗИЯ БЕТОНА В МОРСКОЙ ВОДЕ**

Коррозию бетона в морской воде можно подразделить в зависимости от условий эксплуатации сооружений следующим образом:

1) наружная часть сооружения, находящаяся выше линии прилива. Она непосредственно не соприкасается с морской водой, однако находится под действием воздуха, содержащего перечисленные ранее соли. Разрушение этой части сооружения может ограничиться коррозией арматуры; для нее следует учитывать также необходимость обеспечения морозостойкости бетона;

2) часть сооружения, находящаяся в зоне действия приливов. Она подвергается смачиванию и высушиванию, замораживанию, химическому перерождению продуктов гидратации цемента, эрозии под действием воды, песка и льда; арматура в этой зоне корродирует.

3) часть сооружения, находящаяся ниже зоны действия приливов. Здесь возможно химическое перерождение продуктов гидратации цемента, но эта часть сооружения менее подвержена периодическому замораживанию в ней не столь интенсивно, как в предыдущей зоне, развивается коррозия стальной арматуры.

Водные растворы различных веществ, органические вещества в жидком и твердом состоянии, а также различные газы могут вызвать химическую коррозию бетона. Физическая коррозия бетона и железобетона вызывается сменой отрицательных и положительных температур, попеременным увлажнением и высыханием, сопровождающимися деформациями усадки и набухания, отложением солей в порах цементного камня при систематическом проникании солевого раствора.

Ввиду многообразия свойств агрессивных сред и процессов коррозии выбор эффективного метода борьбы с коррозией весьма затруднителен. На основании результатов изучения коррозионных процессов и характера разрушения эксплуатируемых конструкций в [1-2], кроме вышперечисленных видов коррозии бетона, также выделена магниальная коррозия, разделяемую на собственно магниальную, которая вызывается действием ионов магния при отсутствии в воде ионов  $SO_4$ , и магниальногипсовую или сульфатномагниальную, происходящую при совместном воздействии на бетон ионов  $Mg$  и  $SO_4$ .

Хотя хлорид и сульфат магния содержатся в морской воде в небольших количествах, они могут вызвать коррозию бетона вследствие их реакции с  $Ca^{2+}$ .  $Mg^{2+}$  из сульфата магния может заместить  $Ca^{2+}$  в гидросиликатах кальция; при этом сначала образуются кальциевомагниевоы, а затем магниевые гидросиликаты. Эти реакции приводят к ослаблению бетона вследствие возрастания его пористости.

При хранении бетона в морской воде было также обнаружено изменение в составе и в кристаллической структуре этtringита: в нем оказалось до 5%  $SO_2$  и 0,2% хлорида.

Гидрохлоралюминат кальция редко образуется при действии на бетон морской воды, так как в присутствии сульфатов кристаллизуется преимущественно этtringит. Если даже гидрохлоралюминат кальция и образуется, то в виде хорошо оформленных гексагональных пластинок, расположенных в порах цементного камня и поэтому не приводящих к сильной деструкции.

Роль таумазита в коррозии бетона в морской воде еще не ясна; представляется, однако, что он не обладает вяжущими свойствами.

Влияние состава и дисперсности цемента. Высказывать определенные заключения о влиянии индивидуальных фаз

портландцемента на коррозию бетона в морской воде затруднительно, так как присутствие других соединений и окружающей среды может нейтрализовать основной эффект. Тем не менее очевидно, что наличие в цементе 13%  $C_3A$  приводит к деструктивным процессам, а в сочетании с высоким содержанием  $C_3S$  делает бетон нестойким в условиях морской агрессии. Об этом свидетельствуют данные, на котором представлена кинетика развития линейных деформаций растворных образцов из различных портландцементов при их хранении в морской воде.

Однако в докладах сообщается о высокой долговечности в морской воде бетонов, приготовленных при низком В/Ц из цементов, содержащих до 17 %  $C_3A$ . Хотя в основе расширения бетона, находящегося в растворах сульфатов, лежит образование этtringита, этот последний редко бывает единственной причиной разрушения бетона в морской воде. Это объясняется тем, что реакции, приводящие к формированию этtringита и гипса в морской воде, в отличие от аналогичных реакций в чистых растворах сульфатов натрия и магния, не приводят к набуханию бетона, поскольку и этtringит, и гипс имеют повышенную растворимость в жидких хлоридных средах.

Существенное влияние на сопротивление бетона разрыву оказывает тонкость помола цемента, так как вместе с ней растет и дисперсность  $C_3A$ ; соответственно возрастает однородность распределения этtringита в цементном камне и амортизируются напряжения в бетоне.

Последовательность протекания реакций. В.М. Москвин [7] предлагает следующую схему реакций для описания коррозии бетона в морской воде. Углекислый газ реагирует с поверхностью бетона, образуя арагонит, что приводит к повышению непроницаемости бетона. Однако в силу высокой концентрации  $CO_2$  в морской воде арагонит переходит в бикарбонат кальция, выщелачиваемый из поверхности бетона. Действие  $CO_2$  на плотный бетон лимитирует скорость реакции на его поверхности.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шаповалов, Н.А. Тяжелые бетоны на карбонатном заполнителе улучшенного качества / Н.А. Шаповалов, М.М. Косухин, А.А. Слюсарь, О.В. Мухачев // Строительные материалы. - 2002. - №1. - С. 8-9.
2. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. – М., 2018. – 150 с.
3. Santos, R.F. Nanofibrillated cellulose and its applications in cement-

based composites: A review / R.F. Santos, J.C. Lopes Ribeiro, J.M. Franco de Carvalho, W.L. Esteves Magalhães, L.G. Pedroti, G.H. Nalon, G.E. Soares de Lima // Construction and Building Materials. - 2021. – Vol. 288. – P. 123122.

4. Tafesse, M. Flowability and electrical properties of cement composites with mechanical dispersion of carbon nanotube / M. Tafesse, N.K. Lee, A.S. Alemu, H.K. Lee, S.W. Kim, H.-K. Kim // Construction and Building Materials. - 2021. – Vol. 293. - P. 123436.

5. Kumar, M. An overview of beneficiary aspects of zinc oxide nanoparticles on performance of cement composites / M. Kumar, M. Bansal, R. Garg // Materialstoday: Proceedings. - 2021. Vol. 43(2). - P. 892-898.

6. Akbar, A. Multicriteria performance evaluation of fiber-reinforced cement composites: An environmental perspective / A. Akbar, K.M. Liew // Composites Part B: Engineering. - 2021. – Vol. 218. – P. 108937.

7. Москвин, В.М. Коррозия бетона / В. М. Москвин. - М : Гос. изд-во лит. по строительству и архитектуре, 1952. - 344 с.

**УДК 330**

**Мухин И.В.**

**Научный руководитель: Ярмоленко Л.И., доц.**

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

## **СОВРЕМЕННЫЕ УСЛОВИЯ РАЗВИТИЯ ЖИЛИЩНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА В РОССИИ**

Нынешнее состояние мировой экономики можно характеризовать как нестабильное. Начиная с эпидемии коронавируса, спровоцировавшей локдауны по всему миру и застопорившей рост экономики многих стран, к 2023 году экономические проблемы лишь накапливались. Квинтэссенцией этого стало геополитическое противостояние запада и России. Оно привело к экономической и военной агрессии в российскую сторону. На данный момент мировая экономика идет на спад, что отражается и на нашей стране.

Некоторые исследователи характеризуют сложившуюся ситуацию как «эпоху беспорядка». Данное понятие было введено в обиход в 2020 году экспертами Deutsche Bank и на данный момент оно актуально как никогда. Среди основных тенденций развития мировой экономики были отмечены [6]:

- повсеместный пересмотр традиционных подходов к ведению

бизнеса;

- необходимость эволюционной или адапционной трансформации текущих бизнес-моделей;
- новая технологическая революция;
- рост глобальной озабоченности вопросами климата и экологии;
- ужесточение конкуренции между поколениями X, Y и Z за товары и рабочие места.

Безусловно, разлад экономической системы, а также проблем политического управления касаются и строительной сферы. Особенно актуальным становится вопрос об обеспечении экономической устойчивости строительной отрасли, когда Россия активно занимается обустройством разрушенных боевыми действиями территорий в зоне СВО. Потому для понимания дальнейшего развития строительной отрасли в России, а также прогнозирования возможных проблем в данной сфере и разработки механизмов противостояния им следует оценить сложившиеся тенденции, дать им оценку и разработать практические рекомендации по улучшению сложившейся ситуации.

Для строительной отрасли в России наиболее сильные удары по жилищному сектору пришлось на 2008-2010 и 2016-2019 гг. (рис. 1) В первом случае сказался мировой финансовый кризис 2008 года, а во втором отложенный эффект от кризиса 2014 [2].

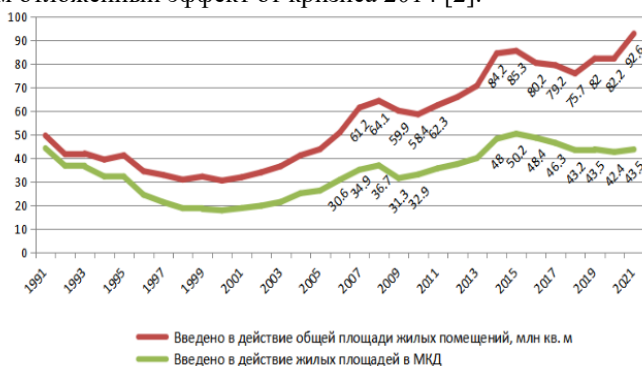


Рис. 1 Ввод в действие общей площади жилых помещений, млн м<sup>2</sup> [2]

В периоды экономических кризисов и социально-экономической нестабильности значительно возрастает роль участия государства в экономической жизни, в том числе и в обеспечении стабильного развития отрасли жилищного строительства.

Основы государственной политики в данной сфере заложены в Стратегии развития строительной отрасли и жилищно-коммунального

хозяйства Российской Федерации до 2030 года, утвержденной в соответствии с Распоряжением Правительства Российской Федерации от 31.10.2022 № 3268-р [9]. В ней дается характеристика состоянию строительного сектора, а также определены принципы, цели, задачи и приоритеты направления государственной политики государства по развитию строительства в России.

Согласно данному программному документу, наиболее эффективными практиками и тенденциями в строительной сфере, почерпнутыми из мирового опыта, Правительство считает:

- «зеленые решения» и тенденции к изменению образа жизни в сторону более ответственного отношения к состоянию окружающей среды;
- трансформация многих сфер жизни в соответствии с развитием информационных технологий;
- формирование комфортной городской среды;
- декарбонизация ЖКХ, а также создание условий для привлечения инвестиций в климатические проекты, нацеленные на улучшение состояния окружающей среды.

Как можно заметить, достаточно пристальное внимание Правительство уделяет развитию «зеленых» аспектов в строительстве. При этом, у данного направления существует ряд фундаментальных трудностей. Для их преодоления исследователями А.В. Бабкиным, Г.И. Курчевой и Л.А. Апреловой были разработаны некоторые рекомендации, с которыми согласны и авторы данной статьи (табл.).

Таблица – Предложения для решения проблем при реализации концепции зеленого строительства в России [1]

<b>Проблема</b>	<b>Решение</b>
Дороговизна внедрения инновационных технологий	Предоставление льготного кредита, выделение грантов на реализацию зеленых проектов
Несовершенная нормативно-правовая база	1) Поддержка зеленого строительства на законодательном уровне. 2) Создание государственной программы по зеленому строительству
Отсутствие экономических стимулов развития зеленого строительства	1) Осуществление системного поощрения реализации проектов зеленого строительства в виде налоговых льгот. 2) Мотивирование всех участников строительного процесса



	(проектировщиков, подрядчиков) в виде предоставления налоговых льгот по заказам при работе на энергоэффективных объектах. 3) Популяризация информации в СМИ о преимуществах применения зеленых технологий.
Низкий уровень потребительского спроса на недвижимость в большинстве регионов России	Введение дополнительных стимулов для населения владеть объектами недвижимости, построенной по зеленым технологиям: льготный кредит, налоговые льготы и др.
Низкий уровень популяризации преимуществ зеленого строительства в СМИ и органами власти	Интенсивное освещение в СМИ и на официальных сайтах органов власти информации о результатах соответствующих проектов, их благотворных последствиях и влиянии на здоровье города
Недостаток квалифицированных кадров	Осуществление профессионального обучения кадров – программы подготовки по профессиям рабочих, должностям служащих, программы переподготовки рабочих и служащих
Ограниченные финансовые ресурсы для реализации политики зеленого строительства	Развитие механизмов вовлечения инвесторов для реализации проектов по зеленому строительству в области КС, ГЧП/МЧП

На данный момент, в сфере жилищного строительства сложились условия, при которых становится крайне затруднительно развивать строительный сектор и расширять многоквартирную застройку. В силу сложившихся кризисных условий, спрос на жилплощадь в новостройках снизился: в Московской области – минус 14%, в Новой Москве – минус 20% в Санкт-Петербурге снижение составило 33%, в Ленобласти – 30%. По России в целом данный показатель составил 8,9% [10]. Вместе с тем, наблюдается явная излишняя нагрузка на существующую городскую инфраструктуру, что также отмечено в стратегии Правительства.

Уже исходя из данных условий, а также того, что в ближайшее время не ожидается роста реальных доходов населения, вряд ли представляется целесообразным дальнейшее развитие жилищной застройки в крупных городах. При этом, существует явная проблема перенагрузки больших городов из-за внутренней миграции из регионов,

в силу чего приобретает актуальность регионализация (районирование) территорий с целью развития жилищной инфраструктуры в малых городах и сельской местности, дабы создать условия, при которых отток населения будет не столь стремительный [6].

Согласно последним исследованиям, в России существует явная тенденция на формирование агломераций вокруг крупных городов, состоящих из сети более малых. Но она стопорится за счет того, что рост жилищного строительства приходится преимущественно на мегаполисы. Например, за период с 2010 по 2019 годы «в 700 городах РФ не было построено ни одного многоквартирного дома» [3].

Для преодоления этой проблемы, помимо мобилизации ресурсов федеральных властей, следует обратить внимание на то, что немаловажную роль в развитии малых и средних городов играют муниципальные власти. Согласно исследованию В.В. Костина и В.С. Морозовой, среди основных элементов муниципальной политики в области ЖКХ и жилищного строительства особенно выделяются [5]:

- 1) механизм производства услуг;
- 2) тарифная политика;
- 3) интерес населения по вопросам в сфере жилищно-коммунального хозяйства.

Именно на эти основные аспекты следует обратить внимание муниципальным властям для формирования эффективного механизма регулирования жилищного строительства.

Таким образом, можно констатировать, что:

1. Развернувшийся кризис, а также последствия предыдущих кризисов, не создают достаточных условий для роста реальных доходов населения, в силу чего не следует ожидать роста спроса на жилье в новостройках.

2. В силу сложившейся ситуации, государству необходимо уделить пристальное внимание помощи субъектам экономической деятельности в сфере жилищного строительства.

3. Согласно Стратегии развития строительства до 2030 года, наиболее приоритетным направлением сейчас является переход методов застройки на «зеленые рельсы».

4. Зафиксировано явное падение спроса на новое жилье, что может крайне негативно сказаться на застройщиках.

5. Для решения сложившейся ситуации со строительством нового жилья в мегаполисах, а также с целью снижения нагрузки на городскую инфраструктуру крупных мегаполисов, застройщикам следует обратить внимание на перенос своей деятельности в малые города в составе агломераций.

6. Для успешного перехода к политике регионализации жилищной застройки требуется комплексное взаимодействие федеральных, региональных и муниципальных властей. Причем муниципальные власти здесь играют ключевую роль.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бабкин, А.В., Курчеева, Г.И., Апрелова, Л.А. Проблемы зеленого строительства в условиях реализации концепции здорового города / А.В. Бабкин, Г.И. Курчеева, Л.А. Апрелова // *π-Economy*. – 2022. – № 2. – С. 59–78.

2. Грушина, О.В., Красноштанова, Т.А. Кризисы XXI века, или как выжить отрасли жилищного строительства в РФ / О.В. Грушина, Т.А. Красноштанова // Государственное управление. Электронный вестник. – 2022. – № 95. – С. 20-40.

3. Зотов, В.Б. Развитие и угасание российских городов: причины и возможные решения / В.Б. Зотов // Вестник университета. – 2023. – № 2. – С. 41-47.

4. Козлюк, А. Г. Функционирование жилищно-коммунального хозяйства России в современных условиях и пути преодоления кризисной ситуации: учеб. пособие для студентов, / А. Г. Козлюк, О. В. Байдин. - Белгород: Изд-во БГТУ им. В. Г. Шухова, 2010. - 117 с.

5. Костин, В.В., Морозова, В.С. К вопросу о муниципальной политике в сфере жилищно-коммунального хозяйства / В.В. Костин, В.С. Морозова // Проблемы и перспективы развития социально-экономических и гуманитарных наук: педагогика, психология, экономика, юриспруденция. – 2023. – № 1. – С. 54-59

6. Ли, А.Г., Родкин, А.В., Шодиев, О.А.У. Разработка методических основ пространственно-территориального развития объектов малоэтажного жилищного строительства в пригородных зонах и сельской местности / А.Г. Ли, А.В. Родкин, О.А.У. Шодиев // «ИННОВАЦИИ И ИНВЕСТИЦИИ». – 2023. – № 3. – С. 228-232.

7. Плетнева, Н.Г., Сбитнева, Д.В. Вызовы и тенденции развития жилищного строительства в «эпоху беспорядка» / Н.Г. Плетнева, Д.В. Сбитнева // Теоретическая экономика. – 2021 – №11. – С. 116-121.

8. Фомин, П. Б. Актуальные аспекты инновационного развития строительной отрасли / П. Б. Фомин // Экономика строительства. - 2012. - N 2. - С. 15-20.

9. Распоряжение Правительства РФ от 31.10.2022 № 3268-р «Об утверждении Стратегии развития строительной отрасли и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации на период до 2030

года с прогнозом до 2035 года» [Электронный ресурс] – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс». URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_430333/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_430333/)

10. В 2023 году спрос на новостройки резко упал. Что дальше [Электронный ресурс]. URL: <https://reality.rbc.ru/news/6414922e9a79479b3d435722>

*УДК 691.55*

*Неровная С.В., Клименкова Е.В., Чикилева Е.Н.  
Научный руководитель: Сивальнева М.Н., канд. техн. наук, доц.  
Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## **ВЛИЯНИЕ МИКРОАРМИРОВАНИЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ШТУКАТУРНЫХ СМЕСЕЙ**

В строительной индустрии отделочные работы являются значимым этапом, включающим в себя широкий спектр мероприятий, направленных на создание внешней и внутренней отделки. Качество отделочных работ влияет на характеристики объекта в целом, а также его технико-экономическую эффективность. Штукатурные работы относятся к одному из самых трудоемких видов отделочных работ при строительстве жилых, общественных и промышленных зданий. Вручную выполняемые штукатурные работы требуют до 35 % трудозатрат на весь отделочный цикл и до 10 % общей сметной стоимости возведения объекта [1].

Штукатурные смеси применяются для создания ровных и прочных поверхностей зданий и сооружений. При работе с данными материалами следует учитывать различные факторы, влияющие на их качество и долговечность. Одним из факторов, способствующим увеличению прочности и устойчивости штукатурных смесей, является микроармирование. Данный способ представляет собой процесс введения в состав смеси микроармирующих элементов, преимущественно фибру, что способствует укреплению структуры конечного покрытия.

В статье рассмотрены роль микроармирования в контексте штукатурных смесей и влияние основных типов микроармирующих элементов на характеристики данных смесей. Согласно классификационному разделению фибра в зависимости от происхождения подразделяется на две укрупненные группы – природная

и искусственная, каждая из которых, в свою очередь, делится на органическую, неорганическую, а также смешанную.

Распространенными микроармирующими элементами, применяемыми в строительном материаловедении, являются стеклянные и полипропиленовые волокна. Стеклянная фибра обладает высокой прочностью, а при условии применения щелочестойкого волокна, отмечается устойчивостью к разрушению в агрессивной среде цементных систем, что позволяет использовать ее в составе штукатурных смесей для создания более прочных поверхностей. Полипропиленовые волокна, в свою очередь, обладают деформационной устойчивостью и, если дополнить волокно специальными добавками, способностью удерживать влагу, что определяет предпочтительность их выбора для работы с влажными смесями [2].

Базальтовые волокна также могут быть использованы в качестве наполнителя штукатурных смесей для предотвращения образования трещин в конечном покрытии (особенно при пониженных температурах) и улучшения укладываемости раствора. В результате, конечное армированное покрытие характеризуется повышенной стойкостью к динамическим нагрузкам и трещиностойкостью.

Возможно использование металлических армирующих элементов, однако их применение ограничено ввиду склонности к коррозии и утяжелению конструкции.

Анализ проведенных исследований влияния различных типов волокон на микроармирование штукатурных смесей показал, что их введение в смесь способствует уменьшению усадочных деформаций и увеличению показателя прочности при изгибе. Так же отмечается положительное влияние от полиармирования системы, т.е. смешивания волокон разных типов и размеров.

В исследовании [3] было выявлено, что добавление микроармирующих базальтовых и полиамидных волокон в состав штукатурных смесей в количестве 3 % приводит к увеличению предела прочности при растяжении конечного покрытия на 12–14 %. Оптимизация структуры затвердевшей матрицы достигается путем введения микроармирующих волокон в сухую штукатурную смесь до добавления воды. Волокна равномерно распределены по всему объему штукатурной смеси, что обеспечивает армирование по всей длине и, следовательно, создает более прочную и долговечную структуру.

Введение фиброволокна любой длины повышает показатели штукатурных растворов: на 30–50 % для прочности при сжатии и адгезии, в 1,5–3 раза для показателя прочности при изгибе. С целью

повышения трещиностойкости гипсовой штукатурки на поверхностях силикатного кирпича оптимальным является введение фиброволокна длиной 3 мм в количестве 0,4 % от массы [4].

Улучшенные технические характеристики могут быть достигнуты при использовании стеклянных, углеродных волокон, однако последний тип имеет более высокую цену по сравнению со стеклянными волокнами, полученными из рафинированных стеклянных нитей. Синтетические волокна имеют низкие экономические и экологические показатели по сравнению с натуральными волокнами: кокосовыми, кукурузными, соломенными, тростниковыми, сизалевыми и т.п. Натуральные волокна имеют низкую стоимость, так как многие из них являются продуктом, получаемым из отходов пищевого производства. Кроме того, растения, используемые для получения натуральных волокон, могут выращиваться круглый год. Применение «зеленых» технологий, в которых используются натуральные волокна, может способствовать энергосбережению и охране окружающей среды [5]. Однако, основным фактором, сдерживающим их распространение, является низкая стойкость в цементных системах.

Введение микроармирующих элементов в состав штукатурных смесей способно значительно повысить их прочность и устойчивость. Этот процесс может привести к улучшению механических свойств смеси, преимущественно прочности на разрыв и сжатие, а также к снижению ее склонности к трещинам и деформациям.

Микроармирование – эффективный способ повышения стойкости к ударным нагрузкам штукатурных смесей. Это особенно важно в случаях, когда поверхность подвергается интенсивной эксплуатации, например, в зонах с большим потоком людей или наружных стен зданий.

Помимо улучшения прочностных характеристик, микроармирование позволяет повысить водонепроницаемость и морозостойкость штукатурных смесей. Волокна, добавленные в состав, создают трехмерную сеть, которая уменьшает размер пор в материале и защищает его от проникновения влаги и, как следствие, позволяет выдерживать больше циклов замораживания и оттаивания. Это особенно важно в условиях суровых климатических условий, когда поверхности подвергаются перепадам температур и высокой влажности.

Кроме того, микроармирование позволяет улучшить эстетические характеристики штукатурных поверхностей. Волокна, входящие в состав материала, способны выравнять неровности и скрывать мелкие дефекты поверхности, такие как трещины и шероховатости. Благодаря

этому штукатурка приобретает более гладкий и ровный вид, что делает ее более привлекательной с эстетической точки зрения.

Использование микроармирующих элементов имеет не только техническое, но и экономическое обоснование, выраженное снижением затрат на ремонт и обслуживание поверхностей. Повышенные характеристики армированных штукатурных покрытий обеспечивают сохранение первоначального декоративного вида и конструктивной целостности зданий и сооружений.

Таким образом, использование микроармирующих элементов в штукатурных смесях имеет множество преимуществ, связанных с улучшением прочности, водонепроницаемости, морозостойкости, эстетических характеристик и экономичностью. В результате данные материалы приобретают востребованность при осуществлении строительных и ремонтных работ.

*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**

1. Верстов, В.В. Исследование процесса устройства монолитного штукатурного покрытия стен при отделке помещений гипсовыми смесями / В.В. Верстов, Д.Д. Тишкин // Вестник гражданских инженеров. – 2010. – С. 109–114.

2. Патент № 2457290 РФ, МПК D01F 6/06, C04B 16/06. Полипропиленовые волокна, способы их получения и их применение / Катаяма Т., Ивасаки Й., Нисияма М. // № 2009139241/05; заявл. 24.03.2008; опубл. 10.05.2011, Бюл. № 13 с.

3. Чернышева, Н.В. Влияние микроармирующих волокон на свойства гипсосодержащих композитов / Н.В. Чернышева, М.Б. Рыбцова // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2010. – № 1. – С. 73–76.

4. Белькова, Н.А. Исследования возможностей повышения качества гипсовых штукатурных смесей / Н.А. Белькова, Е.И. Шмитько // Химия, физика и механика материалов. – 2022. – № 4 (35). – С. 53–65.

5. Сяньпэн, В. Технические характеристики бетона с неметаллической фиброй / Сяньпэн Ван, С.Н. Леонович // Вестник донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2022. – С. 82–88.

*Нерубенко Д.П., Процык Е.С., Пономарёв М.С.  
Научный руководитель: Сальникова О.Н., канд. фил. наук, доц.  
Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## **ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ В СОВРЕМЕННОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

Природные ресурсы представляют собой совокупность объектов и систем как живой, так и не живой природы, которые используются в процессе производства для удовлетворения потребностей человека и общества. Природные ресурсы включают в себя: климатические ресурсы, то есть неисчерпаемые ресурсы, получаемые при использовании климата. земельные — это участок земли, который может быть использован в любой деятельности человека. Он может быть использован для строительства или проживания; минеральные представляют собой запасы полезных ископаемых, таких как топливные, рудные, нерудные; водные — это вся гидросфера, которая включает в себя все поверхностные и подземные воды, используемые в деятельности человека; биологические — растительные и животные организмы, которые используются человеком; рекреационные — совокупность природных объектов и исторических достопримечательностей, которые используются человеком для лечения, отдыха, туризма. Почвенные ресурсы — это участок земли, который используется лишь в сельском и лесном хозяйстве [1].

Человек в процессе эволюции научился использовать все природные ресурсы, создавая благоприятные условия для своего существования. Однако предел использования ресурсов еще не достигнут. Поэтому в данной статье мы рассмотрим использование природных ресурсов в сфере строительства. Для него наиболее применяемыми являются минеральные, земельные ресурсы.

Земельные ресурсы используются во многих сферах. Рассматривая добывающую промышленность, земля является базисом и предметом труда, также можно сказать, что она является хранилищем полезных ископаемых, которые впоследствии могут быть использованы в строительстве. Для строительства и обрабатывающей промышленности земля является местом для совершения трудовых и производственных процессов. Для дорожного строительства земля является одним из главных условий проведения работ и местом для размещения объектов таких, как автомобильные дороги, трубопроводы и т.д. [2].



Рассмотрим минеральные ресурсы. Минералы обеспечивают общество всеми необходимыми материалами, а также дорогами, автомобилями, компьютерами и т.д.

В основном в качестве минеральных ресурсов для строительства используются горные породы. Горная порода — это геологическое тело в земной коре, которое состоит из одного или нескольких минералов.

Различают три типа горных пород: метаморфические, осадочные, магматические.

Горные породы, которые возникают путем охлаждения и застывания магмы внутри земной коры или на ее поверхности называют магматическими.

Осадочные породы в отличие от магматических образуются только на поверхности земли. Предпосылок для образования осадочных пород достаточно количество. В основном это — разрушение уже существующих горных пород, результат жизнедеятельности или гибели различных организмов. Также образованию осадочных пород содействуют химические процессы и выпадение осадков, которые состоят из перенасыщенных растворов.

Если на существующую горную породу будет воздействовать высокая температура, давление и химически активные реагенты, то образуются метаморфические горные породы.

Основная область применения магматических горных пород — это строительство. Из них изготавливают строительные и облицовочные материалы, а также применяют в стекольной, керамической и химической промышленности [3].

Наиболее распространенными в строительной сфере являются материалы из осадочных горных пород. Из известняков делают щебень, без которого не обойтись как в дорожном, так и промышленно — гражданском строительстве. Из осадочных пород образуется бутовый камень, который используется при возведении плотин и мостов, а также для дамб. Он применяется для фундаментов промышленных объектов, для различных инженерных сооружений и для устройства и ремонта автомобильных дорог. Доломиты имеют похожее применение и часто используются для изготовления бутового камня и щебня.

Известняки являются сырьем для строительной извести, которая используется для изготовления портландцемента, без которого тяжело представить себе сферу строительства. В основном его используют для изготовления монолитного и сборного бетона и железобетона. Также ячеистые, легкие и тяжелые бетоны. Для того, чтобы получить строительные растворы высоких марок, применяют портландцемент.

Рассмотрим применение гипса и ангидрита. Данный тип пород имеет интересное свойство – терять воду при нагревании, а при нахождении в воде затвердевать и в дальнейшем набирать прочность на воздухе. В естественном виде используются в качестве добавок для портландцемента. Из гипса производят перегородочные панели, плиты, обшивочные листы и применяют для штукатурных и отделочных работ.

Глины представляют собой осадочную породу. Тип легкоплавных глин или суглинки используют в качестве основного сырья для кирпича, черепицы и керамзита. Кирпич является одним из самых распространенных материалов для гражданского строительства.

Песчано – гравийные смеси, которые состоят из осадочных пород используют в качестве заполнителей бетона и асфальтобетона. Они образуются в результате разрушения горных пород природными процессами выветривания, переноса текучими водами и неоднократного переотложения. Песок –отсев, который представляет собой остаток после дробления или из состава песчано – гравийной смеси, используют в строительных растворах и вместе с крупным заполнителем в тяжелых бетонах. После обогащения песчано – гравийной смеси, ее можно использовать в качестве балластных дорожных отсыпок или для балластировки железнодорожных путей. Дорожное строительство и качество автомобильных дорог напрямую зависит от качества песчано – гравийной смеси.

Рассматривая применение метаморфических горных пород, можно выделить кварциты, мраморы и серпентиниты, которые используются в качестве облицовочного камня.

Из магматических пород также изготавливают щебень, например, из гранитов, диоритов, базальтов, порфиринов [4].

Нефть как полезное ископаемое добывают в виде маслянистой жидкости, которая состоит из углеводородных компонентов. Помимо того, что нефть используют в качестве сырья для различных видов топлива, ее используют для изготовления пластмассы. Также нефть используют в дорожном строительстве. На ее основе изготавливают битумное вяжущее и битумную эмульсию, которую используют для изготовления асфальтового покрытия [5].

Рудные полезные ископаемые, в число которых входят руды черных и цветных металлов, имеют магматическое происхождение.

Металлообрабатывающая промышленность выпускает широкий ассортимент металлических изделий. К ним относятся трубы медные, стальные, алюминиевые и из алюминиевых сплавов; мелкие стальные изделия в виде болтов, гаек, шайб, заклепок; прокатная угловая сталь (уголки, швеллеры, двутавры); прокат стальной тонколистовой,

рулонный (толщиной от 0,5 до 1,2 мм) с защитно-декоративным полимерным покрытием для холодного изготовления строительных конструкций; стальные листовые профили из холоднокатанного проката оцинкованные с алюмоцинковым или алюмокремниевым покрытием для кровельного настила (Н), настила и стеновых ограждений (НС) и только стеновых ограждений (С) [6].

Как отмечают современные исследователи, актуальность приобретает проблема рационального и эффективного использования метаморфических сланцев в строительной индустрии при производстве бетонов, асфальтобетонов, оснований дорожных одежд, силикатного кирпича, строительного щебня и других строительных и дорожно-строительных материалов [7].

Таким образом, природные ресурсы в современном строительстве необходимы на всех этапах и имеют широкое применение. Совершенствование проблемы их использования и применения возможно при условии всестороннего изучения и описания физико-механических и технологических свойств.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Быков В. Н. Природные ресурсы и охрана окружающей среды / В.Н. Быков// – Пермский государственный университет, 2001. С. 15–17.
2. Олейников Ю. В. От инфантильного бытия к зрелому обществу зрелых людей //Философские науки. – 2012. – №. 2. – С. 36-48.
3. СП 116.13330.2012. Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. М.: Госстрой России, 2012.
4. Грибенюк В. М., Кошевой Ю. Н. Применение горных пород в производстве строительных материалов: учебное пособие. 2017. 140 с.
5. Калинин Игорь Борисович Рациональное использование природных ресурсов и охрана окружающей среды как основа устойчивого природопользования // Вестн. Том. гос. ун-та. 2003. №279. [Электронный ресурс] URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ratsionalnoe-ispolzovanie-prirodnih-resursov-i-ohrana-okruzhayushey-sredy-kak-osnova-ustoychivogo-prirodopolzovaniya> (дата обращения: 03.04.2023).
6. Кондрашова Е. Н., Веденеева О. А., Сайгушев Н. Я. Южный Урал. Прошлое и настоящее Челябинской области. 2021. 287 С.
7. Редькин Г.И., Красюкова Е.И., Овчарова Н.В. Классификация горных пород по признакам их строения // Вектор ГеоНаук. 2018 Т.1. №3. С. 23-26.

*Нецвет Д.Д., Ветков В.В., Хомидов Х.О., Голец А.А.  
Научный руководитель: Нелюбова В.В., д-р техн. наук, доц.  
Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## **ВЛИЯНИЕ МИКРОАРМИРУЮЩИХ ВОЛОКОН НА МИКРОСТРУКТУРУ МОДИФИЦИРОВАННОЙ МАТРИЦЫ ДЛЯ ПЕНОБЕТОНА**

Эффективность и доступность по технико-экономическим показателям являются важными факторами при выборе строительных материалов. Достижение высокой экономической эффективности строительства требует внедрения материалов с улучшенными характеристиками. К таким материалам можно отнести ячеистые композиты, в частности – пенобетон, который обладает высокими теплоизоляционными свойствами. Однако использование пенобетона в качестве строительного материала ограничено его низкой прочностью и хрупкостью. С целью повышения характеристик пенобетона в него вводятся микроармирующие волокна различной геометрии и состава.

К преимуществам микроармированных пенобетонов можно отнести следующее: повышенную прочность на разрыв по сравнению с неармированным бетоном, увеличенную долговечность, повышенные трещиностойкость и ударную вязкость. Армированные волокном также повышает морозостойкость бетона и его усталостную прочность.

В ранее выполненных работах было исследовано влияние фибры на реологические и физико-механические свойства цементной смеси и смеси с дисперсными модификаторами [1–4].

Согласно полученным данным [2], при введении базальтового и стеклянного волокон совместно с дисперсными модификаторами (кварцевая суспензия, ангидрит) достигается повышение прочности на сжатие на 20–25 % и прочности на изгиб на 45–50 %. Отметим, что в случае базальтового волокна значения прочности незначительно выше по сравнению со стекловолокном. Это можно объяснить уплотнением межзернового пространства матрицы за счет формирования дополнительного объема кристаллических новообразований при использовании базальтового волокна.

В данной работе проведено исследование микроструктуры образцов и влияние комплекса минеральных модификаторов (дисперсных и волокнистых) на ее характеристики.

Изучение микроструктуры является одним из важных источников информации о бетонах различного назначения. В частности, в случае хрупких ячеистых материалов можно изучить микроструктуру, чтобы получить информацию о характере поверхности разрушения и подробные сведения о связях на микроструктурном уровне.

Одним из способов изучения микроструктуры образцов с микроармирующими волокнами является сканирующая электронная микроскопия (СЭМ). Инструментом, используемым в данном исследовании, является сканирующий электронный микроскоп Tescan MIRA 3 LMU.

В исходной цементной системе наблюдается значительное количество пор и пустот по всему объему (рисунок 1). Для системы с применением вышеуказанных модификаторов определяется больший объем связанной разноразмерной кристаллической фазы (рисунок 2–3).

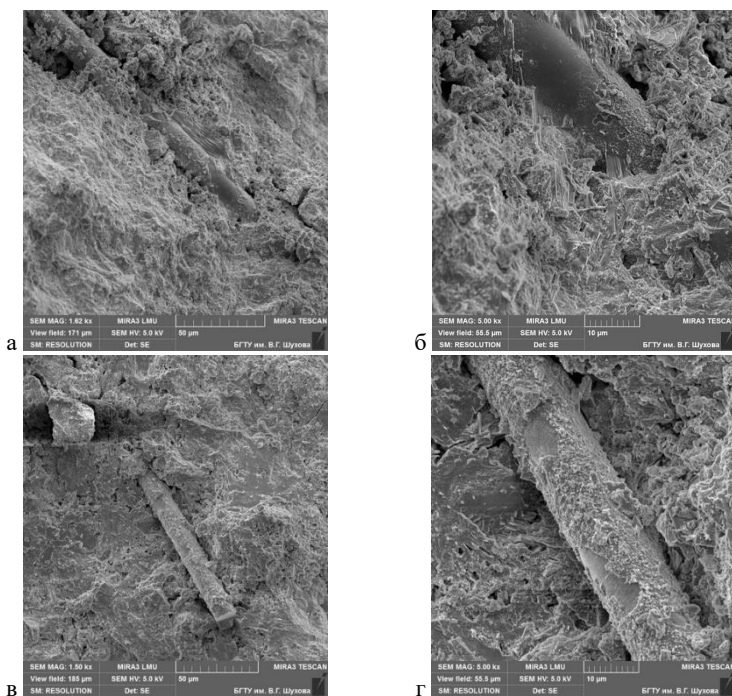


Рис. 1 Микроструктура бездобавочного цементного камня с базальтовым (а, б) и стекловолокном (в, г)

Важно отметить, что независимо от типа вяжущего вещества, взаимодействие между волокнами и матричной системой одинаково: базальтовые волокна имеют более прочную связь с матрицей вяжущего вещества, граница раздела практически не заметна, а поверхность волокон покрыта не только продуктами гидратации цемента, но и новыми фазами, образовавшимися в результате взаимодействия фибры и щелочных компонентов цемента. При этом матрица и волокно объединяются за счет частичного растворения поверхностного слоя волокна и взаимодействия с активными компонентами цемента, что приводит к образованию сростков. Это объясняется тем, что поверхность волокон содержит высокую концентрацию активных центров [4].

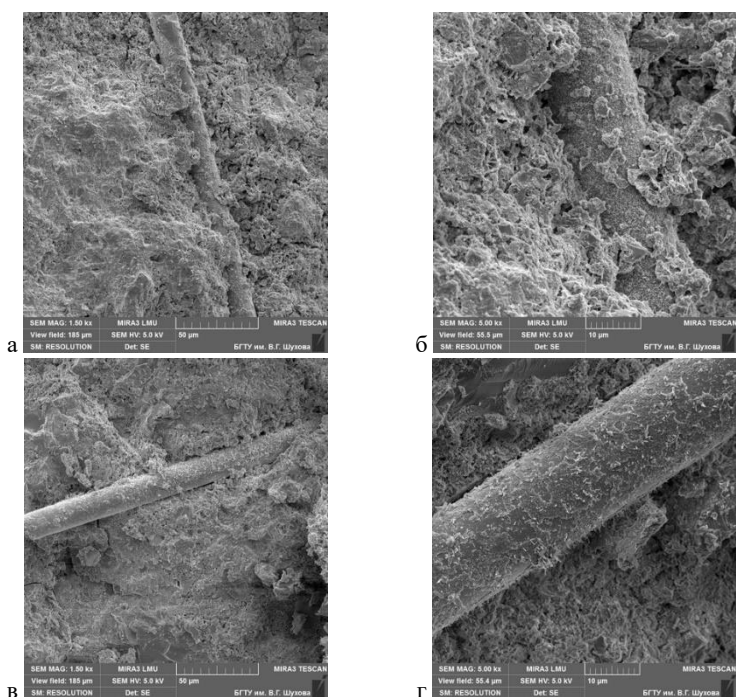


Рис. 2 Микроструктура камня состава «цемент + кварцевая суспензия + ангидрит +  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ » с базальтовым (а, б) и стекловолокном (в, г)

Для системы со стекловолокном также отмечается образование на поверхности волокон значительного количества кристаллической фазы. В отличие от базальтового волокна, стекловолокно не

монолитизируется в объеме цементирующего вещества и может легко «вырываться» при механических воздействиях без каких-либо усилий. Однако степень взаимодействия между фиброй и матрицей остается высокой, независимо от состава фибры и матричной системы, особенно при использовании чистого цемента, что подтверждается увеличением прочности на изгиб [1]. Данный факт можно объяснить повышенным количеством цемента в исходной системе, что приводит к большей степени растворения волокон при взаимодействии с щелочными компонентами в процессе гидратации вяжущего вещества.

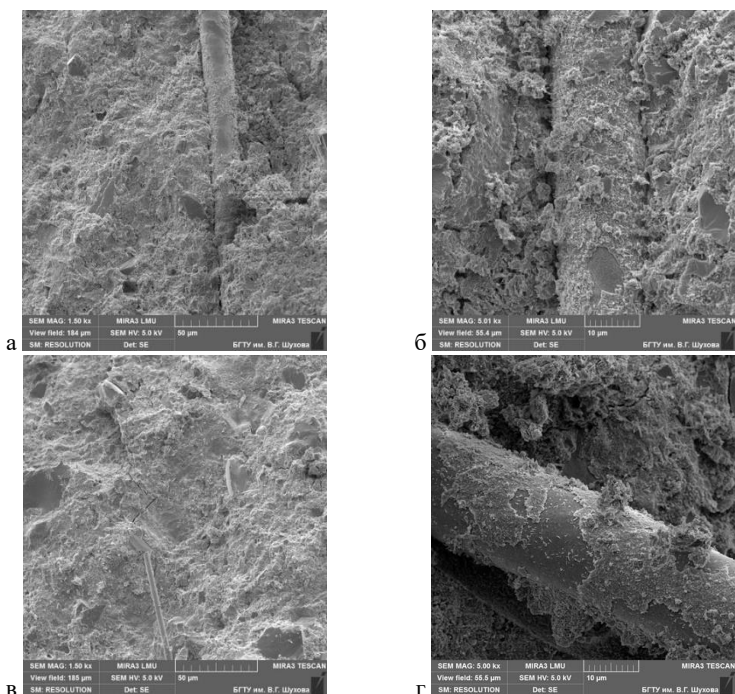


Рис. 3 Микроструктура камня состава «цемент + кварцевая суспензия + ангидрит +  $K_2SO_4$ » с базальтовым (а, б) и стекловолокном (в, г)

Полученные результаты также показывают, что характер взаимодействия между фиброй и матричной системой не зависит от вида применяемого для активации твердения ангидрита сульфатного активатора.

В данной работе показано влияние фибрового компонента на свойства материалов, полученных на основе вяжущих с разным

составом. Введение фибры несущественно изменяет консистенцию цементного раствора, так как свободная жидкость перераспределяется в объеме. Не обнаружено значительного влияния волокна на прочность при сжатии, но наблюдается увеличение прочности на изгиб в случае использования базальтового волокна, которое также улучшает упрочнение матричной системы и обеспечивает лучшее адгезионное сцепление в системе «цементный камень – волокно». Базальтовое волокно также монолитизирует систему, формируя кристаллическую фазу на поверхности волокна, что способствует снижению возможной усадки ячеистого бетона и повышению долговечности готового продукта при использовании фибрового наполнителя.

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

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Нецвет, Д.Д. Исследование влияния комплекса дисперсных добавок на свойства вяжущего для пенобетонов неавтоклавного твердения / Д.Д. Нецвет, К.С. Сивальнев, А.С. Найман // Новые технологии – нефтегазовому региону: Материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Том III. – Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2022. – С. 177–180.

2. Влияние совместного применения волокнистых и дисперсных модификаторов на прочностные характеристики цементной системы для пенобетонов неавтоклавного твердения / Д.Д. Нецвет, В.В. Нелубова, Х.О. у. Хомидов, Д.О. Серенко // Инженерные задачи: проблемы и пути решения: Материалы IV Всероссийской (национальной) научно-практической конференции Высшей инженерной школы САФУ. – Архангельск: Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, 2022. – С. 63–65.

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

4. Netsvet, D.D. Properties of microfibers of various compositions as a component of cellular composites / D.D. Netsvet, V.V. Nelubova, A.L. Popov, S.V. Lasunova // Materials Science Forum. – 2021. – Vol. 1040. – P. 132–138.



*Нецвет Д.Д., Урманова Х.В., Калатоzi Г.М.  
Научный руководитель: Шахова Л.Д., д-р техн. наук, проф.  
Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО И МИНЕРАЛОГИЧЕСКОГО СОСТАВОВ ГЛИНОЗЕМИСТЫХ ЦЕМЕНТОВ**

Цементы с высоким содержанием  $Al_2O_3$  относятся к специальным цементам, получаемым тонким измельчением продуктов обжига или спекания сырьевых материалов. Согласно ГОСТ 969–2019 они делятся на глиноземистые и высокоглиноземистые цементы. Данные цементы относятся к быстротвердеющим гидравлическим вяжущим и их химический состав представлен оксидами  $Al_2O_3$ ,  $CaO$ ,  $SiO_2$ ,  $Fe_2O_3$ . Минералогический состав глиноземистых цементов зависит от химического состава сырьевой смеси и способа производства.

Высокая стоимость и специальные области применения глиноземистых цементов обуславливают ограниченность их производства. В частности, в Российской Федерации на изготовлении связующего этого вида специализируются на данный момент только три предприятия: ООО «Завод глиноземистых цементов» (Свердловская область), ОАО «Пашийский металлургическо-цементный завод» (Пермский край) и ООО «Фирма Русеан» (Московская область).

Как правило, эти предприятия работают по технологии плавки сырьевых компонентов, технология спекания применяется ограниченно. В соответствии с ГОСТ 969–2019 глиноземистый цемент (ГЦ) в зависимости от прочности при сжатии делится на три класса: 40, 50 и 60, высокоглиноземистый цемент на два класса 25 и 35. Класс прочности цемента зависит от минералогического состава.

При производстве глиноземистого цемента не существует универсального способа расчета ожидаемого минералогического состава клинкера, так как в системе  $CaO-SiO_2-Al_2O_3$  могут образовываться алюминаты кальция различного состава. Достаточно длительный опыт промышленного выпуска клинкера, изучение его минералогического состава с помощью рентгеноструктурного, микроскопического и других современных методов анализа и исследование важнейших строительно-технических свойств получаемого цемента дали возможность определить оптимальный для данных конкретных условий производства химико-минералогический

состав продукта обжига и соответственно химический состав исходной сырьевой шихты [1–7].

На рисунке 1 представлен химический и минералогический состав различных видов глиноземистых цементов.

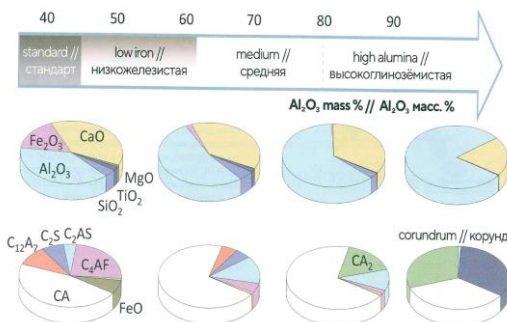


Рис. 1 Химический и минералогический состав глиноземистых цементов [2]

Важнейшим минералом в глиноземистых цементах строительного назначения является моноалюминат кальция (CA), а также присутствуют основные фазы – браунмиллерит ( $C_4AF$ ), майенит ( $C_{13}A_7$ ), бедит ( $C_2S$ ), геленит ( $C_2AS$ ). Для высокоалюминатных цементов характерно присутствие CA,  $C_2A$  и  $C_{12}A_7$ .

Расчет минералогического состава порландцементных клинкеров общестроительного назначения был предложен Р. Х. Боггом, по которому на основе данных химического анализа рассчитывается содержание клинкерных минералов, прежде всего  $C_3S$ ,  $C_2S$ ,  $C_3A$  и  $C_4AF$ . Необходимо отметить, что Р.Х. Богг назвал такой состав клинкера «потенциальным» (расчетным) составом. Так же существует другой способ расчета минералогического состава на основе формулы Кинда, определяющий насыщение известью [4]. Для алюминатных цементов такого расчетного способа не предложено.

В четырехкомпонентной системе  $CaO-Al_2O_3-SiO_3-Fe_2O_3$  указаны области равновесия минералов в зависимости от оксидного состава смеси. Система имеет большое значение в исследовании основных составляющих портландцементов, кислых и основных доменных шлаков, алюминатных цементов, алюминатных шлаков и жаропрочных материалов. Наиболее известным соединением в высокоалюминатной области системы  $CaO-Al_2O_3-SiO_3-Fe_2O_3$  в присутствии оксида кремния является геленит, который в разных количествах встречается в алюминатных цементах. Однако, даже четырехкомпонентная система не отражает полностью всех условий равновесия в процессе получения глиноземистого цемента. Это подтверждают присутствие в составах

оксидов магния, титана хрома, влияющих на температуру плавления, его течение и процесс кристаллизации, структуру образовавшихся кристаллов [5]. Кроме этого, в высокоалюминатной области образуется ряд алюминатов кальция с различным соотношением оксидов, что также влияет на количественное соотношение минералов и свойства цемента.

### **Цель работы**

Целью работы являлась разработка алгоритма расчета количественного соотношения минералогического состава алюминатных цементов и подтверждение соответствия расчетного состава фактическому, определенному рентгенофазовым методом анализа.

### **Материалы и методы исследования**

В работе проведены исследования минералогического состава образцов глиноземистых цементов классов ГЦ-35 40 и ГЦ-35 5 и высокоглиноземистого цемента ВГЦ70.

Рентгенофазовый анализ и определение элементного состава проводились на рентгенофлуоресцентном спектрометре серии ARL 9900 WorkStation на базе Центра высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова.

### **Результаты и обсуждение**

На основе элементного состава был определен оксидный состав (таблица 1), по которому рассчитывали количественный минералогический состав.

Для расчета минералогического состава были взяты содержания пяти основных оксидов, составляющих более 99,888%: CaO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO.

При разработке алгоритма расчета были приняты условия полного усвоения оксида магния в шинель MgO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; оксида кремния в геленит состава C<sub>2</sub>AS; и оксида железа в 4-х кальциевый алюмоферрит состава C<sub>4</sub>AF.

Таким образом, оставшиеся оксид кальция и алюминия могут образовывать пары соединений CA и C<sub>12</sub>A или же CA и CA<sub>2</sub> [2].

Таблица 1 – Полный оксидный состав образцов исследуемых цементов

<b>ГЦ-35-40</b>		<b>ГЦ-35-50</b>		<b>ВГЦ70</b>	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	50,53	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	48,65	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	74,76
CaO	24,77000	CaO	27,63	CaO	24,06
MgO	11,3	MgO	8,95	SiO <sub>2</sub>	0,426

Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,72	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,9	Na <sub>2</sub> O	0,269
SiO <sub>2</sub>	4,07	SiO <sub>2</sub>	4,18	MgO	0,251
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,12	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,08	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,0607
TiO <sub>2</sub>	0,661	TiO <sub>2</sub>	0,866	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,0425
Na <sub>2</sub> O	0,268	Na <sub>2</sub> O	0,217	K <sub>2</sub> O	0,0288
F	0,165	MnO	0,144	PdO	0,028
MnO	0,122	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,0871	SrO	0,0271
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,0605	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,0587	PtO <sub>2</sub>	0,0082
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,0501	K <sub>2</sub> O	0,048		
K <sub>2</sub> O	0,043	SO <sub>3</sub>	0,0438		

Для количественного определения минералогического состава был реализован следующий алгоритм расчета при соблюдении исходных условий:

1) Подсчитывали количество оксидов кальция и алюминия, входящих в магнезиальную шпинель, геленит и четырехкальциевый алюминат.

2) Из общего количества оксида кальция и алюминия вычитали количество этих оксидов, входящих в эти минералы.

3) Оставшиеся оксиды CaO и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> могут образовывать ряд кальциевых алюминатов, поэтому, определяли долю кальция и алюминия, входящих в минералы CA, CA<sub>2</sub> и C<sub>12</sub>A<sub>7</sub>. Эти доли составляют для оксидов:

$$\text{CaO} \quad \text{CA} - 0,35485, \text{CA}_2 - 0,2157, \text{C}_{12}\text{A}_7 - 0,4853;$$

$$\text{Al}_2\text{O}_3 \quad \text{CA} - 0,6451, \text{CA}_2 - 0,7843, \text{C}_{12}\text{A}_7 - 0,5147.$$

4. Далее составляется система уравнений, которая позволяет определить соотношение минералов:

$$\begin{cases} CO_{\text{своб}} = 0,35485CA + 0,2157CA_2 + 0,4853C_{12}A_7 \\ Al_2O_{3\text{своб}} = 0,6451CA + 0,7843CA_2 + 0,5147C_{12}A_7 \\ MA + C_4AF + C_2AS + CA + C_2A + C_{12}A_7 = 1 \end{cases}$$

Для решения системы уравнений применяли матричный метод и методы Гаусса и Крамера.

Следует отметить, что такая система не имеет решений. Поэтому было решено составить системы уравнений, которые предусматривают образование в системе попарно алюминаты кальция: CA и C<sub>12</sub>A, CA и CA<sub>2</sub>, или CA<sub>2</sub> и C<sub>12</sub>A<sub>7</sub>.

Тогда системы уравнений имели вид:

1 вариант

$$\begin{cases} CO_{своб} = 0,35485CA + 0,4853C_{12}A_7 \\ Al_2O_{3своб} = 0,6451CA + 0,5147C_{12}A_7 \end{cases}$$

2 вариант

$$\begin{cases} CO_{своб} = 0,35485 \times CA + 0,2157 \times CA_2 \\ Al_2O_{3своб} = 0,6451 \times CA + 0,7843 \times CA_2 \end{cases}$$

3 вариант

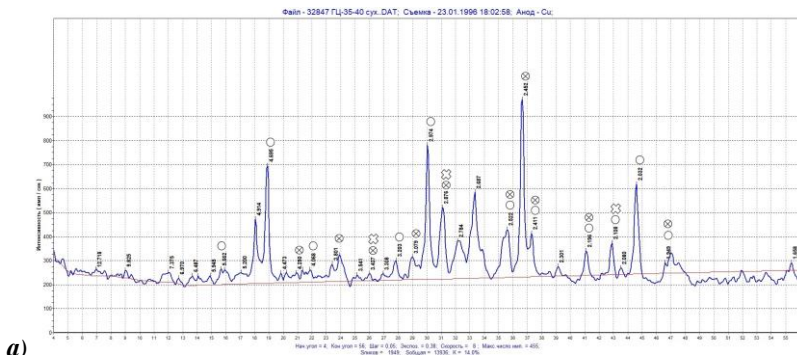
$$\begin{cases} CO_{своб} = 0,2157CA_2 + 0,4853C_{12}A_7 \\ Al_2O_{3своб} = 0,7843CA_2 + 0,5147C_{12}A_7 \end{cases}$$

Результаты представлены в таблице 2.

Полученные результаты расчетов позволяют сделать следующий вывод: в составе ВГЦ могут быть два варианта образования алюминатов кальция составов, которые не рассматривается в работе [2]. В глинозёмистом цементе образуются только  $CA_2$  и  $C_{12}A_7$  в зависимости от количества присутствующих дополнительных оксидов.

Таблица 2 – Расчетный минералогический состав глинозёмистых и высокоглинозёмистого цементов

Тип цемента	ВГЦ 70		ГЦ-35-40	ГЦ-35-50
	1 состав	2 состав		
Количество составов				
CA	14,89	–	–	–
CA <sub>2</sub>	80,76	87,23	1,506	15,62
C <sub>12</sub> A <sub>7</sub>	–	9,061	21,057	8,036
C <sub>2</sub> AS	1,944	1,944	18,574	19,07
C <sub>4</sub> AF	0,129	0,129	14,364	20,998
MA	0,886	0,886	39,886	31,59
Сумма	98,609	99,25	95,387	95,314



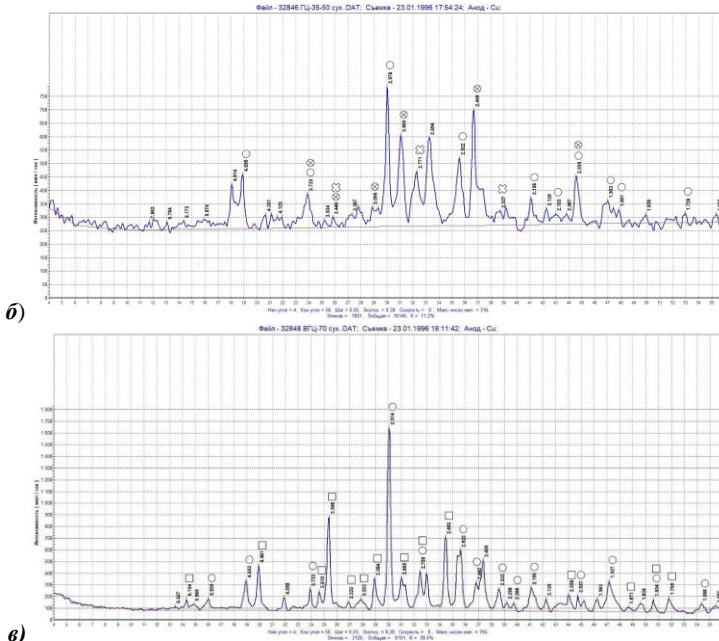


Рис. 2 Рентгенограммы минералогического состава глиноземистых цементов марок: *a* – ГЦ-35 40; *б* – ГЦ-35 50; *в* – ВГЦ-70  
 ○ – CA; ⊗ – C<sub>2</sub>AS; ⌘ – α'L-C<sub>2</sub>S, □ – CA<sub>2</sub>

Для определения качественного минералогического состава образцов и согласования с расчетами был использован метод рентгенофазового анализа (рисунок 2). Рентгенометрическая диагностика показала, что на рентгенограммах образцов ГЦ-35 40 и ГЦ-35 50 присутствуют аналитические отражения следующих основных минералов:

- CA – CaO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, однокальциевый алюминат;
- C<sub>2</sub>AS – 2CaO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·SiO<sub>2</sub>, геленит;
- α'L-C<sub>2</sub>S – α'L-2CaO·SiO<sub>2</sub>, бредигит.

Как видно из анализа рентгенограмм, в исследуемых образцах присутствуют одни и те же минералы, однако, интенсивности их основных отражений отличаются, что указывает на различия в количественном составе, возможно вследствие недостигнутого равновесия в процессе обжига.

Анализ рентгенограммы ВГЦ-70 показал, что основные аналитические отражения принадлежат однокальциевому алюминату (СА) и анортиту ( $C_2A$ ).

На рентгенограммах образцов глиноземистого цемента имеются аналитические отражения минерала геленита ( $C_2AS$ ), который не является гидравлически активным соединением. На основании изменения интенсивности его отражений можно судить о его концентрации в смеси. Повышение количества геленита в составе вяжущего оказывает негативное влияние на прочностные характеристики ГЦ-35 40. Также оказывает влияние на гидравлическую активность цемента наличие примесей, которые могут вносить значительные изменения в равновесную систему оксидов и существенно изменить минералогический состав алюминатных цементов.

Предложенный метод расчета позволяет оценить «потенциальный» минералогический состав и гидравлическую активность алюминатных цементов.

Полученные результаты не согласуются с данными работы [2] по составу алюминатов кальция (см. табл. 3) и фактическим составом.

Расчетный метод показал, что для ВГЦ имеется два варианта образования алюминатов кальция различного состава и обладающими разными гидравлическими свойствами, что необходимо учитывать в процессе получения данного вяжущего.

Минералогический состав алюминатных цементов сильно зависит от способа производства, характера среды обжига, условий кристаллизации, содержания в исходной сырьевой шихте оксида железа и образовавшихся после обжига и охлаждения железосодержащих соединений, вида и состава полученных твердых растворов и др. так как он сильно зависит от способа производства, характера среды обжига, условий кристаллизации, содержания в исходной сырьевой шихте оксида железа и образовавшихся после обжига и охлаждения железосодержащих соединений, вида и состава полученных твердых растворов.

*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

1. Pollmann, H. Calcium Aluminate Cements – Raw Materials, Differences, Hydration and Properties // Reviews in Mineralogy and Geochemistry. 2012. 74(1). 1–82.

2. Ле Сау Г. Фазовый состав глиноземистого цемента: обзор // ALITinform: Цемент. Бетон. Сухие смеси. 2018. № 2 (51). С. 12–20.

3. Рояк С.М., Рояк Г.С. Специальные цементы: учебное пособие для вузов // М.: Стройиздат, 1983.

4. Расчетный минералогический состав клинкера. Режим доступа: <https://stroyremkom.ru/biblioteka/tsement/mineralogicheskij-sostav-klinkera.html>

5. Кузнецова Т. В., Талабер Й. Глиноземистый цемент // М.: Стройиздат, 1988. 272 с.

6. Трубицын М.А., Фурда Л.В., Воловичева Н.А., Япрынцеv М.Н., Кузин В.И., Коломыцев Е.Е. Влияние модифицирующих добавок на процессы синтеза клинкерных минералов высокоглиноземистого цемента // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2022. № 6. С. 94–102.

7. Бондаренко Н.И., Бессмертный В.С., Борисов И.Н., Тимошенко Т.И., Слабинская И.А., Бондаренко Д.О., Макаров А.В. Исследование кинетики дегидратации глиноземистого цемента в условиях неизотермического нагрева // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2016. № 5. С. 155–160.

**УДК 666.914:666.913**

**Отман А.С.А.**

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

*Белгородский государственный технологический университет*

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

## **ОЦЕНКА СТЕПЕНИ СМАЧИВАЕМОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ШТУКАТУРНОГО РАСТВОРА НА КГВ**

Водоотталкивающие свойства штукатурного раствора на основе композиционного гипсового вяжущего (КГВ) необходимы при их использовании для наружной отделки фасадов зданий и сооружений [1–3].

При попадании воды на поверхность штукатурного раствора может происходить смачивание либо не смачивание его поверхности (рис.1,а).

Степень смачивания [4–9] поверхности оценивается по показателю краевого угла смачивания  $\theta$  (угол тета), образованного между твердой поверхностью и касательной, проведенной к поверхности жидкости,



через точку (точка А) соприкосновения трех сред – твердой, жидкой и воздушной (рис.1, б).

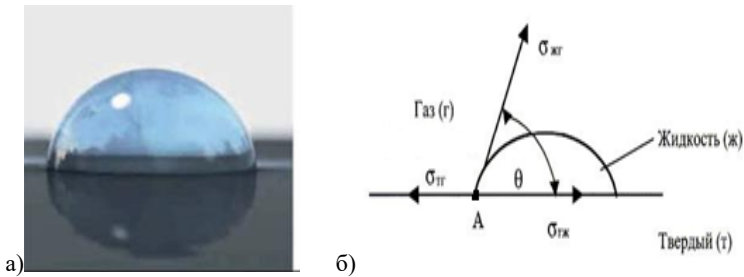


Рис. 1 Изображение капли жидкости (а); краевой угол смачивания (б) [9]

На единицу длины контура капли, имевшего вид окружности, действуют следующие силы:

**$\sigma_{тж}$**  – сила поверхностного натяжения между твердым телом и жидкостью;

**$\sigma_{жг}$**  – сила поверхностного натяжения между жидкостью и газом;

**$\sigma_{тг}$**  – сила поверхностного натяжения по границе между твердым телом и газом.

На величину угла смачивания основное влияние оказывают адгезионные силы, выражающие степень притяжения молекул жидкости и твердого тела, а также когезионные силы, действующие на взаимное притяжение молекул воды внутри капли. От соотношения этих сил зависит степень смачиваемости поверхности, которая может быть гидрофильной, хорошо смачиваемой водой (при полном смачивании поверхности угол равен 0 градусам) или гидрофобной (при попадании капли на поверхность угол смачивания превышает 90 градусов), рис.2.

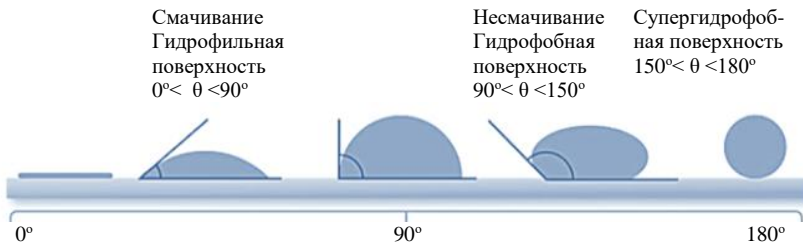


Рис. 2 Метод лежащей капли: краевой угол смачивания [9]

В данной работе представлены данные по определению краевого угла смачивания поверхностей затвердевших штукатурных растворов на КГВ, модифицированных органическими и неорганическими компонентами.

Для определения краевого угла смачивания был применен метод растекающейся капли, являющийся основным при определении гидрофобности или гидрофильности поверхности материала.

В качестве жидкости, смачивающей поверхность, использовали дистиллированную воду и метан.

Измерение краевого угла смачивания осуществляли с помощью фотофиксации методом «сидячей» капли. Для этого каплю воды наносили на горизонтальную поверхность затвердевшего штукатурного раствора на основе КГВ, после чего ее фотографировали

Составы и свойства исследуемых штукатурных растворов на КГВ представлены в табл. 1.

По полученному снимку (рис. 3), определяли краевой угол смачивания, измерение которого проводили с помощью системы KRUSS серии DSA30 (KRUSS GmbH, Германия) с применением пакета программного обеспечения.

Таблица 1 – Состав и свойства штукатурных растворов на КГВ

№	СП-1	СП-2	КГВ : З	В/Вяз	Подвижность, мм	Начало схват, мин., с	Рсж. Мпа,			Кр
							2 ч	7 сут	28 сут/ сухие	
1	0.2	-	1:1.5	0.45	155	53	6,1	10,2	14.5	0,74
2	0.2	-	1:2	0.50	150	52	3.7	8,5	9,2	0,73
3	-	0.2	1:1.5	0.49	170	52	6,4	13,0	16.21	0,77
4	-	0.2	1:2	0.51	150	51	4	9,7	13,5	0,76

Примечание.

Состав КГВ (% по массе): гипсовое вяжущее -69,5; цемент-10; тонкодисперсная мин. добавка (кв. песок) -20; метакаолин -0,5, известняковая пыль -1,5, замедлитель сроков схватывания Plast Retard PE -0,08;

СП-1 – MAPF Forbo-Crete S 010; СП-2 – MELLFLUX 1641 F

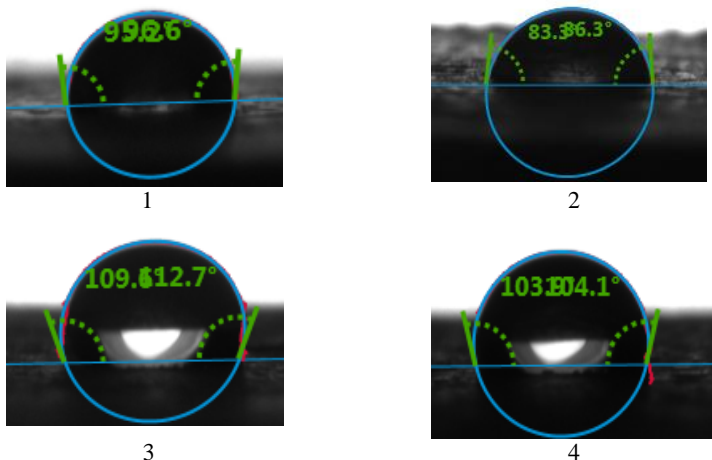


Рис. 3 Изображения капли дистиллированной воды на поверхности затвердевших штукатурных растворов на основе КГВ (согласно табл.1).

При испытании проводили 5 последовательных измерений. За расчетное значение краевого угла смачивания принимали среднее значение между левым и правым углом капли. Результаты проведенных исследований представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Результаты экспериментальных исследований по определению краевого угла смачивания поверхности затвердевших штукатурных растворов на основе КГВ

Наименование показателя	Результаты измерений (составы согласно табл.1)							
	с СП Марф				С СП Мельфлокс			
	1		2		3		4	
	КГВ:3=1:1,5	КГВ:3=1:2	КГВ:3=1:1,5	КГВ:3=1:2	вода	метан	вода	метан
Средний КУ (ср) [°]	<b>95,83</b>	<b>47,01</b>	<b>79,29</b>	<b>48,80</b>	<b>115,37</b>	<b>40,52</b>	<b>98,82</b>	<b>41,68</b>
Средний КУ (л) [°]	96,09	46,60	79,74	49,13	114,84	40,46	98,34	41,69
Средний КУ (п) [°]	95,56	47,42	78,84	48,47	115,89	40,58	99,30	41,68
Свободная энергия поверхности [mN/m]	<b>36,36</b>		<b>39,69</b>		<b>40,76</b>		<b>38,81</b>	
Дисперсная часть [mN/m]	35,92		34,94		39,35		38,75	
Полярная часть [mN/m]	0,44		4,75		1,41		0,06	

Результаты проведенных исследований позволяют утверждать, что количество заполнителя, а также наличие и вид суперпластификатора в составе штукатурного раствора, влияют на значения краевого угла смачивания.

Как видно из полученных результатов, при увеличении количества заполнителя в составе штукатурного раствора краевой угол смачивания уменьшается в среднем на 16,5°. Присутствие органической добавки MELLFLUX 1641 F в концентрации 0,2 % в большей степени приводит к повышению гидрофобности поверхности штукатурного раствора на основе КГВ по сравнению с добавкой суперпластификатора MAPF Forbo-Crete S 010.

Гидрофобность поверхности исследуемых штукатурных растворов на КГВ, модифицированных органическими и минеральными добавками, может способствовать их использованию для наружной отделки фасадов зданий и сооружений.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Отман Азми С.А., Чернышева Н.В., Дребезгова М.Ю., Коваленко Е.В., Масалитина С.В. Состав и свойства композиционного гипсового вяжущего повышенной водостойкости // Строительные материалы. – 2023. – № 5 – С. 81–88.
2. Чернышева Н.В., Лесовик В.С., Дребезгова М.Ю. Водостойкие гипсовые композиционные материалы с применением техногенного сырья. Белгород: Изд. БГТУ. – 2015. – 321 с.
3. Дребезгова М.Ю., Чернышева Н.В., Шаталова С.В. Композиционное гипсовое вяжущее с многокомпонентными минеральными добавками разного генезиса // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2017. – № 10. – С. 27 – 34.
4. Волков В.А. Коллоидная химия. Поверхностные явления и дисперсные системы. Учебник. – 2-е изд., испр. – СПб.: Лань. – 2015. – 660 с.
5. Практикум по коллоидной химии: учебное пособие / под ред. М.И. Гельфмана. Спб.: Из-во «Лань». – 2005. – 256 с.
6. Адамсон А. Физическая химия поверхностей. – М.: Мир. – 1979. – 568 с.
7. Зимон А. Д. Адгезия жидкости и смачивание. – М.: Химия. – 1974. – 416 с.
8. Сумм Б. Д., Горюнов Ю. Б. Физико-химические основы смачивания и растекания. – М.: Химия. – 1976. – 240 с.

9. <https://research-journal.org/archive/12-102-2020december/issledovanie-kraevogo-ugla-smachivaniya-polietilenovoj-plenki-modificirovannoj-organicheskimi-i-neorganicheskimi-komponentami>

**УДК 666.94**

**Панченко И.А., Гостевская А.Н., Дробышев В.К.**  
**Научный руководитель: Коновалов С.В., д-р техн. наук, проф.**  
*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, Россия*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ РАЗРУШЕНИЯ ВЫСОКОЭНТРОПИЙНОГО СПЛАВА CoCrFeMnNi**

Высокоэнтروпийные сплавы (ВЭС) как класс новых материалов появились в начале 21 века. Они содержат пять-шесть элементов в концентрации 5 —35 % [1, 2]. Типичным представителем высокоэнтропийных сплавов является сплав CoCrFeMnNi, представляющий собой твердый раствор с ГЦК-решеткой. В последние пять лет происходит еще более интенсивное накопление информации о структуре, стабильности и методах получения ВЭС [3, 4].

Целью представленной работы является исследование высокоэнтропийного сплава марки Co<sub>20</sub>Cr<sub>20</sub>Fe<sub>10</sub>Mn<sub>30</sub>Ni<sub>20</sub> после испытания на разрушение.

Для получения образцов высокоэнтропийного сплава системы CoCrFeMnNi применялся метод выплавки в вакуумной индукционной печи ВВИП-010 [5], с последующим гомогенизационным отжигом. В таблице представлен расчётный химический состав сплава.

Таблица 1 – Химический состав исследуемого сплава

	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
Ат. %	20	20	10	30	20
Вес. %	21,05	18,57	9,98	29,44	20,96

Испытания на растяжение проводили на плоских пропорциональных образцах в виде двухсторонних лопаток по ГОСТ 1497-84. Анализ полученных образцов проводился на сканирующем электронном микроскопе КУКУ-ЕМ6900.

Анализ области разрушения осуществляли методом сканирующей электронной микроскопии. На рис. 1 приведены результаты,

полученные при исследовании поверхности излома высокоэнтропийного сплава системы  $\text{Co}_{20}\text{Cr}_{20}\text{Fe}_{10}\text{Mn}_{30}\text{Ni}_{20}$ . Отчетливо видно, что в изломе высокоэнтропийного сплава  $\text{Co}_{20}\text{Cr}_{20}\text{Fe}_{10}\text{Mn}_{30}\text{Ni}_{20}$  присутствуют области материала, разрушенные по вязкому механизму. Следует отметить, что на рис. 1 а наблюдается структура, характерная для вязкого излома с образованными ямками. Подробный анализ, ямок разрушение можно, провести при большем увеличении (рис. 1 б). Характерными элементами вязкого разрушения являются ямки вязкого излома. Ямки на поверхности вязкого излома являются результатом образования, роста и слияния множества микропор, имеющих место в процессе разрушения материала. Анализ результатов (рис. 1) показывает, что в структуре излома явно выявлен поверхностный слой, а также можно отметить, что в материале присутствую микропоры и пустоты, которые хорошо видны на рис. 1 в.

На краю образца было обнаружено, что структура сшива после излома имеет глобулярное строение (рис. 1 б, в), образование ямок наблюдается в центральной части излома ВЭС (рис. 1, а, в). Следует отметить важную особенность растяжения  $\text{Co}_{20}\text{Cr}_{20}\text{Fe}_{10}\text{Mn}_{30}\text{Ni}_{20}$ , а именно, формирование микропор, приводящих к последующему разрушению материала, который протекает в первую очередь в подповерхностном слое, расположенном на границе раздела. Исследование поверхности растяжения образцов ВЭС позволило оценить толщину расплавленного слоя.

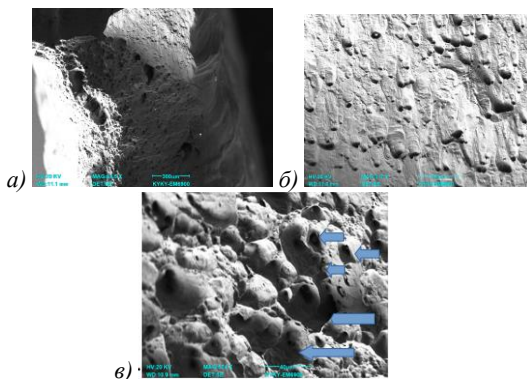


Рис. 1 Структура излома высокоэнтропийного сплава  $\text{Co}_{20}\text{Cr}_{20}\text{Fe}_{10}\text{Mn}_{30}\text{Ni}_{20}$   
 а - поверхность разрушения; б – ячеистая структура; в — микропоры

Таким образом, в данной работе, методом сканирующей электронной микроскопии проведено исследование структуры

высокоэнтропийного сплава  $\text{Co}_{20}\text{Cr}_{20}\text{Fe}_{10}\text{Mn}_{30}\text{Ni}_{20}$  после испытаний на растяжение. Выявлено, что в структуре высокоэнтропийного сплава. Так же было установлено, что после растяжения сплав  $\text{Co}_{20}\text{Cr}_{20}\text{Fe}_{10}\text{Mn}_{30}\text{Ni}_{20}$  подвержен вязкому излому.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Zabeo A. Value of information analysis for assessing risks and benefits of nanotechnology innovation / A. Zabeo, J.M. Keisler, D. Hristozov, A. Marcomini, I. Linkov, // Environmental Sciences Europe. – 2019. – V. 31. – P. 11.

2. Управление механическими свойствами высокоэнтропийного сплава Cantor CoCrFeMnNi / В. Е. Громов, С. В. Коновалов, Ю. А. Шлярова, М.О. Ефимов, И.А. Панченко // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2022. – Т. 65, № 8. – С. 563-572. – DOI 10.17073/0368-0797-2022-8-563-572.

3. Salishchev G.A. Effect of Mn and V on structure and mechanical properties of high-entropy alloys based on CoCrFeNi system / G.A. Salishchev, M.A. Tikhonovsky, D.G. Shaysultanov, N.D. Stepanov, A.V. Kuznetsov, I.V. Kolodiy, A.S. Tortika, O.N. Senkov. // Accepted Manuscript. – 2014. – V. 11. – P. 591.

4. George E.P., Raabe D., Ritchie R.O. High-entropy alloys. // Nat Rev Mater. 2019. V. 4. P. 515–534.

5. Sanin V.V. Investigation into the influence of the remelting temperature on the structural heredity of alloys fabricated by centrifugal SHS metallurgy. / V.V. Sanin, M.R. Filonov, V.I. Yukhvid, Y.A. Anikin, A.M. Mikhailov // Russian Journal of Non-Ferrous Metals. – 2016. – Vol. 57, No. 2, - Pp. 124–130. DOI: 10.3103/S1067821216020097

**УДК 669-1**

*Панченко И.А., Черепанова Г.И., Дробышев В.К.*

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

*Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк, Россия*

## ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА 7075

В настоящее время алюминиевые сплавы широко используются в авиационной и автомобильной промышленности. В ближайшие два

десятилетия преобладающее место для производства авиаракетной техники будут занимать высокопрочные алюминиевые сплавы. Один из таких сплавов — это алюминиевый сплав 7075, который является одним из самых прочных и доступных алюминиевых сплавов, что делает его ценным в условиях высоких нагрузок. Такой сплав имеет хорошие механические свойства, анодную реакцию и высокую прочность. Его высокий предел текучести и низкая плотность делают этот материал пригодным для таких применений, как детали самолетов или детали, подверженные сильному износу. Недостатки — такой сплав менее устойчив к коррозии, чем другие сплавы [1].

Целью данной работы является проведение усталостного испытания алюминиевого сплава системы Al-Zn-Mg-Cu, полученного аддитивным способом.

В качестве материала для проведения исследования использовались образцы, которые были получены аддитивным методом наплавки алюминиевой проволоки марки 7075 на алюминиевую подложку. Аддитивное производство позволяет изготавливать детали разной геометрии без лишнего расхода материала. Высокая устойчивость сложных структур при низкой массе деталей, изготовленных по аддитивной технологии, делают этот метод особенно привлекательным для производства легких конструкций.

Для наплавки использовались следующие режимы: скорость подачи проволоки 5 м/мин, напряжение 15,5 В, расход газа Ar 13 л/мин. На рисунке 1 изображен поверхностный слой наплавленного алюминиевого сплава. После наплавки из полученного слитка алюминиевого сплава производилась подготовка образцов для проведения испытания на усталость.



Рис. 1 Поверхностный слой наплавленного алюминиевого сплава

Образцы, полученные из алюминиевого сплава 7075, вырезались на электроэрозионном проволочно-вырезном станке с ЧПУ (числовое программное управление) струйного типа ДК7732 М11. Исследования



проводили в лабораторных условиях. Поскольку на усталостные свойства материала большое влияние оказывает состояние поверхности, то была проведена шлифовка и полировка всей рабочей поверхности образцов для усталостных испытаний.

Усталостное разрушение металлов происходит в условиях повторяющихся переменных напряжений, значения которых меньше предела прочности. Испытание проводилось на установке для растяжения, разработанной и изготовленной в СибГИУ, по схеме циклического асимметричного консольного изгиба. Установка состоит из жесткого металлического каркаса, в котором установлен датчик движения [2,3]. Внешний вид установки для усталостных испытаний приведен на рисунке 2.

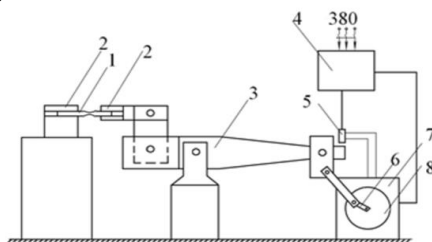


Рис. 2 Установка для проведения усталостных испытаний

1 – образец, 2 – устройство для закрепления образца, 3 – рычажный механизм, 4 – система управления, включающая в себя: блок управления частотой вращения двигателя и счетчик числа циклов; фотодатчик – 5; эксцентрик – 6; двигатель – 7; вал – 8.

Для проведения усталостного испытания подготавливали образцы по ГОСТ 25.502-79 «Расчеты и испытания на прочность в машиностроении. Методы механических испытаний металлов. Методы испытаний на усталость» и имели размеры 12x4x130 мм.

При испытании на усталость было выявлено число повторно-переменных нагружений (циклов) выдержки материала. Всего было разрушено 6 образцов. Среднее значение циклов до разрушения составило  $234748 \pm 33801$ .

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Осинцев О.Е. Высокопрочные быстрокристаллизованные алюминиевые сплавы систем Al-Zn-Mg и Al-Zn-Mg-Cu [Текст]/ О.Е. Осинцев, В.Ю. Конкевич/ Технол. легк. сплавов: науч.-техн. и произв. журн. 2010, N 1, с. 157-163. 51

2. Влияние внешних энергетических воздействий на структуру и

фазовый состав титана при многоциклового усталости / С.В. Коновалов, В.Е. Громов, Ю.Ф. Иванов, И.А. Панченко, С. Чэнь; М-во науки и высшего обр. РФ, Самарский ун-т, СибГИУ, ИСЭ СО РАН. - Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2020.-184 с.

3. Воробьев С.В. Увеличение усталостной долговечности сталей различных структурных классов электронно-пучковой обработкой // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. - 2016. - №4. - С. 260-262.

**УДК 621.793**

*Подгорный Д.С., Бондаренко Д.О., канд. техн. наук, доц.  
Научный руководитель: Строчкова В.В., д-р техн. наук, проф.  
Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## **ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКИЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА ТИТАНА КАК ПЕРСПЕКТИВНЫЙ МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Согласно современным данным, в городских районах проживает более половины населения Земли. Вместе с тем, производство более двух третей мирового валового продукта осуществляется в городских зонах. По прогнозам демографических исследований, в 2050 году количество жителей городов достигнет более чем 75 % от общей численности населения планеты. Урбанизация, как явление, способствует экономическому развитию и обеспечивает жителям городских зон широкие возможности в области трудоустройства и получения услуг. Быстрый рост городских районов и увеличение количества отходов влечет за собой загрязнение водных ресурсов различными вредными веществами (пластик, химические вещества и т.п.), которые могут попадать в воду из бытовых сточных вод. Загрязнение водных ресурсов становится угрозой для достижения одной из целей устойчивого развития (ЦУР) – «чистая вода для всех». Важно исследовать проблемы нехватки воды в городах и уделять внимание качеству воды, поступающей в водопроводные сети [1].

Распространенной проблемой морских сооружений, кораблей, пирсов и опор нефтяных вышек является зарастание их поверхности морскими микроорганизмами, что приводит к снижению их несущей способности и серьезным экологическим последствиям. Этот процесс

начинается с адсорбции макромолекул на поверхности сооружения, таких как гликопротеины, протеогликаны, полисахариды, и вызывает биохимические изменения её состава. Затем происходит образование бактерий, диатомовых водорослей, дрожжей и других простейших микроорганизмов. В результате, на поверхности начинают оседать личинки беспозвоночных и споры водорослей, которые впоследствии метаморфизируются и/или разрастаются, часто создавая плотный покров. В морской среде известно более 4000 видов организмов, способствующих биокоррозии: ракушки, гидроиды, трубчатые черви, мшанки, морские водоросли и т.д. [2].

Разнообразные патогенные микроорганизмы, включая бактерии, вирусы, могут находиться в воздухе, воде, на поверхности стен и т.д. Все они представляют угрозу для здоровья, важно бороться с такими загрязнениями путем использования современных методов дезинфекции. Существует множество традиционных методов, основанных на физическом или химическом воздействии: химические дезинфицирующие средства (хлор, диоксид хлора, озон, спирт и т.д.), противомикробные препараты (антибиотики и др.) и ультрафиолетовое облучение. Однако эти методы имеют свои недостатки, как вторичное загрязнение, лекарственная устойчивость, дополнительное потребление ресурсов и энергии, используемых при производстве химикатов. Кроме того, методы, основанные на УФ-индуцированных процессах, не имеют остаточного эффекта, поэтому существует необходимость в разработке новых способов дезинфекции для борьбы с недостатками традиционных методов очистки воздуха и воды [3].

Возможным решением перечисленных выше проблем является широкое применение бетонных и металлических конструкций с фотокаталитическими покрытиями. Существует множество неорганических материалов, которые обладают фотокаталитическими свойствами:  $ZnO$ ,  $TiO_2$ ,  $CuO$ ,  $MgO$ ,  $Ag_3PO_4$ ,  $Cu_2O$ ,  $NiCo_2O_4$ ,  $\alpha-NiMoO_4$ ,  $CoFe_2O_4$ ,  $Mg_2TiO_4$ ,  $WO_3$ ,  $Ag_2MoO_4$ ,  $Bi_2MO_6$  и др. [4, 5]. Большинство исследований, посвященных фотокатализу, содержат гипотезы о роли фотопроизводимых «дырок» ( $H^+$ ) или предположения о наличии гидроксильных радикалов ( $OH^-$ ) на поверхности. Для изучения эффектов, влияющих на запрещенную зону облучения  $TiO_2$ , проводятся детальные измерения фотолиза при лазерной вспышке. Такие измерения позволяют обнаружить образование радикалов  $OH^-$ , синтезирующиеся в три этапа, где кислород выступает как акцептор электронов, а свободные  $OH^-$  и  $H_2O$  – как доноры электронов.

Перспективным материалом для создания фотокаталитических покрытий является диоксид титана ( $TiO_2$ ), который обладает

множеством преимуществ: широко распространен в природе, дешев, не токсичен, химически стоек к различным агрессивным средам.

Диоксид титана имеет три основные формы: анатаз, рутил и брукит. Анатаз является более мощным фотокатализатором, чем рутил и брукит [10]. Авторы [11] предлагают использование  $TiO_2$  в качестве покрытия на поверхности дорог для экологической эффективности при разложении загрязняющих веществ, а также повышения эксплуатационных характеристик дорожного покрытия.

Анатаз, получаемый авторами [6, 7] в составе композиционного материала, вводился в цементную смесь как активный фотокаталитический компонент при производстве фасадных изделий. Отмечена высокая адгезионная стойкость анатаза к матрице бетона и фотокаталитическая активность при разложении органических загрязнителей под воздействием ультрафиолетового облучения [8, 9].

При нагревании порошка  $TiO_2$  до  $600\text{ }^\circ\text{C}$  происходит фазовый переход из анатаза в рутил, что ограничивает его использование в качестве фотокаталитических покрытий при высоких температурах. Для решения этой проблемы используются модифицирующие добавки, такие как наноструктурированный углерод (однослойные и многослойные углеродные нанотрубки, графен или его оксид, высокотемпературные оксиды металлов).

В научной литературе многократно подчеркивается потенциал использования  $TiO_2$  для очистки воздуха и сточных вод в городах и мегаполисах с высокой концентрацией загрязнителей. Для этого его необходимо применять в виде тонкой пленки, покрытия или суспензии на различных поверхностях, включая бетонные и дорожные покрытия. Также  $TiO_2$  оценен для использования в белом цементе ( $TiO\text{Cem}$ ), который предлагается применять на фасадах зданий с целью уменьшения загрязнения воздуха [7].

Таким образом, выявлены основные проблемы, решением которых может стать применение строительных материалов с фотокаталитическими покрытиями на основе диоксида титана. Данные покрытия под воздействием ультрафиолета способствуют интенсивному разложению органических соединений и уничтожению микроорганизмов, что ведёт к быстрому очищению поверхности. Активно проводятся исследования и имеются данные по нанесению диоксида титана на поверхность бетонов, керамики, металлов, стекол и др. Однако для повышения эффективности материалов в биологически-агрессивных средах необходимо проведение дополнительных исследований по нанесению на их поверхность функциональных

покрытий различными методами с дальнейшей оценкой фотокаталитической активности.

*Работа выполнена в рамках реализации государственного задания Минобрнауки РФ № FZWN-2023-0006.*

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Strokal M., Urbanization: an increasing source of multiple pollutants to rivers in the 21st century / M. Strokal, Z. Bai, W. Franssen, N. Hofstra, A.A. Koelmans, F. Ludwig, L. Ma, P. van Puijenbroek, J.E. Spanier, L.C. Vermeulen, M.T.H. van Vliet, J. van Wijnen, C. Kroeze // *Npj Urban Sustainability*. – 2021. – Vol. 1 (1). – Issue 24. – 13 p.

2. Howell D.J. Antifouling materials / D.J. Howell, S.M. Evans // *Encyclopedia of Ocean Sciences*. – 2009. – P. 236–242.

3. Liu Y. Thermal-sprayed photocatalytic coatings for biocidal applications: A review / Y. Liu, J. Huang, X. Feng, H. Li // *Journal of Thermal Spray Technology*. – 2021. – Vol. 30. – Issues 1–2. – P. 1–24.

4. Atacan K. Recent advances in photocatalytic coatings for antimicrobial surfaces / K. Atacan, N. Güy, M. Özacar // *Current Opinion in Chemical Engineering*. – 2022. – Vol. 36. – Article number 100777.

5. Katal R. A review on the synthesis of the various types of anatase TiO<sub>2</sub> facets and their applications for photocatalysis / R. Katal, S. Masudy-Panah, M. Tanhaei, M.H.D.A. Farahani, H. Jiangyong // *Chemical Engineering Journal*. – 2020. – Vol. 384. – Article number 123384.

6. Строкова В.В. Фотокаталитическая активность композиционного материала, полученного методом золь-гель осаждения TiO<sub>2</sub> на кремнеземный носитель // В.В. Строкова, Е.Н. Губарева, П.С. Баскаков, Ю.Н. Огурцова, М.В. Антоненко, А.В. Абзалилова // *Вестник технологического университета*. – 2020. – Т. 23. – № 10. – С. 5–9.

7. Gubareva E.N. Composition and properties of TiO<sub>2</sub> sol to produce a photocatalytic composite material / E.N. Gubareva, V.V. Stroкова, Y.N. Ogurtsova, P.S. Baskakov, L.P. Singh // *Key Engineering Materials*. – 2020. – Т. 854. – P. 45–50.

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

9. Antonenko M.V. The effect of titanium dioxide sol stabilizer on the properties of photocatalytic composite material / M.V. Antonenko, Y.N.

Ogurtsova, V.V. Strokova, E.N. Gubareva // Lecture Notes in Civil Engineering. – 2021. – Т. 95. – Р. 16–22.

10. Yamakata A. Curious behaviors of photogenerated electrons and holes at the defects on anatase, rutile, and brookite TiO<sub>2</sub> powders: A review / A. Yamakata, J.J.M. Vequizo // Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews. – 2019. – Vol. 40. – Р. 234–243.

11. Crispino M. A real scale analysis of surface characteristics of a photocatalytic pavement / M. Crispino, S. Lambrugo, L. Venturini // 4<sup>th</sup> International SPIV Congress (Palermo, Italy). – 2007. – 13 p.

**УДК 666.9:666.127**

***Присяжнюк А.П., Скрыпченко В.А.***

***Научный руководитель: Воронцов В.М., канд. техн. наук, доц.***

***Белгородский государственный технологический университет***

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

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА ТВЕРДЕНИЯ СТЕКЛОЩЕЛОЧНОГО ВЯЖУЩЕГО**

Исследования, проведенные В.И Соломатовым, В.Т. Ерофеевым, а также их учениками и последователями А.Д. Богатовым и С.Н. Богатовой позволили разработать эффективную технологию, позволяющую использовать стеклобой не только как наполнитель, но и в качестве основного компонента связующего [1-4]. Превращение тонкодисперсного связующего на основе боя стекла в камневидное тело происходит в результате взаимодействия компонентов, входящих в его состав с водным раствором щелочи. При этом образуются гели поликремниевых кислот, которые при дальнейшей тепловой обработке отвердевают, частично закристаллизовываясь.

В предыдущих исследованиях нами разработана собственная технология получения стеклощелочного вяжущего и определены параметры его твердения – температура обработки 85–90°С, продолжительность – 6 ч. [5]. Однако возникает вопрос: даст ли эффект тепловая обработка в форме, то есть, без распалубки образцов. По нашим предположениям, тепло от нагретого металла формы должно обеспечить лучший прогрев материала, а, следовательно, и обеспечить более высокую прочность.

С этой целью нами была приготовлена целая серия образцов стеклощелочного вяжущего, половина из которых была расформована и извлечена из форм после набора распалубочной прочности, а другая

находилась внутри форм. Обе серии образцов проходили тепловую обработку в сушильной камере при температурах от 50 до 90°C с шагом в 10°. Была также проверена точка со значением в 85°C, отвечающая оптимальному значению температуры в предыдущих опытах. После тепловой обработки образцы подвергались испытаниям на прочность при сжатии.

Как показали результаты (рис. 1), расформованные образцы имеют кинетику нарастания прочности при нагреве от 50 до 85°C, достигая максимального ее значения 26,30 МПа, что подтверждает наши предыдущие результаты [5]. Характер кривой роста прочности образцов, находящихся в металлической форме, немногим отличается от предыдущей кривой, при этом оптимум обнаружен при температуре 80°C с результатом 35,95 МПа. Дальнейший рост температуры приводит к снижению прочности и при температуре 90°C обе кривые практически сходятся в одной точке.

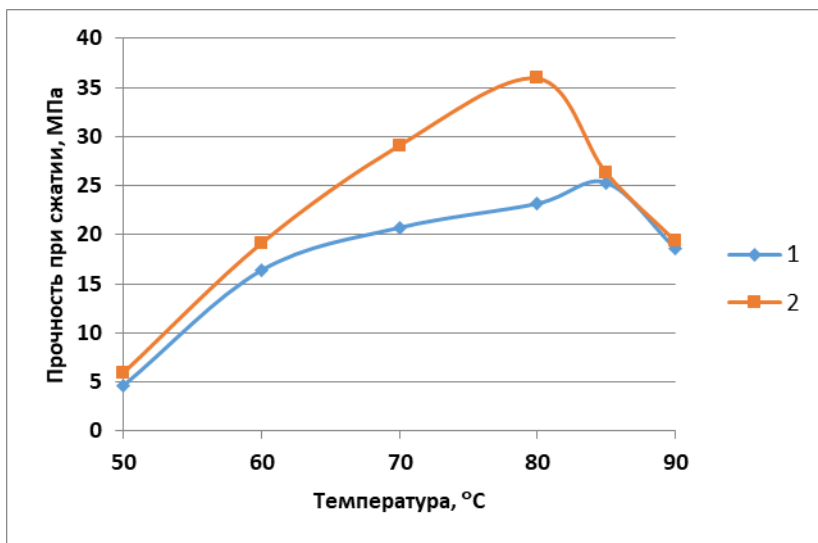


Рис. 1 График зависимости прочностных характеристик образцов стеклощелочного вяжущего от температуры обработки: 1 – образцы расформованные; 2 – образцы в форме

Результаты проведенного эксперимента определили следующую закономерность: тепловая обработка (сушка) образцов стеклощелочного вяжущего, находящихся в металлической форме, дает некоторый эффект повышения прочности (в 1,4 раза) при

незначительном снижении температуры (до 80°C). Однако дальнейший нагрев приводит к падению прочности и обе кривые сливаются воедино в температурном интервале 85–90°C.

Изучение состава опытных образцов проводили на аналитическом рентгеновском дифрактометре ARL9900 IntelliPower Workstation и ARLX'TRA по методу порошка в диапазоне двойных углов  $2\theta$  4÷56° и 8÷80°. На снятых рентгенограммах обозначены многочисленные пики отражения гидратированных гидросиликатов натрия, которые представлены частично закристаллизованными кремнегелями (рис. 2).

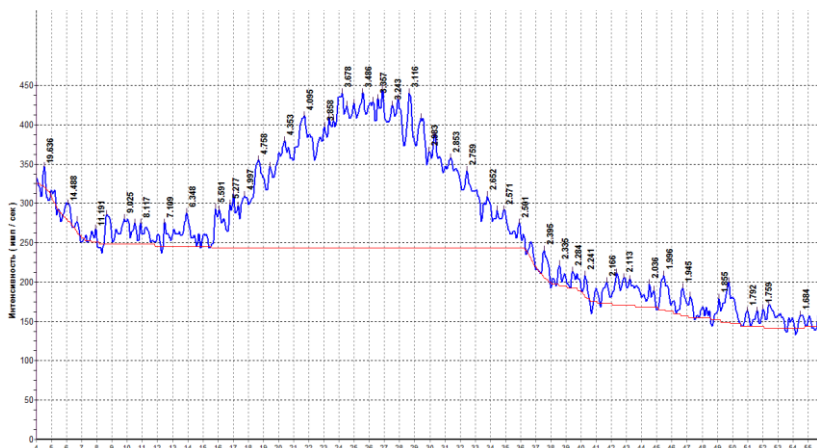


Рис. 2 Рентгенограммы образцов стеклощелочного вяжущего

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Соломатов, В.И. Структурообразование и свойства композитов на основе боя стекла / В.И. Соломатов, В.Т. Ерофеев // Известия вузов. Строительство. – 2000. – № 9. – С. 16-22.
2. Ерофеев, В.Т. Строительные материалы на основе отходов стекла / В.Т. Ерофеев, А.Д. Богатов, С.Н. Богатова, С.В. Казначеев // Вестник Мордовского ун-та. – 2008. – № 4. – С. 70-79.
3. Богатов, А.Д. Безавтоклавные композиты на основе боя стекла : специальность 05.23.05 «Строительные материалы и изделия» : автореф. дисс. на соиск. уч. степени канд. техн. наук / Богатов Андрей Дмитриевич. – Пенза, 1999. – 19 с.
4. Богатова, С.Н. Ячеистые и поризованные бетоны на основе стеклощелочного связующего : специальность 05.23.05 «Строительные



материалы и изделия» : дисс. на соиск. уч. степени канд. техн. наук / Богатова Светлана Николаевна. – Саранск, 2010. – 165 с.

5. Присяжнюк, А.П. Разработка состава и технологии получения стеклоселочного вяжущего / А.П. Присяжнюк // Междун. н-т. конф. молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, посвящ. 300-летию РАН: Сб. докл. ч. 4 Проблемы строительного материаловед-я. Наном-лы и нанотехнол. – Белгород, 2022. – С.128-132.

**УДК 666.96**

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

## **АКТУАЛЬНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВТОРИЧНОГО И ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

В настоящее время возник интерес к использованию вторичного и техногенного сырья, так как это обеспечивает переход к ресурсосберегающему строительству,

Так разработана отраслевая программа «Применение вторичных ресурсов, вторичного сырья из отходов в сфере строительства и жилищно-коммунального хозяйства на 2022–2030 годы» [1]. В программе рассмотрен вопрос о стремлении заменить природные материалы вторичным сырьём, что позволит существенно снизить затраты на добычу, переработку и складирование новых материалов, а также уменьшить воздействие на окружающую среду путем снижения количества отходов. Кроме того, использование вторичного и техногенного сырья даст возможность получать новые материалы и продукты с техническими и экономическими преимуществами.

В случае дорожного строительства применение вторичного и техногенного сырья уже несколько десятилетий является ключевой темой для обсуждения. Стандарты и научные статьи, публикуемые по данному вопросу, используются для конкретизации требуемого качества, эксплуатационных характеристик, совместимости и соответствия требованиям материалов и изделий, используемых при строительстве, эксплуатации и техническом обслуживании дорог.

Рассмотрим вторичное и техногенное сырьё, а также их применение в дорожном строительстве.

Вторичное сырье – это получаемые из отходов переработки промышленных и бытовых отходов материалы, которые уже были использованы в других отраслях, но могут быть переработаны или повторно использованы. Подобрав наиболее рациональный компонент для укрепления, возможно значительно повысить физико-механические показатели конструктивных слоев дорожной одежды, снизив затраты и экологический прессинг в регионе за счет применения вторсырья [2].

Вторичное сырье, которое может быть использовано в строительстве дорог: бой бетона и кирпича, щебень, асфальтогранулят, лом асфальто- и цементобетона, горелые пески, грунт.

*Бой бетона* – это материал, полученный из рухнувшего или разрушенного бетона. Он может быть использован в качестве заполнителя для асфальтобетонных смесей. В этом случае бой подвергается дроблению и сортировке под нужный размер частиц, затем смешивается с другими компонентами асфальтобетона и используется для покрытия дорог. При его применении сокращаются объемы отходов и снижается стоимость строительства. Однако, использование боя может иметь и недостатки такие как: содержание вредных или токсичных веществ, зависимость качества конечного материала от качества боя, из-за дробления материала в мелкие фракции повышается концентрация пыли.

*Щебень* – это каменный материал, получаемый из горных пород различного типа, который широко применяется в дорожном строительстве как основной строительный материал. Щебень используется для создания основы асфальтобетонного покрытия, укрепления дорожных конструкций, а также для устройства дренажных систем.

Щебень придаёт покрытию высокую надежность и долговечность, устойчивость к ударам, влаге и температурным перепадам, также возможность изготовления щебня из разных пород камня. При применении вторичного щебня требуется входной контроль, то есть соблюдение параметров, таких как гранулометрический состав, содержание пылевидных и глинистых частиц, содержание дроблённых зёрен, дробимость, сопротивление истираемости, содержание вредных примесей, устойчивость структуры против распадов, морозостойкость, удельная эффективная активность естественных радионуклидов, реакционная способность.

*Асфальтогранулят (АГ)* представляет собой смесь измельченного асфальта и различного размера каменных материалов (гранул), таких как керамзит, щебень, гравий или песок. Целесообразно применять АГ

и для устройства подстилающих слоев временных дорог, эксплуатируемых в условиях небольших транспортных нагрузок [3].

АГ также применяют в следующих технологиях дорожного строительства: в качестве расклиновки щебёночных оснований, в технологии холодной регенерации асфальтобетона, в качестве добавки в асфальтобетонную смесь, при устройстве укрепленных обочин дорог и устройстве верхнего слоя дорожной одежды [4].

Таким образом, использование вторичного сырья в дорожной промышленности помогает снизить затраты на сырье и сократить количество отходов, которые иначе были бы отправлены на свалку или сожжены. Использование таких материалов сокращает вредное воздействие на окружающую среду и помогает сохранить природные ресурсы.

Техногенное сырье – это любые отходы, полученные в результате промышленной деятельности, которые могут быть использованы для строительства дорог. Техногенные месторождения являются важным источником многих видов минерального сырья [5]. Они являются важной альтернативой традиционным материалам, таким как камень, щебень или песок.

Одними из наиболее распространенных техногенных сырьевых материалов в дорожном строительстве являются: золы, шлаки, сера, нефтешлам, фосфогипс, пыль асбестовая, цементная пыль, пыль печей для обжига минеральных вяжущих.

*Золы* – это остатки сгоревших органических или неорганических материалов, которые образуются после их полного сгорания.

Золы могут использоваться в дорожном строительстве, как добавка к асфальтовым смесям, так и модификатор грунта. Добавка золы в асфальтовую смесь может улучшить ее характеристики, такие как прочность, устойчивость к влаге и химическим воздействиям. Использование золы в качестве добавки для грунта увеличивает прочностные параметры, добиться необходимых показателей плотности и влагостойкости, что позволяет получить необходимое основание перед дальнейшими этапами дорожного строительства.

При нефтедобыче, утилизации сернисто-щелочных отходов сероочистки, также при изменении природного грунта образуются отходы в виде техногенного грунта, который можно применять в строительстве. Техногенный грунт обладает высоким удельным сцеплением, низким значением плотности, что позволяет сократить нагрузку на нижележащие слои основания.

Зола часто используется как замена традиционного материала, поэтому золу применяют для частичной замены цемента. Зола влияет на

процесс гидратации, участвуя в процессе структурообразования, проявляя пластифицирующую и водоудерживающую способность, что позволяет производить бетоны специального назначения. Однако, для использования золы в дорожном строительстве необходимы дополнительные исследования и тестирование, чтобы убедиться, что она не приведет к негативным последствиям.

*Шлаки* – это отходы, остатки или непригодные материалы, полученные в результате промышленного или производственного процесса.

Шлаки применяют в асфальтобетоне как крупный заполнитель, обеспечивающие устойчивость дорожного покрытия к скольжению, увеличить прочность и уменьшить расширение при изменении температуры.

В качестве отходов применяют металлургические шлаки доменного, сталеплавильного, медеплавильного, никелевого производства.

Шлаковой щебень и песок выпускают в виде стандартных фракций в диапазоне от 4 до 5,6 мм; св. 5,6 до 8 мм; св. 8 до 11,2 мм; св. 11,2 до 16 мм; св. 16 до 22,4 мм; св. 22,4 до 31,5 мм; св. 31,5 до 45 мм; св. 45 до 63 мм, песок подразделяют на группы в зависимости от крупности на очень крупный, повышенной крупности, крупный, средний, мелкий [6].

Из-за радиотоксичности шлака, которая обусловлена содержанием в нём радионуклидов тория и радия основным показателем является удельная эффективность активность естественных радионуклидов. Для применения шлаков в дорожном строительстве в пределах территории населённых пунктов  $A_{Эфф.}$  составляет до 740 включительно.

Для стабилизации, шлак используется благодаря своей способности к гидролизу и повышению вязкости грунта. Кроме того, использование шлака способствует уменьшению негативного воздействия на окружающую среду и сокращению расхода материалов на упрочнение дорожных покрытий, повышая долговечность возводимых конструкций.

*Сера* – продукт, получаемый в результате технологических процессов различных отраслей промышленности, таких как металлургическая, нефтегазовая, химическая, коксохимическая.

Сера используется в дорожном строительстве для укрепления грунта, повышения устойчивости дорожных конструкций и предотвращения образования трещин. Она добавляется в асфальтные смеси в качестве связующего и позволяет улучшить качество дорожных покрытий. Также сера применяется для очистки грунта от загрязнений и защиты дорог от воды и коррозии [7].

Таким образом, использование техногенного сырья позволяет получить дорожное покрытие с улучшенными свойствами, позволяя снизить затраты на сырье и сократить количество отходов.

Все выше изложенное, позволяет сделать вывод о том, что использование вторичного сырья позволяет уменьшить затраты на производство дорожных конструкций при этом позволяя более эффективно утилизировать отходы с минимальным воздействием на окружающую среду. Использование техногенного сырья, помимо экономических и экологических преимуществ, позволяет получить новый материал с улучшенными характеристиками без потери качества.

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

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Отраслевая программа «Применение вторичных ресурсов, вторичного сырья из отходов в сфере строительства и жилищно-коммунального хозяйства на 2022 - 2030 годы» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://minstroyrf.gov.ru/docs/231814/>.

2. Дмитриева, Т.В. Эффективность укрепления техногенного грунта минеральными модификаторами / Т.В. Дмитриева, Н.П. Куцына, А.А. Безродных, В.В. Строкова, И.Ю. Маркова // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2019. – № 7. – С. 14-23.

3. Фомин, А.Ю. Литой серный бетон на основе асфальтогранулята / А.Ю. Фомин, А.А. Кайс // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2018. – № 2(44). – С. 208-214.

4. Васильева, Е. И. Возможности применения асфальтогранулята при ремонте асфальтобетонных покрытий / Е. И. Васильева // Образование, наука, производство, Белгород, 20–22 октября 2015 года / Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2015. – С. 517-521.

5. Волынкина, Е.П. Анализ состояния и проблем переработки техногенных отходов в России / Е.П. Волынкина // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. – 2017. – № 2(20). – С. 43-49.

6. ГОСТ 32825–2014 «Дороги автомобильные общего пользования. Щебень и песок шлаковые. Технические требования».

7. Слободчикова, Н.А. Перспективы использования отходов производства и потребления при строительстве, реконструкции и капитальном ремонте автомобильных дорог / Н.А. Слободчикова, К.В. Плюта, А.А. Дзюгий // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2015. – № 8(103). – С. 126-132.

УДК 691.3

*Салил М.Я.М., Вашева С.В.*

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

## **СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ИЗ ФРАГМЕНТОВ РАЗРУШЕННЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ЙЕМЕНА**

Йемен — государство в Юго-Западной Азии. Йемен находится на юге Аравийского полуострова. Омывается водами Красного и Аравийского морей Индийского океана. Имеет границу с Оманом (на востоке) и Саудовской Аравией (на севере).

В целом строительная индустрия развивалась в Йемене на протяжении многих столетий, строились различные сооружения, начиная с глиняных и заканчивая многоэтажными домами [1-2], которые были построены из бетона на заполнителях из щебня горных пород и из керамического и силикатного кирпича (Рис. 1).



Рис. 1 Архитектура городов Йемена

Нестабильная политическая обстановка привела к военным действиям и к очень серьезным разрушениям городов Йемена (Рис. 2).



Рис. 2 Разрушенные здания города Йемена

В настоящее время актуальной является проблема восстановления разрушенных городов. Для этих целей, отобраны и исследованы представительные пробы фрагментов разрушенных зданий и сооружений Йемена. Установлено, что они состоят в основном из тяжелого бетона и в меньшей степени из керамического и силикатного кирпича. Боевые действия в городах Йемена построенных из глины практически не велись.

Разработана технология производства щебня из фрагментов разрушенных зданий и сооружений, построенных из бетона и железобетона. Исследованы свойства этого щебня. При дроблении фрагментов разрушенных зданий и сооружений были выделены фракции щебень 5 - 20 мм, 5 - 40 мм и на основе их разработаны составы бетонов для монолитного строительства и производства железобетонных конструкций в заводских условиях. Для строительства основания автомобильных дорог была получена широкая номенклатура щебня различных фракций [3-4].

Песчаной фракции (размером от 0 – 5 мм.) образуется где-то около 25%, и она может использоваться для получения мелкозернистого бетона, стеновых материалов и для других видов строительства (Рис. 3).

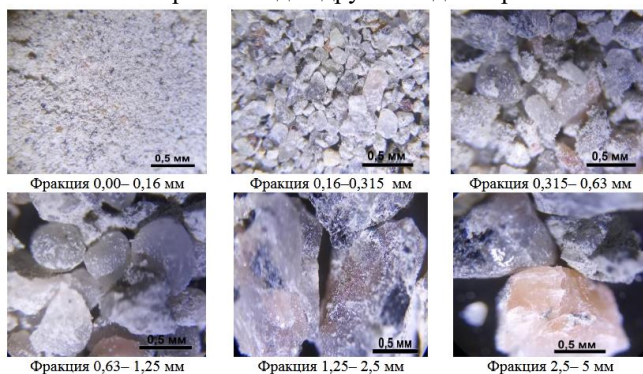


Рис. 3 Песчаная фракция отсева дробления

Пылевидная фракция 0-0.63мм за счёт того, что в ней находится определенное количество непрогидратированных зёрен клинкерных минералов может использоваться как минеральная добавка в цемент, так и как непосредственно вяжущие (активность 23-24 мегапаскаль МПа). При помоле фракции 0-0.63мм до удельной 500 м<sup>2</sup> на кг и введении в качестве минеральной добавки в цемент (3%,5%,7%) активность вяжущего на основе обыкновенного цемента была поднята на 20-25% (Табл. 1).

Таблица 1 - Свойства композитов в зависимости от составов

Применяемый техногенный композит	Прочность R <sub>сж</sub> , МПа, при соотношении							
	Минеральная добавка : Ц 70:30				Минеральная добавка : Ц 30:70			
	1 сут.	3 сут.	7 сут.	28 сут.	1 сут.	3 сут.	7 сут.	28 сут.
Материал от рециклинга бетона	4,3	5,8	16,1	21,3	16,8	20,9	44,3	70,9
Материал от рециклинга керамического кирпича	3,7	4,2	15,3	18,6	13,1	17,3	40,2	60,8
Материал от рециклинга силикатного кирпича	3,1	3,9	14,4	17,9	12,8	18,5	39,1	57,9

Установлено, что композиты с использованием бетонного лома имеют прочность выше, чем с использованием минеральных добавок с использованием керамического и силикатного кирпича.

В целом, разработанные технологии позволяют использовать фрагменты разрушенных зданий и сооружений Йемена для производства широкой номенклатуры строительных материалов, для монолитного строительства, для производства бетонных и железобетонных изделий в заводских условиях, стеновых материалов, сухих смесей и композиционных вяжущих.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шаафаль В.Ф. Современное строительство Йемена / В.Ф. Шаафаль // В сборнике: Молодежь и научно-технический прогресс. сборник докладов X Международной научно-практической



конференции студентов, аспирантов и молодых ученых: в 4 т.. 2017. С. 259-263.

2. Кара К.А. Строительные материалы и технологии современного строительства Йемена / К.А. Кара, В.Ф. Шаафаль // В сборнике: Образование, наука, производство. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. 2015. С. 613-619.

3. Ахмед А.А.А. Композиты для дорожного строительства в республике ирак с применением техногенных материалов. / А.А.А. Ахмед // Университетская наука. 2020. № 2 (10). С. 17-21.

4. Лесовик Р.В. К проблеме производства строительных материалов из фрагментов разрушенных зданий и сооружений / Р.В. Лесовик // В книге: XXI Менделеевский съезд по общей и прикладной химии. Сборник тезисов. XXI Менделеевский съезд по общей и прикладной химии. В 6 т.. Санкт-Петербург, 2019. С. 282.

### **УДК 691.3**

*Сальникова А.С., Сальников Д.А.*

*Научный руководитель: Елистраткин М.Ю., канд. техн. наук, доц.*

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

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМПОЗИЦИОННОГО ВЯЖУЩЕГО ЗА СЧЕТ ВВЕДЕНИЯ КАРБОНАТОСОДЕРЖАЩИХ ДОБАВОК**

Дополнительным способом повышения качества и прочности бетона может стать дополнительное введение добавок. Выбор, которых зависит от придания необходимых свойств бетону. Считается, что при введении карбонатосодержащих наполнителей в состав вяжущего, в процессе гидратации портландцемента образуются гидрокарбоалюминаты кальция  $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{CaCO}_3\cdot 11\text{H}_2\text{O}$ , а так же повышается содержание низко основных гидросиликатов кальция [1].

Введение карбонатного наполнителя в количестве до 30 % с ростом степени наполнения и дисперсности до  $500 \text{ м}^2/\text{кг}$  приводит к ускорению гидратации  $\text{C}_3\text{S}$ , особенно в ранние сроки твердения, что объясняется образованием центров кристаллизации в виде гидрокарбоната кальция. Также было уставлено [2, 3], что продуктами гидратации портландцемента с карбонатными добавками являются не только карбоалюминаты кальция, но и возможно образование твердых

растворов между гидрокарбонатом кальция и гидроксоалюминатом кальция.

В исследованиях в качестве такого наполнителя была выбрана мраморная крошка – отходы производства памятников. Измельченная в шаровой мельнице до удельных поверхностей 700 и 900 м<sup>2</sup>/кг. Отмечено, сильное налипание мрамора на стенках и помольных агрегатах мельницы, что вызывало проблему при получении более тонкого помола. Возможно при использовании другого вида мельницы, таких проблем не возникло.

Для определения влияния тонкомолотого мрамора и его удельной поверхности на цементный камень были получены образцы размерами 2×2×2 см, с учетом нормальной густоты составов и с виброуплотнением. Размеры образцов 2×2×2 см выбраны в целях экономии вяжущего. Дозировка мраморного порошка составляла 3, 5, 7 и 10 % от массы цемента, до испытания образцы хранились в камере нормального твердения, испытания на прочность на сжатие проводили на 7, 14 и 28 сутки, согласно ГОСТ 10180-2012 (Табл.).

Таблица – Влияние тонкомолотого мрамора на прочностные показатели цементного камня

№ состава	Расход наполнителя, % от массы цемента	S <sub>уд</sub> , м <sup>2</sup> /кг	Н/Г	Прочность, МПа		
				7 сутки	14 сутки	28 сутки
1	-	-	24	76	77	77
2	3	700		102	103	104
3	5			112	113	114
4	7			92	93	94
5	10			86	87	88
6	3	900		104	105	106
7	5			113	116	118
8	7			101	108	112
9	10			90	98	106

При введении в цемент тонкомолотого мрамора в количестве 3-5 % уже на 7 сутки отмечается увеличение прочности на 34-49 % что, согласно данным [4, 5] может быть объяснено, ускорением гидратации С<sub>3</sub>S в ранние сроки твердения, в том числе за счёт образования центров кристаллизации в виде гидрокарбоната кальция. В более поздние сроки набор прочности замедляется, однако общий прирост прочности в марочном возрасте в конечном итоге составляет 35-53 %. При дальнейшем увеличении количества добавки происходит снижение прочности на 20 %. Несмотря на это прочность с 7 % тонкомолотого

мрамора выше контрольного состава более чем на 20 % при соответствующем снижении количества клинкерной составляющей.

Для анализа гранулометрического состава был проведен зерновой состав методом лазерной гранулометрии на приборе ANALISETTE 22 Nano Tec plus, Для сравнения был определен также гранулометрический состав тонкомолотого портландцемента с  $S_{уд}=500 \text{ м}^2/\text{кг}$ .

Согласно данным гранулометрического состава (Рис. 1) видно, что тонкомолотый цемент имеет значительно меньшее количество частиц размером 0,27...13,42 мкм, так же ее линия смещена в зону более крупных частиц. Наличие у тонкомолотого мрамора большего количества частиц размером до 13,42 мкм способствует уплотнению конгломерата благодаря заполнению пространства между более крупными частицами цемента.

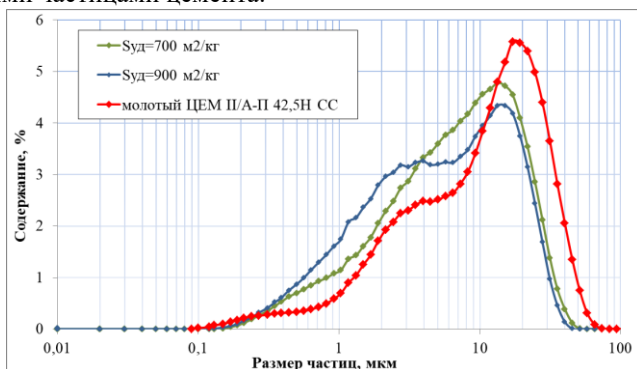


Рис. 1 Гранулометрический состав тонкомолотого мрамора

У тонкомолотого мрамора с  $S_{уд}=700 \text{ м}^2/\text{кг}$  отмечается большее количество частиц с максимальным размером 13,42...15,16 мкм на 0,44 %, чем с  $S_{уд}=900 \text{ м}^2/\text{кг}$ . Стоит отметить, что у тонкомолотого мрамора с  $S_{уд}=900 \text{ м}^2/\text{кг}$  больше частиц с размером 0,35...3,5 мкм, а наличие так называемых «плато» и «седловин» на кривой гранулометрического состава вызвано, вероятно, способом помола, выбранной мельницей и сильным налипанием материала на стенки и помольные агрегаты, что могло вызвать неравномерность помола.

Изменение удельной поверхности мраморного порошка в рассматриваемом диапазоне с 700 до 900  $\text{м}^2/\text{кг}$  достаточно слабо влияет на изменение прочности, разница показателя не превышает 1-4 %, что не оправдывает затраты на более тонкий помол, поэтому считаем не целесообразным измельчение мрамора до  $S_{уд}=900 \text{ м}^2/\text{кг}$ .

Таким образом, для повышения прочности бетона, целесообразным является применение тонкомолотого мраморного

порошка с Суд=700 м<sup>2</sup>/кг при введении его до 10 % в вяжущее, особенно при использовании мраморной крошки и других отходов при работе с мрамором.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Collins, T.M. Proportioning high-strength concrete to control creep and shrinkage / T.M. Collins // *Materials Journal*. – 1989. – Т 86. – №. 6. – Pp. 576-580.

2. Аль-Бу-Али, У.С. Расчет и подбор зернового состава заполнителя из бетонного лома высокоплотной упаковки / У.С. Аль-Бу-Али, Р.В. Лесовик, А.Н. Хархардин, А.Д. Толстой, А.А.А. Ахмед, А.Х. Аласханов, Ж.Т. Айменов // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*. 2020. № 6. С. 18-28.

3. Ермилова, Е.Ю. Исследование влияния добавок карбонатных пород на физико-механические свойства композиционного цемента / Е.Ю. Ермилова, З.А. Камалова, Р.З. Рахимов, А.Г. Хантимиров, Д.А. Габбасов // *Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета*. – 2016. – № 4 (38). – С. 351-358.

4. Лесовик, В.С. Гранулированные шлаки в производстве композиционных вяжущих / В.С. Лесовик, М.С. Агеева, А.В. Иванов // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*. – 2011. – №3. – С. 29–32.

5. Ларсен, О.А. Самоуплотняющийся бетон с карбонатным наполнителем для объектов транспортной инфраструктуры / О.А. Ларсен, В.В. Наруть // *Инженерно-строительный журнал*. – 2016. – № 8 (68). – С. 76-85.

**УДК 691.3**

*Сальникова А.С., Сальников Д.А.*

*Научный руководитель: Елистраткин М.Ю., канд. техн. наук, доц.*

*Белгородский государственный технологический университет*

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

## **ПОВЫШЕНИЕ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА ЗА СЧЕТ МОДИФИЦИРОВАНИЯ МЕЛКОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ**

Для получения качественного бетона и повышения его прочности необходимо применять качественный и прочный мелкий заполнитель. Однако слабым местом всех бетонов в основном, является именно

контактная зона сцепления цементного камня и зерен мелкого заполнителя, так как в большинстве случаев разрушение бетона происходит по этой зоне, с вырыванием зерен мелкого заполнителя, а не с их разрушением. Поэтому целесообразным является увеличения силы сцепления контактной зоны, что в итоге приведет к повышению прочности и самого бетона.

В литературе [1-7] существует множество способов модифицирования мелкого заполнителя, более сложные и многостадийные и более простые, но в итоге все способы приводят к усилению прочности сцепления цементного камня с поверхностью зерен заполнителя. На наш взгляд наиболее простыми являются способы усиления путем нанесения на чистую поверхность песка тонкого слоя минерального состава, способного образовывать сильные химические связи, как с поверхностью заполнителя, так и вступать в реакцию с новообразованиями цементного камня. При этом слабые адгезионные связи заменяются сильными ионными связями, и силы сцепления цементного камня с поверхностью заполнителя многократно увеличиваются.

Для выявления эффективности обработок мелкого заполнителя на прочностные показатели бетона был обработан кварцевый песок разными способами. Для обработки песка применялся раствор медного и железного купороса, раствор бишофита, с разным временем обработки, концентрация растворов рассчитывалась исходя из рекомендаций [1]. Так же были опробованы способы нанесения на песок тонкого слоя жидкого стекла и цементного камня путем кипячения песка в цементе с водой. После обработки песок высушивался до постоянной массы при естественных условиях, только песок обработанный водным раствором 2 % жидкого стекла сушился в сушильном шкафу при температуре 200 °С в течении 1 часа. После сушки обработанные пески использовались для получения образцов размером 3×3×3 см. Размер образцов был принят с учетом экономии сырьевых компонентов бетона. В качестве контрольного песка был выбран не обработанный кварцевый песок, а так же для выявления в его составе пылевидных частиц, был состав и на мытом песке, поэтому его отмыли и просушили при естественных условиях до постоянной массы.

Водоцементное отношение было принято 0,5, а соотношение мелкого заполнителя к вяжущему 1:3 (Вяжущее:Песок). Хранение образцов до испытания происходило в камере нормального твердения при температуре ±20 °С (Табл.).

Таблица – Влияние обработанного мелкого заполнителя на прочность бетона

№ п/п	Время обработки, час	Способ обработки	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Прочность, МПа	
				7 сут	28 сут
1	-	-	2086	21,1	30,5
2	-	мытый	2248	28,7	30,2
3	16	раствором бишофита (m=50)	2128	27,1	27,3
4	1	раствором бишофита (m=50)	2222	27,3	23,7
5	1	раствором бишофита (m=1,02), ( $\rho=1054$ кг/м <sup>3</sup> )	2220	24,7	28,5
6	1	раствором медного купороса (m=50)	2183	27,7	25,4
7	16	раствором медного купороса (m=50)	2216	26,6	32,1
8	1	раствором железного купороса (m=50)	2163	28,7	29,1
9	16	раствором железного купороса (m=50)	2144	24,0	29,5
10	1	раствором 2% жидкого стекла ( $\rho=1450$ кг/м <sup>3</sup> ), сушка при t=200 °C	2066	20,5	16,6
11	3	кипячение в цементе	2147	18,6	31,1

Проанализировав таблицу, был сделан вывод, что прирост прочности дают составы 7 и 11 (кварцевый песок, обработанный раствором медного купороса и кварцевый песок, кипяченный в цементе) и составляет 2-5,2 %. Стоит отметить, что прочность составов 1 и 2 одинаковая (30 МПа), что указывает на то, что применяемый кварцевый песок (производства ООО «Формматериалы») уже очищен и в дополнительном очищении не нуждается.,

Таким образом, данные исследования подтверждают возможность повышения прочности при помощи модифицирования мелкого заполнителя, и стоит проводить исследования в данной сфере, для выявления наиболее эффективного способа обработки мелкого заполнителя с целью повышения контактной зоны между цементным камнем и зёрнами заполнителя.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мельник, Ю.М. Активизация структурообразования в контактной зоне тяжелого цементного бетона растворами солей с целью улучшения его свойств: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / Мельник Юрий Михайлович. – Харьков. – 1984. – С. 195.
2. Гладких, Ю.И. Повышение качества кварцевого заполнителя путем облучения / Ю.И. Гладких, В.В. Ядыкина, В.И. Заврежина // Строительные материалы. – 1986. №6. – С. 13.
3. Буянова, Ю.Д. Перспективы улучшения качества заполнителей для бетона / Ю.Д. Буянова, О.Е. Харо, Г.Р. Буткевич, Н.С. Левкова // Бетон и железобетон. – 2005. – №4. – С. 26-29.
4. Лукьянчиков, С.А. Разработка физико-химических приемов модификации поверхности заполнителя / С.А. Лукьянчиков, А.И. Кудяков // Нетрадиц. технол. в стр-ве: Матер. междунар. науч.-техн. семина, Томск. – 1999. – Ч.1. – С. 100–103.
5. Zhengmao, Ye Модифицирование промежуточной переходной зоны раствора на сульфоалюминатном цементе / Ye Zhengmao, Chang Jun, Lu Lingchao, Huang Shifeng, Chen Xin // Guisuan yuan xuebao J. Chin. Ceram. Soc. – 2006. – № 4. – pp. 511-515.
6. Каримов, И.Ш. Прочность сцепления цементного камня с заполнителями в бетоне и факторы, влияющие на нее / И.Ш. Каримов // Технологии бетонов. – 2013. – № 4 (81). – С. 28-31.
7. Каримов, И.Ш. Прочность сцепления цементного камня с заполнителями в бетоне и факторы, влияющие на нее. Часть 2 / И.Ш. Каримов // Технологии бетонов. – 2010. – № 1-2 (42-43). – С. 23-26.

*УДК 69:691*

*Синегубова М.М.*

*Научный руководитель: Ванькова Т.Е., доц.*

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

## ДОБАВКИ, УЛУЧШАЮЩИЕ КАЧЕСТВО АСФАЛЬТОБЕТОНА

Человеческое развитие не стоит на месте. Создавая всё более комфортные условия для жизни, люди начали изобретать машины. Таким образом, количество автомобилей за последние пятьдесят лет увеличилось почти в 60 раз (ещё в 1970г на 1000 человек было 5 автомобилей)! Увеличение количества транспорта создаёт всё большее

давление на дорогу. Дорожное покрытие подвергается сильным нагрузкам. По этой причине, были разработаны различные добавки, улучшающие качество асфальтобетона.

Для начала стоит разобраться, что собой представляет асфальтобетон.

*Асфальтобетон* - это многокомпонентная смесь, в основе которой - битум, минеральные компоненты, специальный минеральный порошок.

Различные добавки в асфальтобетон улучшают качество дорожного полотна. Отдельно взятые компоненты асфальтобетонной смеси не представляют себя как качественное дорожное полотно. Например, битум, он способен изменяться под влиянием температур – при высоких - размягчается и становится вязким, текучим, а при низких температурах – слишком твердым и хрупким. Поэтому, добавки приходится выбирать исходя из их влияния на свойства битума и пригодности их совместного использования.

Научно-технический прогресс постоянно диктует необходимость улучшения свойств материалов, используемых в дорожном строительстве. Таким образом, можем выделить следующие добавки:

**Пластификаторы** - используются для улучшения работоспособности и прочности асфальтобетона. Эти добавки увеличивают текучесть смеси, улучшают ее укладываемость и уменьшают вероятность появления трещин.

**Эмульсии** - используются для улучшения прилипания между асфальтом и щебнем. Эмульсии также уменьшают временную и постоянную деформацию.

**Сульфатные добавки** - используются в качестве связующего для повышения прочности и устойчивости асфальтобетона к воздействию влаги.

**Растительные масла** - также используются в качестве связующих для усиления прочности асфальтобетона. Растительные масла также уменьшают вероятность появления трещин.

**Воздухопереносители** - добавляются в асфальтобетон для улучшения его свойств при низких температурах. Эти добавки уменьшают вероятность появления трещин и улучшают устойчивость асфальтобетона к зимним условиям.

**Полимерные добавки** - они помогают улучшить адгезию между асфальтом и щебнем, повышают его прочность и устойчивость к трещинам.

**Битумные модификаторы** - это специальная добавка, которая продлевает срок службы битума. За счёт получения дополнительных



свойств эта добавка образует армирующую пространственную структуру в битумном вяжущем во время охлаждения, что придает дополнительную жесткость композиции в условиях нагрузки при эксплуатации.

**Силикаты** - добавки, которые увеличивают прочность и жесткость асфальтобетона, улучшают его устойчивость к воздействию воды и химических веществ.

**Цемент** - добавка, которая улучшает устойчивость асфальтобетона к воздействию воды, повышает его прочность и устойчивость к разрушению.

Резиновая крошка - добавка, которая повышает устойчивость асфальтобетона к износу и уменьшает шум при движении транспорта.

**Антистrepтик** - добавка, которая снижает скольжение на дороге в условиях дождя и снега, улучшает сцепление шин с дорожным покрытием.

**Фибры** - добавки, которые увеличивают прочность и устойчивость асфальтобетона к трещинам и износу.

Полистирол - добавка, которая улучшает устойчивость асфальтобетона к воздействию морозов и повышает его прочность.

**Адгезионные присадки к битуму** - представляют собой поверхностно-активные вещества (ПАВ), добавляемые в битум перед процессом смешивания компонентов асфальтобетонной смеси, в количестве 0,2–1,5% от массы вяжущего. Они обеспечивают прочное и стабильное сцепление битума и материалов минерального толка. Их задача – обеспечить морозостойкость покрытия, уменьшить эрозии, нивелировать образование трещин, ям и выбоин.

При выборе добавки необходимо обращать внимание на следующие факторы:

- Концентрация ввода. Не всегда есть соответствие «цена-качество». Необходимо делать проверку. Оптимальная концентрация добавок подбирается в дорожной лаборатории и только после этого можно сделать вывод об себестоимости.

- Транспортировка и хранение. В случае высоких расходов, вызванных транспортировкой или хранением присадки, материалы, себестоимость которых ниже, становятся дороже высококачественных.

- Технология ввода. При отсутствии технически точной дозировки добавки – лучше применять не дорогие продукты, имеющие относительно большой процент ввода в битум. Такие добавки можно отмерять вручную и их удобно усреднить по всему объему битумного вяжущего.

- Условия использования битума. При необходимости длительного хранения присадки в горячем битуме необходимо обратить внимание на способность добавки выдерживать высокие температуры во времени – термостабильность.

- Товарная форма. Необходимо выбирать такую форму, чтобы она была удобная в применении. Например, в линейке присадок ДАД имеются как жидкие, так и сыпучие продукты.

Таким образом, существует большое количество добавок, улучшающих свойства асфальтобетона. Но помимо этих добавок, необходимо использовать правильную технологию укладки, соблюдать все стандарты и ГОСТы.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Статистика: Автомобилизация России. Электронный ресурс [https://ruxpert.ru/Статистика:Автомобилизация\\_России](https://ruxpert.ru/Статистика:Автомобилизация_России)

2. Дорожные добавки. Электронный ресурс <https://www.npfselena.ru/additions/adhesive-additives/>

3. Калинина К., статья «Виды добавок в асфальтобетон». – 2021 - электронный ресурс <https://sumpro.ru/articles/article?id=313>

4. Ядыкина В.В., Наволокина С.Н., Влияние добавок на свойства холодных асфальтобетонов. // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. -2016. - №9. - С.54-57.

*УДК 691.334*

*Синицын А.А., Подгорный Д.С., Аль Мамуки Саад Кхаил Шадид  
Научный руководитель: Загороднюк Л.Х., д-р техн. наук, проф.  
Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ШУНГИТА В КАЧЕСТВЕ ДОБАВКИ ТОКОПРОВОДЯЩЕГО БЕТОНА

В статье рассматривается токопроводящий бетон — как перспективный материал, имеющий высокую электропроводность. Он используется в строительстве зданий, лабораторий, заводов, аэропортов и других объектов, где необходимо защитить от электромагнитных помех. Токопроводящий бетон позволяет создавать электростатический экран, который защищает оборудование и людей от опасных электромагнитных излучений. Освещена тема использования шунгита в

качестве основной добавки, обеспечивающую данный эффект.

Сегодня в строительной отрасли широко используется токопроводящий бетон, который позволяет создавать электростатический экран и защищать от электромагнитных помех различные здания и сооружения. Однако, чтобы повысить эффективность токопроводящего бетона, часто используют различные добавки. Шунгит является одной из таких добавок, которая может значительно повысить электропроводность бетона. Данный минерал добывают в России в основном в Зажогинском, Залебяжском, Мироновском, Полежаевском месторождении и Максовской залежи. Известные шунгитовые объемы исчисляются порядком 100 миллионов тонн, что является достаточно крупным запасом [5].

Шунгит — это минерал, состоящий из углерода и различных минеральных примесей, в том числе кремния, железа, алюминия и магния. В России шунгит добывается в Карелии, на глубине от 30 до 100 метров под землей. Он известен своими уникальными свойствами, такими как высокая электропроводность, способность очищать воду и улучшать ее качество, а также антимикробные свойства [1].

Токопроводящий бетон — это бетон, который имеет высокую электропроводность. Он используется в строительстве зданий, лабораторий, заводов, аэропортов и других объектов, где необходимо защитить от электромагнитных помех. Токопроводящий бетон позволяет создавать электростатический экран, который защищает оборудование и людей от опасных электромагнитных излучений [2].

Недавние исследования показали, что шунгит может использоваться как добавка в токопроводящий бетон, который используется в строительстве зданий, мостов и других сооружений. При разработке токопроводящего бетона с использованием шунгита важно учитывать его физические свойства, такие как удельный вес, пористость, прочность на сжатие, теплопроводность и электропроводность.

Кроме того, необходимо определить оптимальную дозу добавки шунгита в бетонную смесь, которая обеспечит требуемые характеристики. Опыты показали, что оптимальная доза шунгита составляет около 1-2% от массы цемента [3].

Использование шунгита в токопроводящем бетоне имеет ряд преимуществ перед традиционными добавками, такими как углеродные волокна или медные проволоки. Шунгит обладает высокой электропроводностью и хорошо смешивается с бетоном, что позволяет равномерно распределить его по объему смеси. Значительно улучшенная токопроводимость материала с добавкой шунгитовой

пудры открывает возможности для его использования в электротехнических приборах, таких как заземляющие системы, электропроводящие покрытия и многие другие примеры использования. Кроме того, использование шунгита может привести к уменьшению количества металлических компонентов в конструкции, что в свою очередь может привести к значительному снижению стоимости производства исходя из стоимости материала и, как следствие, возникновению ряду экологических преимуществ из-за изменения способа производства.

Кроме того, шунгит является недорогим и экологически чистым материалом, который можно добывать в России, что дает определенное преимущество для строительства внутри страны [4].

Однако следует отметить, что использование шунгита в бетоне также имеет некоторые недостатки. Например, из-за его пористой структуры он может понижать прочность бетона на растяжение и изгиб. Шунгитовая пудра имеет свойство повышать степень влагопоглощения материала, из-за свойств кристаллической решетки самого камня. Также требуется проведение дополнительных исследований для определения долговечности и стойкости шунгита к коррозии, что является важным фактором в условиях эксплуатации строительных конструкций с использованием данной добавки.

В целом, использование российского шунгита в качестве добавки для токопроводящего бетона имеет определенные перспективы. Однако, для его широкого внедрения требуется дальнейшее исследование и оптимизация процесса производства.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Наномодифицированный магниезиально-шунгитовый защитный бетон АЛЬФАПОЛ – Текст : электронный. – URL: <https://alfapol.ru/magnezialno-shungitovuj-beton/> (дата обращения 16.04.2023).

2. Маткович Б., Рогич В. Дополнительный доклад «Модифицированный магниезиальный цемент». Тр. VI международного конгресса по химии цемента. М., 1974.

3. С.В. Максимов, Учебное пособие «Материалы для конструирования защитных покрытий». – Текст : электронный // Изд-во Ассоциации строительных вузов, М. 2000. – URL: [http://lib.ulstu.ru/venec/2002/1/Maksimov\\_Komokhov.pdf](http://lib.ulstu.ru/venec/2002/1/Maksimov_Komokhov.pdf) (дата обращения 18.04.2023)

4. В.Г. Шевченко, Основы физики полимерных композитных материалов Учебное пособие для студентов по специальности «Композиционные наноматериалы». – Текст : электронный // Учреждение Российской академии наук Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН. – URL: [http://nano.msu.ru/files/master/I/materials/mechanical\\_properties.pdf](http://nano.msu.ru/files/master/I/materials/mechanical_properties.pdf) (дата обращения 18.04.2023)

5. Лесовик В.С., Загороднюк Л.Х., Чулкова И.Л., Толстой А.Д., Володченко А.А. Средство структур как теоретическая основа проектирования композитов будущего // Строительные материалы. 2015. №9. С. 18–22

### УДК 620.3

*Сметанин И.А., Быканова У.Ф.*

*Научный руководитель: Махов М.И., ст. преп.*

*Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы,  
г. Москва, Россия*

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ В ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

Мы живем в век технологий, и среди них некоторые из самых важных - нанотехнологии. Нанотехнологии — это использующие наномасштабные размеры технологии, применяемые для создания новых материалов и устройств. Наноматериалы — это материалы, в которых размеры частиц находятся в диапазоне от 1 до 100 нанометров. [1]

Порошковая металлургия — это технология получения материалов из металлических порошков, при которой порошок прессуется и подвергается нагреву в специальных условиях. Эта технология позволяет получать материалы с улучшенными свойствами, такими как прочность, жесткость и стойкость к коррозии.[2]

Нанотехнологии позволяют создавать материалы, которые обладают уникальными свойствами. Например, они могут увеличить прочность материалов до нескольких раз и улучшить их световые, магнитные и электрооптические свойства. Благодаря нанотехнологиям, материалы могут иметь большую эффективность и устойчивость к экстремальным условиям, что делает их более привлекательными для использования в различных отраслях, таких как медицина, электроника, строительство, авиация, космическая технология и многие другие.

Таким образом, нанотехнологии позволяют создавать материалы с новыми и улучшенными свойствами, что делает их более привлекательными для широкого круга промышленных и научно-технических задач. Они являются одним из наиболее важных направлений развития технологий, способных помочь преодолеть современные вызовы и проблемы.

**Исследования взаимодействия наноматериалов с алюминиевыми сплавами.** В последнее время растет интерес к улучшению свойств алюминиевых сплавов для использования в различных отраслях промышленности. Были проведены исследования по включению наноматериалов в сплавы алюминия, полученные методом порошковой металлургии.[3] Исследовались матричные нанокompозиты из сплава Al 2024, усиленные различным содержанием графена до 2% от массы. Анализ образцов проводился методом просвечивающей электронной микроскопии, были измерены относительная плотность, скорость коррозии, тепловое расширение и электрические свойства спеченных нанокompозитов. Относительная плотность уменьшилась на 3,3%, скорость коррозии на 52,4%, коэффициент теплового расширения на 88,97%, электропроводность образцов увеличилась в 5 раз. Таким образом, наноструктуры оказывают значительное влияние на физические и механические свойства изделий из Al 2024.[4]

**Исследование влияния углеродных наноматериалов на магний.** Также влияние углеродных наноматериалов на физико-механические свойства металлических изделий были рассмотрены на примере магния, армированного углеродными нанотрубками (УНТ), синтезированного методом порошковой металлургии с последующей горячей экструзией. В качестве усилителей добавляли углеродные нанотрубки (0,3% от массы).[5] Исследования показали, что коэффициент температурного расширения снижается примерно на 9%, прочность на растяжение увеличилась на 15%, уровень пористости увеличился на 1,15 об.%. [6] Результаты измерения коэффициента теплового расширения и прочности на растяжения показывают, что нанокompозиты Mg–УНТ термически и механически более стабильны, чем чистый Mg.

**Исследование воздействия наночастиц на медные изделия.** Еще один металл, который вызывает значительный интерес в электротехнических применениях из-за превосходной электрической и теплопроводности, хорошей стойкости к коррозии, а также простого и недорогого производства — это медь. Однако низкая прочность и износостойкость меди являются важной проблемой в

электротехнических применениях, особенно в электрических контактах, приводящих к сокращению срока службы.[7] Исследования показали, что добавление углеродных наночастиц значительно улучшает механические свойства и износостойкость композита с медной матрицей. Для увеличения прочности медных изделий, добавлялись армирующие углеродные нанотрубки (5 мас.%), в результате прочность возрастает на 24,5%. Для решения проблем, связанных с износостойкостью, было предложено введение листов графена. В результате изделия из меди на 15% меньше были подвержены износу, но электропроводность медного композита уменьшилась на 17%. Данные эксперименты подтверждают гипотезу о влиянии углеродных наноматериалов на свойства металлов, но также показывают, что на данном этапе, не каждая техническая задача может быть решена использованием углеродных наноматериалов.

В этом обзоре описаны исследования по включению наноструктур в порошковую металлургию, сделанные на сегодняшний день. Исследования продемонстрировали, что добавление наноматериалов может улучшить механические свойства, увеличить тепло- и электропроводность, обеспечить более низкие температуры спекания, влияющие на точность размеров. Несмотря на эти успехи, проблемы с применением наноматериалов для порошковой металлургии, тем не менее, многочисленны. В целом, внедрение углеродных наноматериалов в порошковую металлургию является очень перспективным направлением исследований, но предстоит еще много работы, чтобы научиться использовать преимущества уникальных свойств наноматериалов.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Валиев Р.З. Объемные наноструктурные материалы: получение, структура и свойства: монография / Валиев Р.З., Александров И.В. - М.: ИКЦ «Академкнига», 2007. - 398 с.

2. Шевченко В.Я. О терминологии: наночастицы, наносистемы, нанокompозиты, нанотехнологии // Микросистемная техника. - 2004. - № 9. - С. 2-4.

3. M.A. Taha, M.F. Zawrah Fabrication of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-ZrO<sub>2</sub>-Ni composites with improved toughness using nano powders prepared by mechanical alloying // Ceram Int, 46 (11) (2017), pp. 19519-19529.

4. C. Carreño-Gallardo, I. Estrada-Guel, C. López-Meléndez, E. Ledezma -Sillas, R.Castañeda-Balderas, R. Pérez-Bustamante, et al. B<sub>4</sub>C particles reinforced Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> composites via mechanical milling //

Metals, 8 (2018), pp. 1-10

5. C.S.Goh, J.Weil, L.C.Lee, M.Gupta Development of novel carbon nanotube reinforced magnesium nanocomposites using the powder metallurgy technique // Nanotechnology, 17 (2005), pp. 7-12.

6. A. Luo Processing, microstructure, and mechanical behavior of cast magnesium metal matrix composites // Metall. Trans. A, vol. 26(9)(1995), pp. 2445-2455.

7. T.Varol, A.Canakci The effect of type and ratio of reinforcement on the synthesis and characterization Cu-based nanocomposites by flake powder metallurgy // Journal of Alloys and Compounds, Vol. 649(2015), pp. 1066-1074

**УДК 691.32**

*Старченко К.М.*

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

## **К ВОПРОСУ ОБ ИННОВАЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА В КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ**

В условиях вечной мерзлоты основным вызовом является предотвращение разрушения фундамента из-за изменений температуры, таяния мерзлоты и перемещения почвы. Для того, чтобы создать стойкий фундамент, нужно разработать состав бетона, который обеспечивает высокую прочность и устойчивость к изменениям температуры и перемещениям почвы.

В связи с этим, Международные и Российские школы, специализирующиеся на материалах в строительстве, проводят исследования и разработки на высоком уровне, с использованием современных методов анализа и синтеза материалов, а также практического применения. Это также помогает понимать, как эти материалы могут быть применены в разных условиях и с учетом различных факторов, таких как климат, доступность сырьевых ресурсов, требования к прочности и долговечности конструкций и т.д.

В работе «Влияние оксида графена на прочность и долговечность бетона: обзор» [1] приведены результаты исследований, показывающих, что добавление оксида графена может повысить прочность бетона, улучшить его водонепроницаемость и



морозостойкость. Авторы также отмечают, что оксид графена может использоваться в качестве адгезионной добавки для увеличения сцепления между бетоном и армирующей сталью.

Результаты исследования авторов [2] в работе «Применение золошлакового материала в качестве частичной замены песка в бетоне» показали, что золошлак может быть эффективно использован в качестве заменителя песка в бетоне с небольшими изменениями его свойств. Оптимальное содержание золошлака было определено как 30% от общего объема смеси. Также было показано, что бетон, содержащий золошлак, имеет более высокую морозостойкость и более низкое водопоглощение, чем обычный бетон.

В работе «Влияние нанокремнезема и мультикомпонентных добавок на реологические и механические свойства самозатвердевающего бетона» [3] было установлено, что добавка нанокремнезема может улучшить механические свойства бетона, такие как прочность на сжатие и растяжение, а также уменьшить его пористость. В свою очередь, мультикомпонентные добавки, с компонентами, такими как метакаолин, порошок меди, гранулированный шлак, микросиликаты, позволяют регулировать реологические свойства бетона, такие как текучесть и устойчивость к разрушению.

Целью исследования авторов работы [4] являлось изучение свойств и прочности легкого бетона на основе легких заполнителей с использованием отходов керамического порошка и кремнеземной пыли. Результаты исследования показали, что добавление этих компонентов может значительно улучшить его свойства и прочность. Было обнаружено, что при использовании отходов керамического порошка в качестве заполнителя в легком бетоне происходит увеличение прочности на сжатие и на изгиб, а также уменьшение водопроницаемости и повышение морозостойкости. Кроме того, добавление кремнеземной пыли может увеличить прочность на изгиб и морозостойкость легкого бетона.

В исследовании «Влияние метакаолина на свойства высокопрочного бетона, содержащего переработанный бетонный щебень» [5] были проведены испытания на определение механических свойств и деформационных характеристик бетона, а также на его устойчивость к замерзанию и оттаиванию. Было выявлено, что добавление метакаолина в бетон на основе переработанного бетонного щебня приводит к улучшению его механических свойств и деформационных характеристик, а также повышению устойчивости к замерзанию и оттаиванию.

Авторы «Технологии производства бетонов на основе местных сырьевых ресурсов для строительства в условиях крайнего Севера» [6] исследовали химический и минералогический состав различных типов грунтов и пород, доступных в регионе, и оценили их потенциал для использования в качестве компонентов для производства бетона. Некоторые из возможных местных сырьевых ресурсов, включают в себя ледниковые отложения, глину, песок, гравий, шунгит, торф и другие природные материалы. Результаты работы показали, что использование местных сырьевых ресурсов может существенно снизить затраты на транспортировку и приобретение компонентов бетона. Кроме того, бетон, произведенный на основе местных сырьевых ресурсов, оказался достаточно прочным и морозостойким, что свидетельствует о его потенциале для использования в строительстве в условиях крайнего Севера.

В работе [7] были исследованы различные виды силикатных добавок, включая микросиликаты и шлаковые порошки, и их влияние на свойства цементных композиций, такие как прочность, плотность и термическая стойкость, а также были проведены испытания на сжатие, изгиб и растяжение при различных температурах. Исследование показало, что использование силикатных добавок позволяет улучшить прочностные и термические свойства цементных композиций. В частности, было обнаружено, что добавление микросиликатов повышает прочность бетона в сжатии и изгибе, а использование шлаковых порошков позволяет увеличить его термическую стойкость.

В материале «Влияние криогенных условий на прочностные характеристики бетонов, укрепленных углеродными нанотрубкам» [8] исследуют влияние углеродных нанотрубок (УНТ) на механические свойства бетона в условиях низких температур. В работе были проведены эксперименты, в которых использовались образцы бетона, укрепленные УНТ, подвергнутые криогенному воздействию, при температуре от  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$  и образцы без УНТ. Результаты показали, что использование УНТ улучшает механические свойства бетона, а также повышает его устойчивость к криогенным условиям. В частности, было обнаружено, что прочность бетона с УНТ увеличивается на 20-25% по сравнению с образцами без УНТ при температуре  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Это объясняется тем, что УНТ являются эффективным усилителем бетона, увеличивая его прочность и жесткость, а также улучшая его микроструктуру.

Проводимые эксперименты [9] на образцах бетона с различными добавками, в ходе исследований которых были получены данные о механических свойствах бетона, показали, что наиболее эффективными

добавками для повышения морозостойкости бетона, в условиях Крайнего Севера, являются микросиликаты и гранулированный шлак. Они способствуют уменьшению пористости бетона, что позволяет ему выдерживать более суровые климатические условия.

Микросиликат является одним из популярных минеральных добавок для бетона, который используется для повышения его прочности, устойчивости к воздействию агрессивных сред, улучшения текучести бетонной смеси и т.д. В работе [10] было проведено исследование влияния микросиликатных добавок на прочность бетона при низких температурах. Экспериментальная часть работы включала проведение испытаний на прочность бетона при низких температурах (-20°C и -40°C) с добавлением различных количеств микросиликата. В результате исследования было выявлено, что микросиликатные добавки способствуют повышению прочности бетона при низких температурах, что делает его более устойчивым к воздействию холода.

В разделе «Материалы для строительства фундаментов» монографии [11] подробно рассматривают различные материалы, используемые для создания прочных и устойчивых фундаментов в северных регионах. Компоненты бетона играют важную роль в его свойствах и характеристиках: портландцемент является основным связующим в бетоне, заполнители (природные пески, щебень, дробленый камень, зола) используются для увеличения объема бетона и снижения его стоимости, песок с определенными требованиями, влияющими на его фракционный состав и качество, щебень применяется в бетоне в качестве гравийного заполнителя, и различные типы добавок.

#### 1. Пластификаторы:

- Суперпластификаторы (например, поликарбоксилатные эфиры) - позволяют снизить содержание воды в бетоне, при этом сохраняя его подвижность и пластичность.

- Лигниносulfонатные пластификаторы - также улучшают работоспособность бетонной смеси, обеспечивая легкое распределение и формовку.

#### 2. Водорегулирующие добавки:

- Ретардеры (замедлители отверждения) - например, гидроксид алюминия - контролируют время отверждения бетона и увеличивают его подвижность.

- Пластифицирующие ретардеры - обеспечивают одновременное замедление отверждения и улучшение работоспособности бетона.

#### 3. Противоморозные добавки:

- Аиренты (воздушающие добавки) - например, воздухосодержащие агенты, позволяют вводить воздушные пузыри в бетон, которые компенсируют объемные изменения, вызванные замораживанием и оттаиванием.

- Противоморозные добавки на основе хлоридов (например, хлорид кальция) - снижают точку замерзания влаги в бетоне, предотвращая образование льда при низких температурах.

4. Ускорители отверждения:

- Сульфат алюминия - ускоряет отверждение бетона, особенно при низких температурах.

- Хлорид кальция - также используется как ускоритель отверждения бетона, особенно при холодных условиях.

5. Замедлители отверждения:

- Глицерин - замедляет процесс отверждения бетона, что позволяет продлить время его укладки и формовки.

6. Другие добавки:

- Гидрофобизаторы - например, стеарат кальция - улучшают водонепроницаемость бетона путем снижения его поверхностного натяжения.

- Пигменты - добавляются для придания бетону желаемого цвета или эстетического вида.

На основе проведенной исследовательской базы, можно сделать вывод о том, что ученые и специалисты активно работают над разработкой новых материалов и технологий, которые обладают повышенной морозостойкостью, прочностью и долговечностью. Это важно для строительства конструкций в экстремальных климатических условиях Арктической зоны.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ahmad Lone J., Effect of graphene oxide on strength and durability of concrete: A review / J. Ahmad Lone, M.I. Tajdar, A. Bashir // *Construction and Building Materials*. — 2021. — Vol. 276. — Article number 122197. — P. 1-14. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2021.122197.

2. Othman A., Application of bottom ash as a partial replacement of sand in concrete / A. Othman, A. Al-Juboori, O. Alkhaddar // *Journal of Cleaner Production*. — 2021. — Vol. 279. — Article number 123771. — P. 1-11. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.123771.

3. Kareemulla S., Influence of nanosilica and fly ash on the rheological and mechanical properties of self-compacting concrete / S. Kareemulla, S. Alampalli // *Construction and Building Materials*. — 2020. — Vol. 238. —

Article number 117719. — P. 1-10. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.117719.

4. Park C.-G., Properties and durability of lightweight aggregate concrete incorporating waste ceramic powder and silica fume / C.-G. Park, I.-S. Cho, S.-J. Kwon // *Journal of Cleaner Production*. — 2020. — Vol. 258. — Article number 120825. — P. 1-11. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.120825.

5. Wang X., Influence of metakaolin on the properties of high-strength concrete containing recycled concrete aggregates / X. Wang, H. Li, X. Ma // *Journal of Materials in Civil Engineering*. — 2019. — Vol. 31, no. 8. — Article number 04019205. — P. 1-10. DOI: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0002764.

6. Кузнецова Т.А., Технологии производства бетонов на основе местных сырьевых ресурсов для строительства в условиях крайнего Севера / Т.А. Кузнецова, А.С. Крылова // *Сибирский научный вестник*. — 2020. — № 1. — С. 22-28. DOI: 10.15372/SNV01200203

7. Назарова Н.С., Исследование свойств цементных композиций на основе силикатных добавок / Н.С. Назарова, В.А. Терентьев, Р.А. Абдуллаев // *Строительные материалы*. — 2019. — № 5. — С. 14-17. DOI: 10.31659/0585-430X-2019-764-5-14-17

8. Кузнецов И.А., Влияние криогенных условий на прочностные характеристики бетонов, укрепленных углеродными нанотрубками / И.А. Кузнецов, Г.А. Печеникова, Т.А. Кузнецова // *Современные проблемы науки и образования*. — 2018. — № 4. — С. 12-17. DOI: 10.17513/spno.26635

9. Костенко А.А., Определение влияния различных типов добавок на морозостойкость бетона в условиях крайнего севера / А.А. Костенко, Т.А. Кузнецова, Н.В. Проскуракова // *Сборник научных трудов конференции «Актуальные проблемы строительства и архитектуры»*. — 2017. — С. 120-124.

10. Соловьева М.В., Исследование свойств микросиликатных добавок для повышения прочности бетона при низких температурах / М.В. Соловьева, Н.Ю. Шабанова, В.Н. Алексеев // *«Материалы и технологии»*. — 2016. — № 4. — С. 34-40. DOI: 10.24411/0235

11. Местников, А. Е. *Строительные материалы и технологии для Севера и Арктики* / А. Е. Местников, Т. С. Антипкина. — Москва : Издательство АСВ, 2021. — 218 с. — ISBN 978-5-4323-0383-7. — EDN JQZQGS.

Сяо Вэньсюй<sup>1</sup>, Яцюк М.К.<sup>2</sup>, Выходцев И.А.<sup>3</sup>

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

<sup>1</sup>Белгородский государственный технологический университет

им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

<sup>2</sup>Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток, Россия

## РЕОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГАЗОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

Все разработанные составы были созданы, исходя из требований одинаковой подвижности, однако, кроме того, еще были исследованы реограммы, демонстрирующие, что все запроектированные смеси при градиенте скорости сдвига в интервале от 5 до 25 с<sup>-1</sup> характеризуются тиксотропным типом течения с плавным снижением вязкости (Рис. 1).

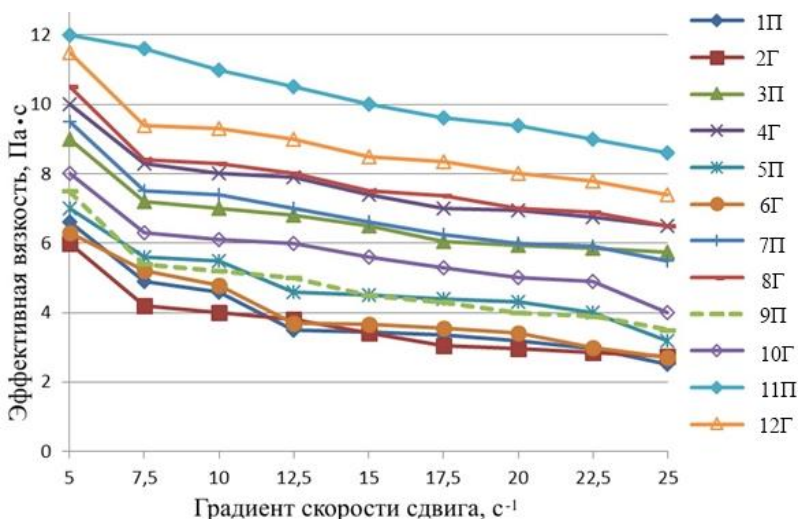


Рис. 1 Влияние градиента скорости сдвига на эффективную вязкость пено- и газобетонных смесей

Увеличение процентного содержания клинкерной составляющей в КВ повышает вязкие характеристики смеси, что обусловлено активным связыванием определенной доли воды затворения уже в ранние сроки твердения [1-2]. Позитивным фактором здесь будет являться уменьшение усадочных явлений на первых этапах гидратации, что и будет доказано позднее, при исследовании характеристик усадки.

В результате реологических исследований установлено, что все разработанные смеси обладают характеристиками, позволяющими эффективно транспортировать их к бетонируемым конструкциям. Определенные расхождения в значениях эффективной вязкости, выражающиеся в формах графиков обоснованы различной дозировкой исходных компонентов, в частности тех, которые повышают потребность в воде затворения (алюмосиликатная добавка, пористый наполнитель, полипропиленовые волокна). Несмотря на это, доказано, что, даже в случае применения этого сырья, вязкость растет в допустимых пределах [3-4].

Нагляднее всего демонстрируется влияние дисперсных волокон на рост вязкости, что обусловлено тем, что в отличие от смесей с повышенным содержанием алюмосиликатной добавки и пористого наполнителя, при введении полипропиленовой фибры не планируется рост водопотребности [5-6].

Вместе с тем, волокна полипропиленовой природы, химически не реагируют с водой и протеиновым пенообразователем, а механически влияют на структуру пены, что приводит к созданию сплошных водных каналов вдоль фибры, а это, в свою очередь, которые облегчают движение разных структурных элементов друг относительно друга и между формирующимися порами в ячеистом цементном композит. Повышая подвижность смеси, создается возможность формировать устойчивые ячеистобетонные системы с заданным значением открытой пористости при сниженном водотвёрдом отношении, а это уплотняет и упрочняет межпоровые перегородки.

Естественно, главный элемент управления реологическими характеристиками смесей - поликарбоксилатный химический модификатор. Рис. 2 демонстрирует схему молекулы поликарбоксилатного эфира, состоящую из основной цепи, адсорбированной на цементной частице, и боковых цепей, заполняющих объем вокруг основной цепи. Здесь можно рассмотреть модель капли, описывающую полимер как не контактирующую друг с другом последовательность полусфер [7-8].

Таким образом, проявляется двойной механизм отталкивания за счет стерического и электростатического эффектов, что позволяет эффективно управлять реологическими характеристиками разработанных цементных композитов.

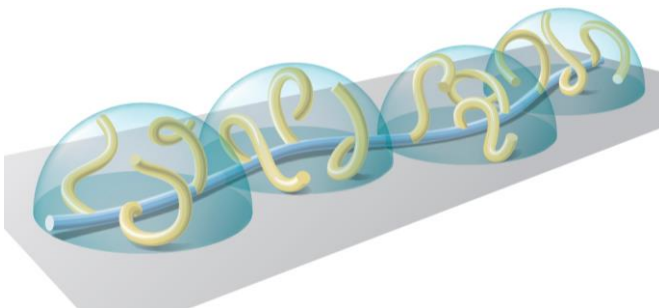


Рис. 2 Схема поликарбоксилатной молекулы

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шаповалов, Н.А. Тяжелые бетоны на карбонатном заполнителе улучшенного качества / Н.А. Шаповалов, М.М. Косухин, А.А. Слюсарь, О.В. Мухачев // *Строительные материалы*. - 2002. - №1. - С. 8-9.

2. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. – М., 2018. – 150 с.

3. Santos, R.F. Nanofibrillated cellulose and its applications in cement-based composites: A review / R.F. Santos, J.C. Lopes Ribeiro, J.M. Franco de Carvalho, W.L. Esteves Magalhães, L.G. Pedroti, G.H. Nalon, G.E. Soares de Lima // *Construction and Building Materials*. - 2021. – Vol. 288. – P. 123122.

4. Tafesse, M. Flowability and electrical properties of cement composites with mechanical dispersion of carbon nanotube / M. Tafesse, N.K. Lee, A.S. Alemu, H.K. Lee, S.W. Kim, H.-K. Kim // *Construction and Building Materials*. - 2021. – Vol. 293. - P. 123436.

5. Kumar, M. An overview of beneficiary aspects of zinc oxide nanoparticles on performance of cement composites / M. Kumar, M. Bansal, R. Garg // *Materialstoday: Proceedings*. - 2021. Vol. 43(2). - P. 892-898.

6. Akbar, A. Multicriteria performance evaluation of fiber-reinforced cement composites: An environmental perspective / A. Akbar, K.M. Liew // *Composites Part B: Engineering*. - 2021. – Vol. 218. – P. 108937.

7. Ling, Y. Graphene reinforced cement composites: A review / Y. Ling, H. Du // *Construction and Building Materials*. - 2020. – Vol. 265. – P. 120312.

8. Dinesh, A. Carbon nanofiber embedded cement composites: Properties and promises as sensor – A review / A. Dinesh, B. Abirami, G. Moulica // *Materialstoday: Proceedings*. - 2021. – Vol. 44(6). - P. 4166-4172.



*Токарев В.А., Курлыкина А.В.*

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

## **ПРИМЕНЕНИЕ ВТОРИЧНОГО ЩЕБЕНЯ ИЗ БЕТОННОГО ЛОМА В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

Развивающаяся экономика и повышение уровня жизни стимулировали динамический рост инфраструктуры и строительства, что привело к увеличению спроса и потребления бетонных конструкций. Ежегодно в отечественной строительной отрасли образуется несколько миллионов тонн бетонного лома [1]. Источником его являются разбираемые физически и морально устаревшие здания и мостовые сооружения, брак на предприятиях производящих бетонные изделия, технологические отходы на строительных площадках, а также рекультивация свалок. Кроме того, в процессе урбанизации старые сооружения сносятся, и утилизация образовавшегося в результате сноса мусора становится серьезной проблемой. Чрезмерное использование природных ресурсов для производства строительных материалов, становится все более серьезной экологической проблемой, для решения которой необходима разработка устойчивых комплексных программ управления и подходящих процессов переработки, что позволит получить экономическую отдачу от этих отходов [2]. Как правило, во всех больших городах существуют предприятия, обладающие техническими средствами для переработки различных бетонных конструкций, которые позволяют получать вторичный щебень. Использование переработанного материала возможно в том числе в области дорожного строительства [3]. Отходы строительной промышленности дешевле природного сырья. Часто они почти сразу (после минимальной переработки) годятся для применения в качестве заполнителей [4].

В этом случае бетонный лом может быть использован в устройстве оснований дороги как заполнитель для создания жесткого основания, которое является необходимым условием для создания качественной дороги. Возможно его использование в качестве защитного слоя для укрепления берегов рек и каналов. Переработанный материал можно использовать для производства дорожных ограждений, которые могут быть установлены как разделительные полосы при ремонте автомобильной дороги. Невысокая прочность полученного материала

позволяет использовать его как крупный заполнитель для создания пешеходных и велосипедных дорожек.

В работе [5] были проведены испытания дорожных оснований на основе вторичных щебней по таким свойствам как: истинная плотность, марка по дробимости, водопоглощение и т.д. Результаты определения физико-механических свойств вторичного щебня из лома бетона представлены в таблицах 1, 2, 3.

Таблица 1 - Физико-механических свойств щебня из лома бетона [6].

№	Свойства	Ед. изм	Значение
1	Насыпная плотность	кг/м <sup>3</sup>	1385
2	Марка по дробимости	%	400(21%) в сухом состоянии, (200)26%- в мокром
3	Содержание пылеватых частиц	%	0,5
4	Содержание глины в комках		нет
5	Истинная плотность	кг/м <sup>3</sup>	2570
6	Содержание зерен пластинчатой и игловатой формы	%	7,5
7	Водопоглощение	%	2,55

Таблица 2 – Зерновой состав щебня из лома бетона [6].

Зерновой состав	Диаметр отверстий сит, мм.							
	80	40	25	20	15	10	5	2,5
Частные остатки, %	-	21,66	67,02	10,1	1,22	-	-	-
Полные остатки, %	-	21,66	88,68	98,78	100,00	-	-	-
Полные проходы, %	100	78,34	11,32	1,22	0	-	-	

Таблица 3 - Результаты испытания вторичного щебня из лома бетона на дробимость [6].

Зерновой состав	Диаметр отверстий сит, мм.					D=20,97; Прочность-400кг/см <sup>2</sup> ; Фракция щебня 20-40
	40	25	20	15		
Частные остатки, гр.	21,66	88,68	98,78	100,00		
Дробимость %,	22,0	21,6	21,2	19,06		

Щебень данной пробы соответствует марке по дробимости при сжатии в цилиндре в сухом состоянии 400, а при испытании в «мокром» 200. Содержание зерен пластинчатой и игольчатой формы составляет 7,5%. Физико-механические показатели соответствуют требованиям ГОСТ 8267-93 По фракционному составу щебень относится к щебню фракции 20-40мм.

В исследовании [6] были проанализированы физико-механические показатели крупного заполнителя из переработанного бетонного лома. Полученные данные представлены в таблице 4.

Таблица 4 - Физико-механические свойства щебня из лома бетона [6].

Свойства	Ед. изм	Значение
Насыпная плотность	кг/м <sup>3</sup>	1340
Дробимость	%	28,87
Истираемость	%	29,24
Содержание глины в комках		нет
Водопоглощение	%	2,76

Исходя из проанализированных данных можно сделать вывод, что применение вторичного щебня возможно для получения подстилающего слоя на автомобильных дорогах с неинтенсивным движением транспорта. Но использование данного материала для конструкций дорожного полотна должно пройти дополнительную проверку так как существует вероятность усталостного растрескивания [7]. Также вторичный щебень подходит для конструкции оснований под пешеходные и велодорожки, применение данного материала добьется уменьшения материальных затрат на строительство. В целом, бетонный лом является полезным материалом для дорожного строительства и его применение обладает рядом преимуществ. Во-первых, это материал вторичное использование, которого положительно скажется на окружающей среде. Вторичное использование материалов имеет большое значение для сохранения природных ресурсов и охраны окружающей среды. При переработке отходов, которые могут быть использованы повторно, избегается утилизация неиспользованных ресурсов и сокращается количество токсичных веществ, выбрасываемых в окружающую среду, что может привести к загрязнению воды, воздуха и почвы. Вторичное использование также

помогает экономить энергию и снижать затраты на добычу новых материалов. В целом, вторичное использование материалов является ключевым элементом экологической ответственности и важным принципом устойчивого развития. Во-вторых, его можно производить на месте строительства, что существенно снижает расходы на транспортировку. В-третьих, использование бетонного лома позволяет сократить объемы отходов на свалке. Таким образом, использование бетонного лома в дорожном строительстве является эффективным способом снижения затрат и уменьшения негативного воздействия на окружающую среду. Переработанный бетонный лом может быть использован для создания различных элементов дорожной инфраструктуры, улучшающих безопасность и комфорт на дорогах.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кальгин А.А., Фахратов М.А. Эффективность использования дробленого бетона в производстве бетонных и железобетонных изделий // СРІ Международное бетонное производство. 2007. № 5. С. 162-163.

2. Лесовик Р. В. и др. Переработанный строительный отход как бетонный заполнитель для устойчивых строительных материалов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. ВГ Шухова. – 2020. – №. 11. – С. 32-40.

3. Florea M.V.A., Brouwers H.J.H. Properties of various size fractions of crushed concrete related to process conditions and re-use // Cement and Concrete Research. 2013. Vol. 52. pp. 11-21.

4. Фахратов М. А., Кужин М. Ф. Организация переработки отходов бетона и вторичное использование бетонов в строительстве // Системные технологии. – 2018. – №. 1 (26). – С. 100-103.

5. Романенко И. И. и др. Вторичное использование в дорожном строительстве щебня полученного из дробленого бетона // Вестник евразийской науки. – 2015. – Т. 7. – №. 1 (26). – С. 86.

6. Surya M., Kanta Rao V.V.L., Lakshmy P. Recycled Aggregate Concrete for Transportation Infrastructure // Procedia - Social and Behavioral Sciences. 2013. Vol. 104. pp. 1158-1167.

7. Коровкин М. О., Шестернин А. И., Ерошкина Н. А. Использование дробленого бетонного лома в качестве заполнителя для самоуплотняющегося бетона // Инженерный вестник Дона. – 2015. – Т. 37. – №. 3. – С. 85.

*Цаль-Цалко А.С., Яремчук М.В., Скрыпченко В.А.  
Научный руководитель: Воронцов В.М., канд. техн. наук, доц.  
Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## **МОДИФИЦИРУЮЩИЕ ДОБАВКИ К СТЕКЛОЩЕЛОЧНОМУ ВЯЖУЩЕМУ**

Изучение отечественных и зарубежных литературных источников показывает, что отходы стекольного производства широко применяются в промышленности строительных материалов. Их использование позволяет решать не только практические, но и экологические задачи. Так, утилизация 60 % отходов стекла обеспечивает сокращение загрязнения воздуха на 6–22 %, объем образования твердых отходов – на 79% и позволяет сэкономить 6 % энергии, 50 % чистой воды и 54 % природных ресурсов [1-4].

В современном строительном материаловедении применение техногенных отходов, в частности стеклобоя, при изготовлении вяжущих материалов и бетонов на их основе – одно из перспективных направлений, которое становится наиболее актуальным в последнее время. О возможности утилизации боя стекла в индустрии строительных материалов ученые вели разговоры еще с 70-х годов прошлого века, однако практические исследования в этой области в то время делали свои первые шаги. Однако уже тогда, в 1974 г., были получены бетоны марок 400 и 500 на основе вяжущего, состоящего из стеклобоя и жидкого стекла [5]. Недостатком такого материала была его низкая водостойкость ( $K_p=0,43$ ). Позднее, в МГСУ получена вяжущая композиция на основе стеклобоя и жидкого стекла, способная отверждаться в воздушно-сухих условиях в температурном интервале 40–50°C. На основе данной композиции разработаны составы тяжелых бетонов с прочностью до 75 МПа, а также растворов и пенобетонов различного назначения, обладающих высокими прочностными и теплофизическими свойствами [6].

Основной задачей отечественных исследований являлась разработка эффективных технологий, позволяющих использовать бой стекла не только как заполнитель, но и в качестве основного компонента связующего. Подобные работы проводились А.П. Меркиным, Ю.П. Горловым, В.И. Соломатовым, В.Т. Ерофеевым, А.Д. Богатовым и др. Ими были разработаны составы бесцементных связующих на основе природных и искусственных стекол, способные отверждаться в

условиях гидротермальной обработки. Учитывая высокую энергоемкость, а соответственно и стоимость подобных технологических операций, наиболее перспективным способом утилизации боя стекла за счет индустрии строительных материалов представляется получение связующего и бетонов на его основе, твердеющих при температуре изотермического цикла, не превышающей 90°C.

Ранее группой исследователей БГТУ им. В.Г. Шухова был запатентован состав стеклощелочного вяжущего и способ его получения [7, 8]. Способ основан на помоле дробленого боя стекла в растворе едкой щелочи в присутствии пластификатора. В итоге было получено бесцементное и безобжиговое вяжущее контактно-конденсационного твердения, отверждаемое в воздушно-сухих условиях в температурных интервалах 85–90°C. Общее время твердения вяжущего (в том числе набор распалубочной прочности в естественных условиях) составляет 21–23 ч. (менее суток), при этом материал достигает предела прочности при сжатии порядка 25 МПа, с коэффициентом водостойкости 0,85–0,89. Высокие значения прочности и водостойкости авторы объясняют образованием геля поликремниевых кислот в процессе химического взаимодействия аморфного кремнезема стекла с концентрированным раствором щелочи и последующего его отверждения при тепловой обработке.

При проведении дальнейших исследований, направленных на повышение полученных показателей, было решено использовать модифицирующие добавки, усиливающие эффект образования кремнегеля. Среди таких добавок особое внимание заслуживают жидкое стекло (силикат натрия) и поливинилацетатная эмульсия (ПВА), имеющие следующие характеристики:

1. Жидкое стекло натриевое, ГОСТ 13078-81, модуль 2,75, плотность 1,42 г/см<sup>3</sup>.

2. ПВА-клей, ТУ 2242-010-10834752-97.

Вначале добавки в стеклощелочную массу вводились раздельно в целях изучения их индивидуальных особенностей, при получения вяжущего. Так, в первом эксперименте в совместном помолу компонентов участвовало жидкое стекло, во втором – клей ПВА. После помола в заданном режиме (установлен в предыдущих опытах) полученная масса загружалась в предварительно подготовленные металлические формы-кубы с размером ребра 3 см. После 15–16 ч. естественного твердения (набора распалубочной прочности) образцы извлекались из форм и помещались в сушильную камеру, где при температуре 85°C подвергались тепловой обработке в течение 6 ч.

Полученные образцы испытывались на определение плотности, механической прочности и коэффициента водостойкости. Результаты испытаний приведены в табл. 1 и 2. При этом введены обозначения: СБ – стеклбой, Щ – едкая щелочь гранулированная, ЖС – жидкое стекло, В/Т – водотвердое отношение, Rс – прочность в сухом состоянии, Rвн – в водонасыщенном, Kр – коэффициент размягчения. Соотношения компонентов взяты в массовых частях.

Таблица 1 – Результаты испытаний образцов с использованием жидкого стекла

№ п/п	СБ	Щ	ЖС	В/Т	Rс	Rвн	Kр
1	96	3	1	0,19	17,04	14,31	0,84
2	95	3	2	0,18	19,48	17,73	0,91
3	94	3	3	0,17	13,34	10,27	0,77

Таблица 2 – Результаты испытаний образцов с использованием клея ПВА

№ п/п	СБ	Щ	ПВА	В/Т	Rс	Rвн	Kр
1	96	3	1	0,19	28,68	20,34	0,71
2	95	3	2	0,18	27,47	16,02	0,58

Результаты проведенных испытаний показали, что обе модифицирующие добавки оказывают разжижающий эффект на стеклщелочную массу, снижая ее В/Т и позволяют отказаться от применения пластификатора. Добавка жидкого стекла в количестве 1–2 масс. % обеспечивает высокую водостойкость, но не повышает механическую прочность – она оказалась ниже 25 МПа, взятой за эталон, согласно упомянутому патенту на изобретение.

Добавка же клея ПВА, наоборот, повышает прочность в сухом состоянии, но снижает водостойкость. Оба результата установили, что ту и другую добавки следует использовать в малых количествах: жидкого стекла – не более 2 %, а ПВА – не более 1 % по массе.

Задачей следующего эксперимента было проверить совместное действие бинарной добавки – жидкого стекла и ПВА-клея. При этом были взяты их оптимальные концентрации по результатам предыдущих экспериментов. Все компоненты измельчались совместно. Состав исходной смеси был постоянен, переменным параметром явилось водотвердое отношение, так как обе модифицирующие добавки, как замечено по предыдущим опытам, оказывают на систему разжижающий эффект.

Таблица 3 – Результаты испытаний образцов с применением бинарной добавки

№ п/п	СБ	Щ	ЖС	ПВА	В/Т	Rc	R <sub>вн</sub>	Kp
1	94	3	2	1	0,17	18,30	17,48	0,96
2					0,16	26,94	22,30	0,83
3					0,15	19,61	15,30	0,78
4					0,14	12,41	8,94	0,72

Как показали результаты, представленные в табл. 3, использование совместной добавки «жидкое стекло-клей ПВА» в стеклощелочном вяжущем возможно, при этом оба модификатора как бы друг друга компенсируют (один – повышает прочность, другой – водостойкость). Оптимальным является состав № 2, соответствующий В/Т = 0,16.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Банин, А.П. «Клондайк» неоприходованный / А.П. Банин // РИСК. – 1995. – № 5-6. – С. 18-21.
2. Дворкин, Л.И. Строительные материалы из отходов промышленности / Л.И. Дворкин, И.А. Пашков. – Киев: Вища школа. Головное изд-во, 1989. – 208 с.
3. Glass – Recycling in USA. – Rense / Recycle. – 1983. – Vol. 3. № 6. – P.6.
4. Child P. Glass – recycling can good business // Amer. Glass. Rev – 1987. – Vol. 98. № 3. – P. 6-9.
5. А.с. № 501988 СССР, кл.С04В 19/04, Вяжущее / Г.Т. Пужанов. – БИ № 5, 1974.
6. Зайцева, Е.И. Конструкционные и изоляционные материалы на основе стеклобоя / Е.И. Зайцева // 4-я научно-практ. конф. «строительство: формирование среды жизнедеятельности». – М., МГСУ, 2001. – С. 159-160.
7. Патент РФ № 2778880 Стеклощелочное вяжущее / В.М. Воронцов, В.С. Бессмертный, А.С. Баранова и др. Дата гос. регистр. 30.08.2022.
8. Патент РФ № 2786468 Способ получения стеклощелочного вяжущего / / В.М. Воронцов, В.С. Бессмертный, А.С. Баранова и др. Дата гос. регистр. 21.12.2022.



*Чащин Д.Ю., Данилов Д.Ю.*

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

*Белгородский государственный технологический университет*

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

## **ТЕРМИЧЕСКАЯ ДЕСТРУКЦИЯ БЕТОНА ПРИ ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ**

Железобетонные конструкции используются повсеместно в различных отраслях промышленности. В процессе эксплуатации этих конструкций могут возникать различные условия эксплуатации, включая нагрев железобетона до повышенных температур 50-200°С. Такие температуры могут нанести серьезный вред, поэтому проблема воздействия повышенных температур на железобетонные конструкции является актуальной и требует постоянного изучения и совершенствования методов защиты и повышения устойчивости конструкций к термическому воздействию. В этой связи одной из самых активно изучаемых областей в мире является поведение бетона при высоких температурах. Множество известных ученых посвятили свои труды изучению данной проблемы, такие как Lie, Bazant, Khan, Houry, а также Abrams, Maier-Ottens, U. Schneider, U. Diederichs, P. Pimienta, R. Felicetti и другие [1, 2]. Среди отечественных специалистов выделяются В.В. Жуков, Н.А. Ильин, А.Ф. Милованов, К.Д. Некрасов и др. [3-6]. Для защиты железобетонных конструкций от повреждения при высоких температурах необходимо учитывать механизмы процессов при нагреве бетона в конкретных условиях, чтобы выбрать оптимальный метод защиты [7-9]. Исследования механизмов процессов при нагреве бетона в разных условиях являются актуальной темой для научных исследований. Они могут способствовать разработке новых методов защиты железобетонных конструкций от повреждения при высоких температурах и улучшению их долговечности и надежности в эксплуатации.

Нагрев железобетонных конструкций под воздействием высоких технологических температур может возникать на различных производственных предприятиях: например, в металлургической промышленности нагрев может происходить в результате сварочных работ и других технологических процессов. Кроме того, нагрев железобетонных конструкций и интенсивное термическое воздействие может наблюдаться на объектах по производству энергоресурсов,

например, в градирнях, котельных и теплотрассах, что также может привести к изменению механических свойств материала.

Нагрев железобетонных конструкций может происходить как в сухих, так и во влажных условиях. В сухих условиях вода в бетоне отсутствует или находится в незначительном количестве, поэтому процессы при нагреве бетона происходят преимущественно за счет термического расширения материала. Во влажных условиях вода находится в порах бетона, в результате чего могут происходить процессы дегидратации, гидратации и другие, которые могут повлиять на структурообразование и другие параметры бетона. В конечном итоге это может привести к образованию трещин и разрушению конструкций.

В исследованиях А.А. Строгицкого и Е.К. Мачинского было впервые обращено внимание на возможные отрицательные последствия термической деструкции, которые могут происходить при гидротермальном твердении портландцементного камня [10-11]. Они выявили, что при температурах выше 100°C прочность камня существенно снижается. Позднее Е.Л. Ланцевичка и А.И. Булатов, изучая поведение тампонажного цемента при высоких температурах, обнаружили, что ухудшение физико-механических свойств камня может происходить уже при более низких температурах, порядка 70°C [12].

Большой комплекс исследований проведен В.С. Данюшевским. Изучив работу цементного камня из портландцемента в диапазоне температур от 30°C до 300°C он показал, что снижение прочности образцов отмечено у всех образцов, твердевших при температурах выше 60°C, и что повышение температуры ускоряет сроки начала снижения прочности. Например, при температуре 60°C снижение прочности началось через 6 месяцев, а при температуре 75°C - через 3 месяца. При температурах 90°C, 120°C, 160°C, 210°C и 300°C снижение прочности наступило через 1 месяц, 24 часа, 12 часов и 6 часов соответственно [13]. Кроме того, с уменьшением температуры твердения максимальная прочность сдвигается в сторону увеличения температуры твердения, а абсолютная величина максимума прочности уменьшается с ростом температуры (рис.1, табл.1) [13].

В сухих условиях при нагреве бетона происходит термическое расширение материала, что может вызывать различные повреждения в конструкции, такие как трещины и разрушения. Как показали исследования, прочность цементного камня зависит от множества факторов, таких как температура, структурная пористость, влажность и характер воздействия. Разрушение структуры бетона может происходить не только в цементном камне, но и в контактной зоне.

Изменение прочности контактной зоны происходит в основном за счет разницы температурных деформаций заполнителя и раствора, образования микротрещин и снижения микротвердости.

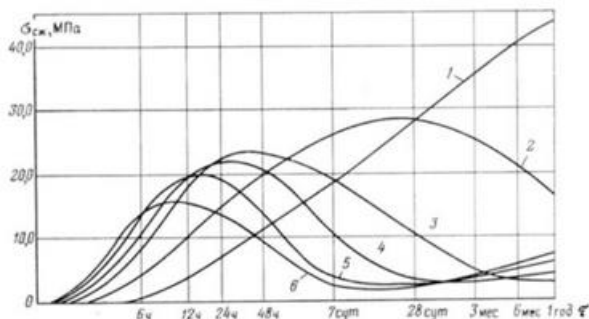


Рис. 1 Кривые изменения прочности цементного камня из портландцемента во времени при различной температуре (В/Ц = 0,5). Заимствовано из [13].

Таблица 1 - Давление и температура кривых изменения прочности цементного камня из портландцемента во времени при различной температуре (В/Ц = 0,5) [13].

№ кривой на рис. 1	1	2	3	4	5	6
Давление, МПа	0,1	0,1	20	60	80	120
Температура, °С	22	75	120	160	200	300

Кроме того, снижение прочности может происходить в результате потери химически связанной воды минералами. Известно, что при нагреве цементного камня до температуры 60°C его прочность повышается в 1,5-2 раза, при 100°C она снижается на 25-30%, затем при дальнейшем нагреве до 150°C она резко возрастает в 2-3 раза и при дальнейшем нагреве плавно уменьшается [14].

Некоторые исследователи пришли к выводу, что прочность цементного камня повышается в результате дополнительной гидратации клинкерных минералов, которая происходит во влажной сформированной структуре нагретого цементного камня. С другой стороны, ряд авторов указывает на то, что к повышению прочности цементного камня приводит удаление адсорбционной влаги, высыхание и уплотнение его структуры, компенсирующее появление и развитие трещин в цементном камне [15, 16].

Таким образом, нагрев железобетонных конструкций до температур 50-200°C может вызвать различные деструктивные процессы в бетоне, которые зависят от влажности материала.

Понимание механизмов процессов в бетоне при воздействии повышенных температур является важным аспектом для проектирования и эксплуатации железобетонных конструкций в условиях повышенных температур. При этом необходимо учитывать влияние влажности на процессы в бетоне, чтобы выбрать правильную стратегию для предотвращения повреждения конструкций. Понимание механизма процессов в бетоне при нагреве является важным аспектом для проектирования и эксплуатации железобетонных конструкций в условиях повышенных температур. В дальнейшем необходимо проводить более глубокие исследования, чтобы разработать эффективные методы защиты железобетонных конструкций от повреждения при высоких температурах.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Anderberg Y, Thelandersson S. Stress and Deformation Characteristics of Concrete, 2-experimental Investigation and Material Behavior Model, Bulletin 54, University of Lund, Sweden, 1976.
2. U. Concrete at high temperature – A general review, Fire Safety Journal, The Netherlands, 1988, p. 55-68.
3. Жуков В.В. Основы стойкости бетона при действии повышенных и высоких температур. Дисс. д-ра техн. наук. М., 1981. 437 с.
4. Славчева Г.С., Ким Л.В. Механизмы и закономерности изменения прочностных характеристик бетонов в связи с их температурно-влажностным состоянием // Вестник Инженерной школы ДВФУ. 2015. №1 (22). С.63-68.
5. Милованов, А.Ф. Железобетонные температуростойкие конструкции. М.: Изд-во НИИЖБ, 2005. 234 с.
6. Некрасов К.Д., Жуков В.В., Гуляева В.Ф. Тяжелый бетон в условиях повышенных температур. М.: Стройиздат, 1972. 128 с.
7. Чашин Д.Ю., Толыпин Д.А. Проблемы деструкции бетона в условиях повышенных технологических температур и влажности // Материалы VII Всероссийской научно-практической конференции "Инженерное дело на Дальнем Востоке России". Владивосток: ВУЦ ДВФУ, 2023. - С. 94-98.
8. Рахимбаев Ш.М., Толыпина Н.М. Повышение коррозионной стойкости бетонов путем рационального выбора вяжущего и заполнителей: монография. - Белгород: Изд-во БГТУ, 2015. - 321 с.

9. Агзамов, Ф.А., У Ди, Ли Юйфэй, Хабилов, М.Н. (2014) Анализ влияния температуры на прочность цементного камня // Нефтегазовое дело. - Уфа, Т. 12, № 2. - С. 41-53.

10. Строгицкий А.А., Кулешова Е.А. Физические свойства цемента и бетона в процессе твердения и при высоких температурах // Материалы научно-технической конференции «Бетоны и растворы». М.: Цемент, 1968. С. 38-42.

11. Мачинский Е.К., Булатов А.И. Цементно- и шлако-песчаные растворы для тампонажа скважин.- Грозный. 1960. - 50 с.

12. Ланцевичская, С.А. Тампонажные цементы для крепления глубоких скважин [Текст] / С.А. Ланцевичская. - Баку: Азернешр, 1963. - 103 с.

13. Данюшевский В.С. Проектирование оптимальных составов тампонажных цементов. - М.: Недра, 1978. - 293 с.

14. Леонович С.Н., Лихачевский А.Я. Прочность и трещиностойкость легкого бетона с позиций механики разрушения // Известия ВУЗов. Строительство. 1997. №5. С.31-36.

15. Лукша, Л.К. Прочность трубобетона. - Минск: Высшая школа, 1977. - 96 с.

16. Рахимбаев Ш.М., Тольпина Н.М., Хахалева Е.Н. Оптимизация процесса выбора типа цемента для изделий, эксплуатирующихся в агрессивных средах // Вестник БГТУ им. В.Г.Шухова. 2018. №3. С.18-23.

**УДК 699.86**

**Шумаков А.А.**

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

## **СОВРЕМЕННЫЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

Тепловые процессы как частная разновидность тепловых явлений имеет широкое распространение на Земле, примером может послужить: нагревание земли солнечными лучами, таяние ледников, растворение сахара в чае, образование снега, выпадение осадков, испарение воды и многое другое. В технологии тепловые процессы также довольно распространены, например, процессы в тепловых двигателях, холодильных установках, металлургии, химической промышленности, а также электроэнергетики.

Тепловые процессы принято делить на несколько видов: теплообмен, теплопередача, теплопроводность, тепловое излучение и конвекция.

Явление теплопроводности представляет собой перенос тепла вследствие беспорядочного движения микрочастиц, непосредственно соприкасающихся друг с другом. Это движение может быть либо движение самих молекул, ибо колебанием атомов в кристаллической решётке твёрдых тел, или диффузией свободных электронов (например, в металлах).

При выборе материалов для строительства необходимо обращать внимание на характеристики материалов. Одна из ключевых позиций — теплопроводность. Она отображается коэффициентом теплопроводности. Это количество тепла, которое может провести тот или иной материал за единицу времени. То есть, чем меньше этот коэффициент, тем хуже материал проводит тепло. И наоборот, чем выше цифра, тем тепло отводится лучше. Теплопроводность подчиняется уравнению Фурье (1), а также очень зависит от коэффициента теплопроводности (2).

$$dQ = -\lambda \frac{dt}{dn} dS * dt \quad (1)$$

где,

$Q$  – количество теплоты, Дж;

$\lambda$  – коэффициент теплопроводности, Вт/м\*К;

$t$  – температура, °С;

$S$  – площадь соприкосновения, м<sup>2</sup>;

$\tau$  – время, с.

$$\lambda = \vartheta LC_v \frac{\rho}{3} \quad (2)$$

где,

$\lambda$  – коэффициент теплопроводности, Вт/м\*К;

$\vartheta$  – скорость потока, м/с;

$L$  – средняя длина свободного пробега молекул газа между соударением, нм;

$C_v$  – изохорная теплоемкость газа, Дж/(моль\*К);

$\rho$  – плотность газа, кг/м<sup>3</sup>. [1]

Коэффициент теплопроводности равен количеству теплоты, которое проходит в единицу времени через единицу изотермической поверхности при температурном градиенте равному единице, а также он зависит от скорости движения молекул, как видно из формулы (2).

Важными направлениями развития исследований и разработки композитных функций теплоизоляционных материалов являются материалы с низкой теплопроводностью. Обычный теплоизоляционный

материал имеет отличные теплоизоляционные свойства, но не обладает высокой термостойкостью. Таким образом, огнеупорный и теплоизоляционный материал с превосходными теплоизоляционными свойствами и высокотемпературной прочностью композитной функции стал новой горячей точкой. [2]

Материалы с низкой теплопроводностью используются для утепления, с высокой — для переноса или отвода тепла. Например, радиаторы делают из алюминия, меди или стали, так как они хорошо передают тепло, то есть имеют высокий коэффициент теплопроводности. Для утепления используются материалы с низким коэффициентом теплопроводности — они лучше сохраняют тепло. В случае если объект состоит из нескольких слоев материала, его теплопроводность определяется как сумма коэффициентов всех материалов. При расчетах, теплопроводность каждой из составляющих «пирога» суммируется. [3]

Для наглядного представления теплопроводности различных строительных материалов, сформирован список из самых распространённых материалов (Таблица 1). [4]

Таблица 1

Наименование материала	Коэффициент теплопроводности $\lambda$ , Вт/м*К
Войлок	0,036
Каменная минеральная вата	0,211
Пенополистерол	0,028
Пенобетон	0,250
Пеноблок	0,297
Цементно-песчаный раствор	0,580
Бетон + щебень	0,629
Керамзитбетон	0,270
Керамический кирпич	0,350
Керамзит + гравий	0,318
Кирпич клинкерный	0,263
Асбестоцементный лист	0,176
Газобетон	0,232
Берёзовый сруб	0,400
Железобетон	0,816

Из данного списка (Таблица 1) можно выделить несколько позиций (топ 5 материалов) с лучшим показателем теплопроводности пригодных к строительству. Такие материалы как: асбестоцементные листы; каменная минеральная вата; газобетон; керамический блок/пенобетон;

глиняный кирпич. Стоит отметить важный факт, что лучший материал для строительства будет являться материал, имеющий большую пористость, поры задерживают передачу потоков воздуха в материале и тем самым осуществляют долгую передачу через стенку тепла/холода с течением времени.

В современном производстве применяется несколько технологий для получения пористости строительного материала:

- 1) пенообразование;
- 2) газообразование;
- 3) водозатворяемость;
- 4) вспучивания;
- 5) внедрение добавок;
- 6) создание волокнистых каркасов.

На теплопроводность влияют следующие свойства строительных материалов: общая пористость, размер и замкнутость пор, плотность, прочность при сжатии, сжимаемость, водопоглощение, сорбционная влажность, морозостойкость, паропроницаемость, воздухопроницаемость, огнестойкость.

Для пористых материалов теплопроводность находится в обратной зависимости от их общей пористости и в прямой от размеров пор. Это объясняется увеличением передачи теплоты конвекцией и излучением в общем процессе теплообмена пористого материала и свидетельствует о том, что теплоизоляционные материалы, используемые при высоких температурах, должны иметь мелкопористое строение.

Если приводить сравнение из (Таблицы 1) по показаниям теплопроводности, достаточно сложно сравнивать, например, минеральную вату и асбестоцементные листы или газобетон, пенобетон, глиняный кирпич и т.д. Минеральная вата не имеет существенных для строительства прочностных характеристик и не может быть носителем нагрузки по сравнению с современными теплоизоляционными материалами, которые обладают высокой коррозионной и влагостойкостью, а также некоторой прочностью.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии/ Учебник для вузов. А.Г. Касаткин, Москва: изд-во «Альянс», 2004 – 753с.

2. Марченко М.В., Борзилова Е.Н. // «Международная научно-техническая конференция молодых учёных БГТУ им. В.Г. Шухова».



Сборник докладов. Белгород, 2021, С. 4125 – 4129.

3. Разинов А.И. Процессы и аппараты химической технологии/ учебное пособие. А.И. Разинов, А.В. Клинов, Г.С. Дьяконов, Казань: изд-во КНИТУ, 2017 – 860с.

4. Коротких А.Г. Теплопроводность материалов/ учебное пособие. А.Г. Коротких, Томск: изд-во ТПУ, 2011 – 97с.

*УДК 796*

*Шумаков А.А.*

*Научный руководитель: Тулинова Н.А., ст. преп.  
Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## **ЗАНЯТИЕ СПОРТОМ КАК СПОСОБ УКРЕПЛЕНИЕ ЗДОРОВЬЯ**

Здоровье человека – это самое главное, что есть у человека в прямом и переносном смысле. Конечно если рассматривать определение здоровье, то это состояние полного физического, психологического, душевного и социального благополучия. Очень важен подход к своему здоровью, а именно понимание его необходимости. По статистике за 2017 год зарегистрировано 56 489 300 детей, которые перенесли заболевания, и более 38% детей имеют проблемы с опорно-двигательным аппаратом.

Есть фактор, когда дети рождаются с рожденными заболеваниями, но это следствие неправильного ведения здорового жизни их непосредственно родителей. Приобретённые болезни я тоже приравниваю к неправильному образу жизни, необходимо следить не только за собой, за своей речью, походкой, как это сейчас очень модно стремиться к высокой и яркой моде, НО и необходимо в первую очередь следить за свои состоянием, здоровья и стараться по мере необходимости лечить, укреплять, восстанавливать, а также заниматься спортом. Можно привести много примеров, что занятие спортом укрепляет и помогает человеку не только чувствовать себя хорошо, но и достаточно важным. Например, если бы это увлечение, даже форма жизни была бы не важна, то нигде не котирировалась, с ранних лет, а именно с первого класса каждый из нас проходит такой урок как физическая культура. Непосредственно про занятие спорта хорошо сказал Горация: «Если не бегаешь, пока здоров, придётся побегать, когда заболеешь». [1]

Наряду с этим предметом так долго изучается только математика

(не делая деления на алгебру и математику) и русский язык, а значит составители учебного плана – министерство просвещения, заботиться с первых шагов на территории образовательного учреждения. После школы, в колледжах, техникумах, университетах также не заканчивается это влечение, чтобы здоровье учащихся, а далее взрослых людей, которые будут воспитывать своих детей, предшественников, а возможно, что человек пойдет работать в среду с детьми, то есть непосредственное влияние на организм пока ещё не опытных человечков. А как можно показать лучший пример, только на себе, занимаясь и ведя правильный образ жизни. Как говорил Генрих Гейне: «Все здоровые люди любят жить».

В настоящее время занятие спортом имеет широкое понимание, существует большое количество секций, занятий, кружков и дополнительных учреждений, в которых можно заниматься – оздоравливаться. Сейчас при постройке новых домов, при облагораживании дворовых территорий выстраивают площадки с турниками, качелями, оборудованием для занятий кардио нагрузок.

Виды спорта имеют следующие разновидности, подходящие любому человеку по желанию, состоянию здоровья, необходимости в данном виде спорта (таблица 1):

Таблица 1

Айкидо	Армреслинг	Бадминтон	Биатлон
Боулинг	Бобслей	Баскетбол	Бейсбол
Бег	Вольная борьба	Водное поло	Волейбол
Велосипед	Гандбол	Гребля	Гольф
Дартс	Джиу-Джитсу	Дзюдо	Карате
Кёрлинг	Кикбоксинг	Конкур	Конный спорт
Лапта	Льжи	Легкая атлетика	Парусный спорт
Пауэрлифтинг	Футбол	Плавание	Прыжки в воду
Регби	Рукопашный бой	Самбо	Скалолазание
Скелетон	Сумо	Скандинавская ходьба	Сноубординг
Стрельба	Сквош	Теннис	Тяжелая атлетика
Триатлон	Тхэквондо	Ушу	Фехтование
Фристайл	Фигурное катание	Фитнес	Хоккей
Художественная гимнастика	Шахматы	Шашки	Шорт-трек

В настоящее время все специалисты сводятся во мнении, что бег – одна из самых и основных и менее затратных видов спорта, а пользы от него в десятки, а то и в сотни раз больше, чем в другом виде спорта.

Занятием бегом - одна из примечательных черт современного

времени. Что относительно прошлого времени является яркой чертой, ведь ни один гражданин прошлого не мог помыслить о том, чтобы выйти на улицу и просто бежать, так ещё недавно вид бегущих пожилых людей шокировал окружающих, теперь же на них даже не обращают внимания, т. к. бег стал нормой времени. [2]

Согласно данным исследования, проведенного в сентябре 2020 года компанией Online Market Intelligence и центром социального проектирования «Платформа», регулярно занимаются бегом (то есть выходят на пробежку не реже одного раза в неделю) больше трети россиян (38%). К занимающимся спортом аналитики отнесли тех, кто регулярно преодолевает большие дистанции, и разминается перед другими упражнениями. Как показало это исследование, чаще всего на пробежки выходят молодые люди 18-24 лет. Однако есть и значительное число более возрастных бегунов. [3]

Чтобы бег работал на укрепление здоровья, необходимо включать в занятия следующие упражнения:

- Начало – легкая пробежка для разогрева;
- Разминка – упражнения на гибкость и растяжку основных суставов;
- Несколько силовых упражнений на конечности;
- Растяжка всех мышечных групп;
- Непосредственно бег;
- Растяжка и расслабление всех задействованных мышц.

Заниматься бегом нужно с промежутками между приемом пищи не менее 30 минут до или после занятий. Для оздоровления бегать нужно в местах с минимальным загрязнением воздуха.

Наряду с бегом очень большое влияние имеет плавание, потому что именно в плавании работают все группы мышц, как ноги, так и руки, голова и движение туловища. А также нахождение в воде развивает не только опорно-мышечные части тела, но и дыхательную среду, что очень важно для любого человека, который ведёт правильный образ жизни. [4]

В спортивном плавании существуют 4 стиля:

Кроль – самый быстрый вид плавания, который характеризуется попеременными и симметричными движениями руками и ногами. Каждая рука совершает широкий гребок вдоль оси тела пловца, ноги при этом попеременно поднимаются и опускаются.

Кроль на спине – стиль плавания, который визуально очень похож на обычный кроль. Спортсмен также совершает попеременные гребки руками с попеременным поднятием и опусканием ног, но плывет на спине и совершает пронос прямой рукой над водой. Брасс – вид

плавания, в котором спортсмен лежит на груди, а руками и ногами выполняет симметричные движения в плоскости, которая параллельна водной поверхности.

Баттерфляй – один из наиболее технически сложных и утомительных видов плавания. При передвижении баттерфляем спортсмен совершает широкий и мощный гребок, приподнимающий тело пловца над водой, а ноги и таз совершают волнообразные движения. Считается вторым по скорости после кроля.

Важное упоминание, это после тренировок, после занятия спортом соблюдать ещё правильное питание, никто не говорит о вредных продуктах, даже они организму, и он в них нуждается. Речь идёт о количестве, необходимо соблюдать рацион, ограничения в сладких моментах. По мнению врачей, кто употребляет сладкое, часто болеют диабетом, а это неприятная процедура, с постоянным измерением сахара в крови, издержек и т.д. Как пишет Гиппократ: «Вся твоя еда должна быть твоим лекарством».

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Амельченко И.А. Особенности образовательного процесса по дисциплине «Физическая культура» в специальном учебном отделении // Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов: межвузовский сборник статей / БГТУ им. В.Г. Шухова. — Белгород, 2010. С. 453 – 457.

2. Физическая культура – ведущий фактор здоровья студента. RG.RU/ - URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/fizicheskaya-kultura-veduschiy-faktor-zdorovya-studenta-1> (дата обращения: 12.02.2023). – Режим доступа: свободный. – Текст электронный.

3. Головкин, Н.Г. Контроль за состоянием в тренировке атлета / Н.Г. Головкин, Е.М. Корниенко, Т.М. Божук // Физическое воспитание и спорт в высших учебных заведениях // Сборник статей X Междунар. науч. конф., посвященной 60-летию БГТУ им. В.Г. Шухова – Белгород: Изд-во БГТУ, 2014. С. 38 – 44.

4. Кабышева, М. И. Здоровый образ жизни студента: методические рекомендации / М. И. Кабышева. — Оренбург: Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2005.

## ПРИМЕНЕНИЯ МАГНЕТИТОВОГО КОНЦЕНТРАТА ПРИ СОЗДАНИИ КОМПОЗИТОВ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Улучшение среды обитания человека – главная задача специалистов всего мира; это трансдисциплинарная проблема, для решения которой необходимо объединение усилий ученых всех направлений [1-3].

Наряду с целым комплексом природных и техногенных процессов, негативно влияющих на здоровье человека, в последние десятилетия возник термин «электромагнитное загрязнение». Он объединяет целый комплекс природных и техногенных электромагнитных излучений, оказывающих негативное воздействие на все живые организмы. Защита человека от этого типа воздействия требуется постоянно, так как наше тело является прекрасным проводником [4]. Уже доказана опасность воздействия электромагнитного поля на иммунную и нервную систему человека, поэтому разработка электромагнитных и радиозащитных материалов для строительства и ремонта зданий и сооружений – важнейшая задача современности [5-6].

В данной работе предлагается разработка составов мелкозернистых бетонов с использованием композиционного вяжущего, полученного помолотом портландцемента и магнетитового концентрата Лебединского горно-обогатительного комбината в качестве мелкого заполнителя использован немолотый магнетитовый концентрат. Плотность железорудного концентрата 5590 кг/м<sup>3</sup>. Магнетит (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) находится в виде неправильных зерен, кристаллы октаэдрической формы, излом раковистый. Минеральный состав концентрата представлен в основном магнетитом, с незначительным содержанием карбонатных (кальцит) и кремнезёмистых (кварца) примесей (таблица 1).

Таблица 1 – Свойства вяжущих в зависимости от состава

№	Магнетитовый концентрат, %	ЦЕМ I, %	НГ, %	ρ, кг/м <sup>3</sup>	R <sub>сж</sub> , МПа
Магнетитовый концентрат в естественном виде (S <sub>уд</sub> =144 м <sup>2</sup> /кг)					

1	50	50	20,50	2440	68,87
Магнетитовый концентрат молотый ( $S_{уд}=544 \text{ м}^2/\text{кг}$ )					
2	50	50	20,75	2407	46,55
Молотый ПЦ ЦЕМ I ( $S_{уд}=500 \text{ м}^2/\text{кг}$ ) + магнетитовый концентрат					
3	50	50	20,5	2493	55,27
4	70	30	20,5	2546	29,05
ЦЕМ I+магнетитовый концентрат →совместный помол					
5	50	50	20,5	2400	73,34
Контрольный Ц:П=1:2,5					
6	П=1700	700	50	2144	35,08

Было получено 5 видов вяжущего. Магнетитовый концентрат вводили как в естественном виде  $S_{уд}=144 \text{ м}^2/\text{кг}$ , так и молотый  $S_{уд}=544 \text{ м}^2/\text{кг}$ . Также получали образцы с ведением в молотый цемент  $S_{уд}=500 \text{ м}^2/\text{кг}$  магнетитового концентрата и образцы, полученные совместным помолом цемента и магнетитового концентрата  $S_{уд}=540 \text{ м}^2/\text{кг}$ . В качестве контрольного образца использовались составы на основе цемента и песка.

Введение в состав бетона железорудного магнетитового сырья позволяет получать бетоны с повышенными защитными характеристиками как в низко, так и в высокочастотном диапазоне, а также высокой радиационной, термической стойкостью и способностью нести значительные конструкционные нагрузки.

Для определения ослабления радиоволн использовался метод замещения, суть которого состоит в следующем. Создается трасса распространения сигнала путем установки передатчика и приемника таким образом, что оси их встречно направленных антенн совмещены. Когда на трассе нет преград, производится калибровка с учетом уровня мощности сигнала на входе антенны передатчика и уровня сигнала на выходе регистрирующего устройства приемника. Затем между антеннами передатчика и приемника помещается исследуемый образец. Разность в уровнях сигнала на входе антенны передатчика в децибелах при одном и том же уровне сигнала на выходе приемника определяет потери энергии радиоволн на трассе за счет поглощения в преграде и отражений от ее структур. Калибровка проводилась на каждой рабочей частоте для исключения частотных зависимостей в трактах измерительной установки.

Влияние изменения мощности генератора и коэффициента усиления усилителя приемника. Для экспериментов использовался генератор СВЧ типа Г4-121 при постоянном уровне амплитудной модуляции его сигнала (50 %) синусоидальным сигналом с частотой 2 ГГц (таблица 2).

Таблица 2 – Влияние составов на интенсивность электромагнитных излучений

Частота, МГц	Ослабление, дБ					
	1	2	3	4	5	6
800	13-15	16-18	12-14	14-16	15-17	11-13
1000	11-13	14-16	10-12	12-14	13-15	9-11
1400	15-17	18-20	14-16	16-18	17-19	13-15
1800	5-9	8-12	4-8	6-10	7-11	3-7

Из полученных данных следует, что наилучшие защитные свойства у образцов порошкового бетона с измельченным магнетитом до  $S_{уд} = 544 \text{ м}^2/\text{кг}$  состава № 2, показатели которого почти в 2 раза выше, чем у образца из кварцевого песка:

ПЦ: магнетит ( $S_{уд} = 544 \text{ м}^2/\text{кг}$ ) = 50:50,  $R_{сж} = 46,55 \text{ МПа}$ .

Отсюда следует, что для повышения радиозащитных свойств магнетит следует измельчать более тонко. Чем выше удельная поверхность магнетита, активно взаимодействующего с радиомагнитными волнами, тем выше защитные свойства материала.

Таким образом разработаны составы композиционных вяжущих и мелкозернистых бетонов для защиты от электромагнитных излучений с использованием железорудного концентрата Лебединского ГОКа с пределом прочности при сжатии до 73 МПа, которые можно использовать для строительства зданий, сооружений и специальных объектов, в которых расположены источники электромагнитного излучения. Учитывая то, что человек постоянно находится в окружении строительных материалов, это существенно позволит увеличить продолжительность его жизни.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лесовик В.С. Геоника (геомиметика). Примеры реализации в строительном материаловедении, 2-е изд. // Белгород: Изд-во БГТУ. 2016. С. 287.
2. Лесовик В. С., Фомина Е. В. Новая парадигма проектирования строительных композитов для защиты окружающей среды обитания человека // Вестник МГСУ – 2019 - №14 (10) – С. 1241-1257.
3. Лесовик В.С., Гридчин А.М., Володченко А.А. К проблеме создания комфортной среды обитания человека // Университетская наука. 2018. № 2 (6). С. 40-45.
4. Н.П. Колбасин. Влияние электромагнитного излучения средств мобильной связи на морфологическую структуру эритроцитов человека

// Таврический медико-биологический вестник. - 2013. – Т.16 № 1, ч. 2 – С. 82-84.

5. Г.Г. Верещако. Влияние электромагнитного излучения мобильных телефонов на состояние мужской репродуктивной системы и потомство // Белорус. наука – 2015 – С. 190.

6. Т.З. Мамаев, Д.С. Москаленко, В.А. Вишняков. Вредное воздействие электромагнитного излучения компьютера и мобильного телефона на организм человека // БМИК. - 2015. - Т.5. №11. – С. 1355.

*УДК 691*

*Яцюк М.К., Братчиков В.В., Выходцев И.А.*

*Научный руководитель: Федюк Р.С., д-р техн. наук, доц.*

*Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток, Россия*

## **ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ В УСЛОВИЯХ АРКТИКИ**

В соответствии с классификацией гидротехнических сооружений (ГТС) [1] выделяются 4 класса по безопасности:

- I класс - чрезвычайно высокой опасности;
- II класс - высокой опасности;
- III класс - средней опасности;
- IV класс - низкой опасности.

Гидротехнические сооружения I класса приведены на Рис. 1.2.

Проектирование конструкций гидротехнических сооружений требует, как расчетов на особое сочетание нагрузок, так и применение специальных гидротехнических конструкционных материалов. В соответствии с классификацией гидротехнических сооружений (ГТС) [385] выделяются 4 класса по безопасности:

- I класс - чрезвычайно высокой опасности;
- II класс - высокой опасности;
- III класс - средней опасности;
- IV класс - низкой опасности.

Гидротехнические сооружения I класса приведены на рис. 1.2.

Проектирование конструкций гидротехнических сооружений требует, как расчетов на особое сочетание нагрузок, так и применение специальных гидротехнических конструкционных материалов [2-3].

24 августа 2017 года произошла авария на Нижне-Бурейской ГЭС. Причиной аварии стало разрушение фрагмента левобережной опоры („пальца“) сегмента затвора №1 с разрушением привода и обрушением



затвора в нижний бьеф (участок реки, примыкающий к плотине). В результате через поврежденный затвор начался неконтролируемый сброс воды в объеме 2,6 тысяч кубометров в секунду [4-5].

На IV Международном арктическом форуме «Арктика – территория диалога» (2017 г.) Президент РФ В.В. Путин подчеркнул приоритетное развитие Арктического региона для нашей страны. Значительная часть шельфа России располагается в холодных арктических и дальневосточных морях, которые характеризуются суровыми климатическими условиями и наличием дрейфующего ледяного покрова. В этих условиях основным фактором, влияющим на надежность морских ледостойких платформ (МЛП), является ледовый режим акватории в районе строительства и, как следствие, ледовые нагрузки и воздействия на сооружение. Одним из таких воздействий в акваториях с динамичным режимом дрейфа ледяного покрова является истирающее воздействие льда (абразия) [6-8].



Рис. 1 ГТС чрезвычайно высокой опасности (I класс)

При движении ледяных образований относительно сооружения происходит эрозия поверхности и абразивное разрушение материала корпуса. Причина разрушения поверхности железобетонных конструкций от абразивного воздействия ледяных образований связана

с возникновением значительных пульсирующих давлений в зоне контакта бетона с дрейфующим ледяным покровом.

В этом случае кристаллы льда являются хорошим абразивом, что способствует постепенному уменьшению сечения сооружения. Вследствие высоких контактных давлений происходит разрушение цементного камня, что приводит к увеличению пористости, потере заполнителя и уменьшению прочности бетона, а действие окружающей среды, обусловленное циклами замораживания-оттаивания, способствует постепенному ослаблению вяжущих и заполнителей поверхностного слоя и приводит к его разрушению [7].

Помимо ледовой абразии на железобетонные конструкции также действует морская вода, вызывая коррозию, как бетона, так и стальной арматуры.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шаповалов, Н.А. Тяжелые бетоны на карбонатном заполнителе улучшенного качества / Н.А. Шаповалов, М.М. Косухин, А.А. Слюсарь, О.В. Мухачев // Строительные материалы. - 2002. - №1. - С. 8-9.

2. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. – М., 2018. – 150 с.

3. Santos, R.F. Nanofibrillated cellulose and its applications in cement-based composites: A review / R.F. Santos, J.C. Lopes Ribeiro, J.M. Franco de Carvalho, W.L. Esteves Magalhães, L.G. Pedroti, G.H. Nalon, G.E. Soares de Lima // Construction and Building Materials. - 2021. – Vol. 288. – P. 123122.

4. Tafesse, M. Flowability and electrical properties of cement composites with mechanical dispersion of carbon nanotube / M. Tafesse, N.K. Lee, A.S. Alemu, H.K. Lee, S.W. Kim, H.-K. Kim // Construction and Building Materials. - 2021. – Vol. 293. - P. 123436.

5. Kumar, M. An overview of beneficiary aspects of zinc oxide nanoparticles on performance of cement composites / M. Kumar, M. Bansal, R. Garg // Materialstoday: Proceedings. - 2021. Vol. 43(2). - P. 892-898.

6. Akbar, A. Multicriteria performance evaluation of fiber-reinforced cement composites: An environmental perspective / A. Akbar, K.M. Liew // Composites Part B: Engineering. - 2021. – Vol. 218. – P. 108937.

7. Ling, Y. Graphene reinforced cement composites: A review / Y. Ling, H. Du // Construction and Building Materials. - 2020. – Vol. 265. – P. 120312.

8. Dinesh, A. Carbon nanofiber embedded cement composites: Properties and promises as sensor – A review / A. Dinesh, B. Abirami, G. Moulicha // Materialstoday: Proceedings. - 2021. – Vol. 44(6). - P. 4166-4172.