

**ПОЛИПЛАСТ**  
**25** ЛЕТ



# Технологии БЕТОНОВ

ISSN 1813-9787

Concrete technologies. №5, 2023

СУХИЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ СМЕСИ

# БЕТОН CONF 2023

[www.beton-conf.ru](http://www.beton-conf.ru)

6 октября 2023  
Цифровое Деловое Пространство  
Москва

 **ПОЛИПЛАСТ**  
[beton-conf@polyplast-nm.ru](mailto:beton-conf@polyplast-nm.ru)  
8-800-200-08-28

ООО «Горнозаводскцемент» производит высококачественный щебень для строительных работ из осадочных горных пород Ново-Пашийского месторождения (доломитизированный известняк). Выпускаются фракции по ГОСТ 8267-93 и песок из отсеивания дробления по ГОСТ 31424-2010, есть возможность выпуска фракций по ГОСТ 32703-2014.

#### Основные виды щебня:

- смесь фракций 5-20 мм

Данная фракция используется в производстве бетона, железобетона, асфальтобетона, строительных смесей и т.д.

Марка по дробимости	Морозостойкость	Лещадность
M1200	F400	1 группа

- фракция 20 – 40 мм

Материал используется для устройства отсыпок, оснований автомобильных дорог, устройства щебёночных подушек котлованов, в некоторых случаях для производства железобетона.

Марка по дробимости	Морозостойкость	Лещадность
M800	F200	1 группа

- фракция 40 – 70 мм

Материал используется для создания дорожных оснований и отсыпок в транспортном строительстве, для создания балластного слоя в железных дорогах, трамвайных путях.

Марка по дробимости	Морозостойкость	Лещадность
M800	F200	1 группа



#### Применение:

- производство товарного бетона и железобетона
- строительство автомобильных оснований
- устройство дорожных покрытий из асфальтобетона

#### Отсев применяется:

- производство асфальтобетонов
- в качестве минерального удобрения
- для производства комбикормов
- для десульфуризации газов
- как компонент при производстве кирпича и тротуарной плитки



#### Отдел продаж:

Олег Шеховцов

+7 (932) 848-1010

[o.shehovtsov@akkermann.ru](mailto:o.shehovtsov@akkermann.ru)

# AKKERMANN

Журналы включены в базу данных Российского индекса научного цитирования (РИНЦ)  
Информационные научно-технические журналы



## ТЕХНОЛОГИИ БЕТОНОВ

№5(190), 2023 г.

Издательство ООО «Композит XXI век»  
Гендиректор издательства Н.О. Попова

### РЕДАКЦИЯ

Главный редактор А.И. МОКРЕЦОВ  
Зам. главного редактора И.А. КОПЫЛОВ  
Дизайн и верстка Б.С. КУРТИШ

### РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Родионов Борис Николаевич – доктор техн. наук, проф.  
Копылов Игорь Анатольевич – канд. техн. наук  
Резаев Роман Олегович – канд. физ.-матем. наук  
Староверов Вадим Дмитриевич – канд. техн. наук

### РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Джозеф Ван Беек (Mr. Jozef Van BEECK) – директор по международным продажам Penetron International Ltd  
БОЛЬШАКОВ Эдуард Логинович – президент ГК «АЛИТ», председатель комитета Российского союза строителей по цементу, бетону и сухим смесям, канд. техн. наук  
БОРИСОВ Роман Николаевич – управляющий Ассоциацией «Союз производителей сухих строительных смесей»  
БУРЬЯНОВ Александр Фёдорович – исполнительный директор Российской гипсовой ассоциации, доктор техн. наук  
ВОЛКОВ Андрей Анатольевич – член-корр. РААСН, доктор техн. наук, проф.  
ГРИНФЕЛЬД Глеб Иосифович – исполнительный директор Национальной ассоциации производителей автоклавного газобетона  
ГУСЕВ Борис Владимирович – президент РИА, acad. РИА, МИА, чл.-корр. РАН, заслуж. деятель науки РФ, лауреат Гос. премии СССР, лауреат Гос. премии РФ, доктор техн. наук, проф.  
ЗВЕЗДОВ Андрей Иванович – доктор техн. наук, профессор, академик МИА, РИА, заслуженный строитель РФ, лауреат премий правительства РФ в области науки и техники, президент ассоциации «Железобетон»  
КУЗЕВАНОВ Дмитрий Владимирович, директор НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство» и Ассоциации «Железобетон», замруководителя национальной группы в международной федерации железобетона fib, канд. техн. наук.  
ПУСТОВГАР Андрей Петрович – канд. техн. наук, проф.  
СТЕПАНОВА Валентина Фёдоровна – доктор техн. наук, профессор, академик МИА, завлабораторией НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство»  
ТЕЛИЧЕНКО Валерий Иванович – президент МГСУ, acad. РААСН, заслуж. деятель науки РФ, доктор техн. наук, проф.

### ПОПЕЧИТЕЛЬСКИЙ СОВЕТ

- Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона (НИИЖБ) им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство»
- Московский государственный строительный университет
- Российская академия архитектуры и строительных наук
- Российская инженерная академия
- Российское общество инженеров строительства
- Департамент строительства города Москвы

### АДРЕС РЕДАКЦИИ

129343, Россия, Москва, пр-д Нансена, д. 1, оф. 34, «Композит XXI век»  
Т./ф.: (495) 231-44-55 (многокан.),  
Internet: www.kompozit21.ru, www.tehnobeton.ru, www.buildmix.ru  
E-mail: info@stroyamat21.ru; reklama@tehnobeton.ru; reklama@buildmix.ru

### УЧРЕДИТЕЛЬ И ИЗДАТЕЛЬ ЖУРНАЛА

© ООО «Композит XXI век» при поддержке УИСЦ «Композит».  
При научно-технической поддержке МГСУ  
Рег. номер ПИ № ФС 77-48434 от 31 января 2012 г.  
Набрано и сверстано в ООО «Композит XXI век».  
Подписано в печать 25.08.2023 г.  
Отпечатано в типографии ООО «МЕДИАКОЛОР»  
105187, г. Москва, ул. Вольная, д. 28  
Общий тираж 10 000 экз.

Редакция не несет ответственности за содержание рекламных материалов и достоверность опубликованных в авторских статьях сведений. Перепечатка материалов без разрешения редакции запрещена.



### Уважаемые коллеги!

Вызовы, с которыми Российская Федерация столкнулась в 2022 году, заставили переоценить экономические связи и производственные цепочки, задействованные в строительной индустрии. В результате поэтапного введения пакетов экономических санкций последовательно сокращалась номенклатура импорта основных групп продукции для произ-

водства бетона и ЖБИ из ЕС, США, Великобритании, Японии, Швейцарии.

В сложившихся условиях важно получать от индустрии бетона и железобетона информацию ситуационного характера о материальном и технологическом обеспечении производственной деятельности предприятий. Спектр проблем: комплектация зарубежными запасными частями и расходными материалами, сервисное обеспечение оборудования, техническая поддержка программных продуктов автоматизированных систем. Это позволит в короткие сроки решать вопросы обеспечения производства бетона и железобетона импортозамещающим оборудованием, запасными частями и программным обеспечением.

Ассоциация «Железобетон» уделяет большое внимание вопросам эффективности управления процессами импортозамещения и обоснованию важнейших направлений развития отечественной строительной индустрии, способных нивелировать действие западных санкций. Кроме того, аналитический центр Ассоциации продолжает мониторинг ситуации, связанной с санкционными ограничениями на импорт товаров для индустрии бетона и железобетона.

Стоит отметить, что санкции и контрсанкции, помимо стимулирующей функции для отечественного инновационного бизнеса, отрицательно сказались на интеграции в сфере научных исследований и технических разработок с ведущими европейскими и американскими компаниями. Это придает особое значение разработке и совершенствованию наукоемких технологий.

Ассоциация «Железобетон» и «НИЦ Строительство» обладают необходимыми научными, инженеринговыми и проектными компетенциями в рамках системного подхода. Создается Каталог импортозамещающего оборудования, оказывается всемерное содействие заказчику, заинтересованному в разработке современного и эффективного промышленного производства систем сборного железобетона с минимизацией экономических и технических рисков путем предоставления комплекса консультационных, научно-технических, технологических и проектных услуг.

**С.Н. ЛАПЫРЕВ, руководитель направления промышленных технологий НИЦ «Строительство», член консультационно-экспертного Совета Ассоциации «Железобетон»**



## ИНФОРМАЦИЯ

*Новости строительного комплекса*

6

## БЕТОН

### Теория

*Кафтаева М.В., Ренгач А.А. Анализ тепловыделения газобетонов, изготовленных с применением моно- и полиминеральных песков*  
*Kaftaeva M.V., Rengach A.A. Analysis of the heat release of aerated concrete made using mono- and polymineral sands*

11

*Дорф В.А. Влияние трещин и карбонизации на коррозию арматуры в бетоне*

*Dorf V.A. Cracks and carbonization influence on reinforcement corrosion in concrete*

16

*Ражабов Ё.С. Экспериментальные исследования свойств бетона и фибробетона при импульсном нагружении*

*Razhahov Y.S. Experimental studies of the properties of concrete and fiber-reinforced concrete under impulsive loading*

21

### Материалы

*Крутов П.Ю. Комплексные системы защиты железобетона*  
*Krutov P.Yu. Integrated protection systems for reinforced concrete*

25

6



11



16





*Измайлов В.Т. Применение отходов порошковой краски в качестве пластифицирующей добавки для бетонных смесей*  
*Izmaylov V.T. Application of powder coating waste as a plasticizing additive for concrete mixes*

30

*Вовк И.В. Воздухововлекающие добавки разных поколений*  
*Vovk I.V. Air-entraining additives of different generations*

32

*Пономарев В.М. Утепление сверхлегким пенобетоном малоэтажных энергоэффективных зданий монолитным способом. Часть 1.*  
*Ponomarev V.M. Insulation of low-rise energy-efficient buildings with ultralight foam concrete using a monolithic method. Part 1.*

35

*Хованский В.Е. Золь-модификация химических добавок коллоидными растворами – технология будущего*  
*Khovansky V.E. Sol-modification of chemical additives with colloidal solutions - the technology of the future*

39

## Технологии

*В России поняли, как быстро создавать сверхпрочный бетон*  
*In Russia, they figured out how to quickly create heavy-duty concrete*

44

*Коротков Л.И. Центрифугированный железобетон*  
*Korotkov L.I. Centrifuged reinforced concrete*

46

25



35



39





## ЦЕМЕНТ

### Теория

*Бикбау М.Я., Сафин Д.Н., Нефедов А.С. Совершенствование производства цемента и бетона снижает выбросы CO<sub>2</sub> Часть 1*  
*Bikbau M.Ya., Safin D.N., Nefedov A.S. Improving the production of cement and concrete reduces CO<sub>2</sub> emissions. Part 1*

53

*Резаев Р.О., Дмитриев А.А., Зайцев В.В. Использование переработанных шлаковых отходов в качестве активной минеральной добавки*  
*Rezaev R.O., Dmitriev A.A., Zaitsev V.V. Use of recycled slag waste as an active mineral additive*

59

## СУХИЕ СМЕСИ

### Теория

*Белоус Н.Х., Родцевич С.П., Шевчук В.В., Лукаш О.В., Крутько Н.П., Стромский А.С. Замедлители твердения в закладках на основе минерализованных портландцементных систем*  
*Belous N.Kh., Rodtsevich S.P., Shevchuk V.V., Luksha O.V., Krutko N.P., Stromsky A.S. Hardening retarders in backfills based on mineralized Portland cement systems*

67

*Кузьмина В.П. Степени сродства тонкодисперсных материалов для совместной механоактивации. Рабочие тезисы к вопросу о нанотехнологиях*  
*Kuzmina V.P. Degrees of finely dispersed materials affinity for joint mechanical activation. Working theses on the issue of nanotechnologies*

77



**25**  
ЮБИЛЕЙНЫЙ

XXV МЕЖДУНАРОДНЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ ФОРУМ

# ЦЕМЕНТ · БЕТОН СУХИЕ СМЕСИ

18 — 20 ОКТЯБРЯ, 2023. ЦВК ЭКСПОЦЕНТР, МОСКВА.



XXV-Международная специализированная выставка «**Цемент. Бетон. Сухие смеси**»

Более **4500**  
посетителей  
выставки

**ConTech**

Международная научно-техническая конференция  
«**Технологии бетона: химия, производство, конструкции**»

**450** участников  
деловой  
программы

**MixBuild**

Международная научно-техническая конференция «**Современные технологии сухих смесей в строительстве**»

**100** Экспонентов

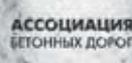
**70** докладчиков

**15** стран мира



organizers // организаторы

venue // место проведения



info@alitinform.ru // www.infocem.info // +7 812 335 09 92

# Новости стройкомплекса

News of Construction Industry

## В Кремле обсудили перспективы строительной отрасли

В ходе встречи строителей, прошедшей в Кремле, на замечание Владимира Путина о том, что нормативы по деревянному домостроению до сих пор не введены, глава Минстроя России Ирек Файзуллин пообещал в ближайшее время не только построить, но и сжечь экспериментальный деревянный дом, чтобы проверить все нормативы, которые должны обеспечить безопасность такого строительства.

Застройщики в очередной раз попросили привести в чувство естественных монополистов, которые за технологическое подключение объектов к сетям берут суммы из расчета потребления на 10 лет вперед. То есть, дома еще не построены, даже не проданы — а за «инженерку» — плати. Выход — инфраструктурные кредиты, в ближайшее время на них уйдет очередной транш из госбюджета в объеме 150 млрд рублей, но смогут ли войти в эту программу честные застройщики в регионах?



Посетовали застройщики и на низкую квалификацию строительных кадров, в основном из стран Содружества. Выход (по версии застройщиков): государству нужно напрячься и возродить систему ПТУ для подготовки рабочих кадров самого нижнего и самого востребованного звена. Производители CLT-технологий оптимистично готовы на все: и построить деревянные небоскребы до 85 м высотой, и наладить строительство современных деревянных домов круглогодично в Арктике и на Крайнем Севере, и обеспечить индивидуальное домостроение необходимым количеством домокомплектов.

Не менее смелые предложения выдвинул на совещании и президент НОСТРОЙ Антон Глушков: пожарные нормы пересмотреть в пользу сохранения жизни людей, а

не объекта недвижимости; часть средств компенсационных фондов СРО можно было бы направлять не только на кредитование компаний-членов СРО, но и на ликвидацию ветхого и аварийного жилья, ремонт инженерной инфраструктуры, ликвидацию кассовых разрывов у подрядчиков. В общем, 170 млрд рублей должны не просто лежать на счетах в банках, а активно работать на стройкомплекс и государство в целом.

Последняя идея президенту явно понравилась, и он поручил НОСТРОЮ совместно с Минстроем России поработать возможность расширения использования компенсационных фондов без ущерба для основной идеи КФ — обеспечение обязательств компаний-членов СРО.

## Итоги развития строительной индустрии за первую половину 2023 года

По данным агентства INFOLine, в январе-феврале на фоне активизации работ по государственным контрактам и федеральным инфраструктурным проектам объем строительства в сопоставимых ценах вырос на 8,8% до рекордных 2,26 трлн руб. И это, как отметили эксперты, произошло, несмотря на замедление вывода на рынок новых многоквартирных домов (МКД). С марта начинается постепенное ухудшение динамики: сначала до 6%, а в апреле — уже до 5,7%.



По комплексной госпрограмме «Строительство», сообщил INFOLine, реализуются 145 крупных проектов. Общий объем федерального финансирования на пять лет составит 4,7 трлн руб. Из них более 1,4 трлн руб. будет направлено в регионы (370 млрд руб. — в этом году). Ввод в эксплуатацию жилых и нежилых зданий и помещений в первые три месяца увеличился на 3,5% — до 42,4 млн кв. м. В сегменте нежилых зданий объем ввода вырос на 7% (до 6,4 млн кв. м), жилых — на 2,9% (до 35,9 млн кв. м.) Ввод жилья МКД прибавил

10% (до 12,1 млн кв. м), а в индивидуальных снизился на 8% (до 16,8 млн кв. м).

Анализируя ситуацию в промышленности стройматериалов, эксперты зафиксировали в I квартале снижение на 6,2% производства цемента — до 9,8 млн т и рост средних цен производителей (без НДС и доставки) на 17% —1 до 5 102 руб./т. При этом объем экспорта вырос на 6%. Поставки осуществлялись в девять стран мира, но основными рынками сбыта оставались Казахстан и Беларусь. Объем производства штучных стеновых материалов в начале года снизился на 15,4% до почти 2,9 млрд штук условных кирпичей. Производство ячеистых бетонов упало на 26,3%, бетонных блоков — на 10%, кирпича — на 8,4%.

### В России выросло потребление стали

Потребление стали в России по итогам первого полугодия 2023 года составило 23,19 миллиона тонн, что на 8% больше показателя аналогичного периода прошлого года, следует из сообщения компании «Северсталь».



«Емкость рынка металлопроката в РФ в I полугодии 2023 года увеличилась на 8% относительно I полугодия 2022 года. Строительный сегмент вырос на 11% к аналогичному периоду прошлого года. Основными драйверами металлопотребления остаются государственная поддержка строительства социального и коммерческого жилья, стабильный интерес к складской недвижимости, где сохраняются низкие показатели вакантности, и спрос на индивидуальное жилое строительство, в том числе при поддержке специальных ипотечных банковских программ», — говорится в сообщении.

### Возведение массивных конструкций и качество 3D-печати: как изменятся требования к несущим и ограждающим конструкциям

В Минстрое ведется разработка Изменения №6 к СП 70.13330.2012 «Несущие и ограждающие конструкции». Основные изменения норматива коснутся требований к массивным конструкциям и технологии 3D-печати.

Поверхности монолитных бетонных и железобетонных конструкций, формируемых методом аддитивного производства (3D-печати), имеют характерные для данной технологии неровности и другие несовершенства внешнего вида, которые связаны с особенностями формования — безопалубочностью и послойностью. Мировой опыт аддитивного

строительного производства свидетельствует о невозможности полного исключения данных несовершенств. Требования к качеству поверхности и внешнему виду монолитных бетонных и железобетонных конструкций, изложенные в актуальной редакции СП 70.13330.2012, не учитывают особенности метода аддитивного производства строительных изделий и конструкций и фактически делают невозможным выполнять оценку качества и приемку готовых изделий и конструкций.

Кроме того, при твердении массивных бетонных конструкций возникают неравномерные температурные поля, которые создают температурную нагрузку на кристаллический скелет набирающего прочность бетона, порождая растягивающие температурные напряжения, способные вызвать образование технологических трещин в теле бетона в его раннем возрасте.

Для предотвращения их образования или ограничения прогнозной ширины их раскрытия следует предусматривать комплекс конструктивных технологических мероприятий, целью которых является снижение внутренних температурных напряжений бетону на стадии его твердения. Для количественной оценки влияния назначенных мероприятий предназначены расчеты термонапряженного состояния конструкции. Особенно актуальны такие расчеты для массивных бетонных и железобетонных конструкций, обладающих интенсивным тепловыделением и ограниченной площадью поверхностей для теплоотдачи.

В действующих нормативно-технических документах РФ методы и требования к порядку расчета термонапряженного состояния железобетонных конструкций отсутствуют.

Свод правил дополняется новым подразделом 5.19 «Требования к возведению массивных конструкций», устанавливающего требования к расчету термонапряженного состояния бетона массивных конструкций, требования к конструктивным решениям и технологическим мероприятиям.

Кроме этого, в проект норматива включены следующие требования:

- к качеству поверхности и внешнему виду монолитных бетонных и железобетонных конструкций, формируемых методом аддитивного производства (3D-печать);
- к допускам прямолинейности для различных классов бетонных поверхностей, формируемых методом аддитивного производства (3D-печать);
- к допускаемым (недопускаемым) дефектам поверхности и внешнего вида монолитных бетонных и железобетонных конструкций, формируемых методом аддитивного производства (3D-печать).

### «Красносельскстройматериалы» начнут продавать российским партнерам цемент через биржу

В условиях повышенного спроса на цемент в РФ холдинг «Белорусская цементная компания» предлагает новый формат сотрудничества своим российским партнерам. ОАО «Красносельскстройматериалы», входящее в структуру

холдинга, и чей цементный завод расположен на самом западе Беларуси, будет продавать свою продукцию для россиян на площадке Белорусской универсальной товарной биржи.

В последние годы холдинг «БЦК» успешно сотрудничает с Белорусской универсальной товарной биржей. Речь идет в том числе о продажах цемента и стеновых блоков из ячеистых бетонов для внутреннего рынка. Новый подход с акцентом на запрос клиентов из России, где наблюдается определенный дефицит, — часть внешнеэкономической стратегии компании, которая активизирует работу, гарантируя высокое заводское качество своей продукции и бесперебойность ее поставок.

### «Кантский цементный завод» начал выпуск высоких марок цемента

ОАО «Кантский цементный завод» — крупнейший производитель цементной продукции и флагман строительной индустрии Киргизии завершил перевод цементной мельницы № 8 в замкнутый цикл помола цемента, чтобы добиться более высоких качественных показателей производимой продукции.



«Переход на замкнутый цикл помола цемента позволил увеличить производительность мельницы на 30-40% и сократить себестоимость за счет экономии электроэнергии и использования высокохромистых мелющих тел и внутренней оснастки, — объясняет Павел Дехтярев, генеральный директор ОАО «Кантский цементный завод». — Например, до реализации проекта производительность мельницы составляла 40 тонн цемента марки ЦЕМ II/A-И 32,5Н и 30 тонн цемента марки ЦЕМ I 42,5Н в час. Сейчас это 58 и 50 тонн в час соответственно. При данной производительности удалось снизить удельный расход энергии на 30% и сократить выбросы цементной пыли в атмосферу. Кроме того, замкнутый цикл помола позволяет нам производить высокие марки цемента, которые невозможно было получить системами помола открытого цикла».

### «Петербургцемент» запустил линию по тарированию цемента в мягкие контейнеры весом 1 тонна

«Петербургцемент» (входит ЦЕМРОС) запустил новую технологическую линию по упаковке цемента в мешки весом 1000 кг. Теперь у клиентов есть широкий выбор та-

рированного цемента для реализации любых строительных проектов.

Мешки МКР — это современный и универсальный упаковочный материал, который обладает высокой степенью влагозащиты, стойкостью к изменению температур и повышенной прочностью. Кроме того, полипропилен, из которого изготовлены мешки, можно перерабатывать и использовать повторно. А большой объем упаковки — 1000 кг — позволяет сократить количество тары, что в свою очередь снижает расходы на транспортировку и хранение.



Автоматическая подача цемента, современная система аспирации, точная система взвешивания нового поколения — это далеко не полный перечень преимуществ новой линии упаковки цемента. Благодаря новому упаковочному производству завод увеличил мощности по отгрузке и расширил ассортимент готовой продукции.

В настоящий момент предприятие производит высокомарочный цемент

ЦЕМ I 42,5Н и ЦЕМ II/A-Ш 32,5Н по ГОСТ 31108-2020. Эти цементы используются для жилищного, инфраструктурного и промышленного строительства и представляют собой высококачественный и экологически безопасный продукт.

### Эксперты оценили долю фальсифицированного цемента на рынке в 21,3%

По данным Союзцемента, в 2022 году объем незаконного оборота цемента составил 13,14 млн тонн. Доля незаконного оборота цемента на российском рынке увеличилась более чем в три раза и превысила 21% от общего объема его потребления, сообщила исполнительный директор Союза производителей цемента («Союзцемент») Дарья Мартынкина в ходе пресс-конференции, посвященной результатам оценки эффективности обязательного подтверждения соответствия цемента и бетонных смесей.

Как сообщает Союзцемент, объем не соответствующего установленным требованиям цемента вырос с 3,16 млн тонн в 2020 году до 12,9 млн тонн в 2021 году, в 2022 году объем незаконного оборота цемента составил 13,14 млн тонн. Незаконный оборот цемента наносит ущерб государственному бюджету (за счет неуплаченных налогов) и добросовестным производителям (ущерб отрасли в 2022 году оценивается в 83,8 млрд рублей), оценивают эксперты. Сегодня российские предприятия по производству цемента загружены на 61%.

Председатель комитета по техническому регулированию, стандартизации и качеству продукции ТПП РФ Константин Леонидов заявил о том, что пора восстановить государственный контроль над оборотом цемента.

Полномочия Росстандарта по контролю за оборотом отдельных видов стройматериалов (в том числе цемента) прекращены в связи с вступлением в силу Федерального закона от 11 июня 2021 года N170-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты РФ в связи с принятием закона «О государственном контроле (надзоре) и муниципальном контроле в РФ».

### «БЕЛАЦИ» запустил производство фиброчерепицы

Новый строительный материал компании «БЕЛАЦИ» входит в среднеценовой сегмент и призван стать доступной альтернативой другим видам черепицы.

Фиброчерепица, получившая бренд ТИСМА, будет представлена в 4-х тональных цветах: железно-серый, зеленый, красный и коричневый и будет использоваться в качестве кровельного настила для скатных крыш зданий. Фиброчерепица ТИСМА – это доступная альтернатива импортным аналогам, так как производится из натуральных компонентов локального происхождения. В составе фиброчерепицы – фиброволокно, оно не проводит электрический ток и повышает уровень шумоизоляции. При соблюдении условий хранения и эксплуатации, крыша из



фиброчерепицы может прослужить минимум 35 лет, что значительно дольше, чем аналогичные материалы. Такая крыша не подвержена гниению и коррозии.

Фиброчерепица ТИСМА проста в монтаже и подготовлена к укладке: у каждого листа подрезаны углы и высверлены по 2 отверстия под крепежные элементы.

Строительные материалы, которые производят на заводе «БЕЛАЦИ» доступны как для жителей Белгорода и Белгородской области, так и для 72 регионов России.

*Подборка новостей подготовлена на основе сообщений информационных порталов [anrb.ru](http://anrb.ru), [buildingskin.info](http://buildingskin.info), РИА Недвижимость, [dwgformat.ru](http://dwgformat.ru), [sb.by](http://sb.by), [tass.ru](http://tass.ru), а также пресслужбы Кантского цементного завода*

8 800 500 83 35  
conference@metallplace.ru

18-20 октября 2023 г. Сочи, Radisson Rosa Khutor

# METALLCONF-2023

«Российская металлургия 2030: стратегия, место на мировом рынке, прогнозы роста внутреннего потребления»

3 дня конференции 35+ спикеров 250+ участников

metallconf.com

При поддержке

МИНПРОМТОР РОССИИ

Министерство промышленности и торговли Российской Федерации

РУССКАЯ СТАЛЬ

МЕЖДУНАРОДНЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ ФОРУМ

# «АРКТИКА»

14–16  
НОЯБРЯ 2023



ТЮМЕНЬ

Организатор форума



INTERNATIONAL  
ASSOCIATION OF  
FOUNDATION  
CONTRACTORS

МЕЖДУНАРОДНАЯ АССОЦИАЦИЯ  
ФУНДАМЕНТОСТРОИТЕЛЕЙ

Официальная поддержка



НИЦ строительство  
научно-исследовательский центр



АО ЦНИИТС



ЦНИИПСК | stako  
им. Мельникова  
с 1950 года

Генеральный  
спонсор форума



ZINKER

Генеральные информационные партнеры



Геоинфо



[www.fc-union.com](http://www.fc-union.com), [info@fc-union.com](mailto:info@fc-union.com), +7 (495) 66-55-014, +7 925 57-57-810

12+

# АНАЛИЗ ТЕПЛОВЫДЕЛЕНИЯ ГАЗОБЕТОНОВ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ МОНО- И ПОЛИМИНЕРАЛЬНЫХ ПЕСКОВ

**М.В. КАФТАЕВА**, доктор техн. наук, зам. генерального директора по производству, ООО «Сибирский элемент – Рента-К», Калужская обл., Россия,

**А.А. РЕНГАЧ**, генеральный директор ООО «Сибирский элемент – Рента-К», Калужская обл., Россия



В статье приведены результаты исследований тепловыделения при автоклавной обработке газобетонных изделий в процессе их производства. Подтверждено, что при формировании гидросиликатной связки в автоклаве наблюдаются экзотермические эффекты. Установлено, что процесс выделения тепла при автоклавной обработке, зависит от вида применяемого песка. Кварцевые пески активируют процесс в начале изотермической выдержки, а кварц-полевошпатовые пески дают максимальное значение тепловыделения к четвертому – пятому часу изотермической выдержки газобетонов в автоклаве. На основании исследований даны рекомендации по корректировке графиков автоклавной обработки газобетонных изделий, изготавливаемых на различных по минералогическому составу песках.

The article presents the results of studies of heat release during autoclave processing of aerated concrete products in the process of their production. It has been confirmed that exothermic effects are observed during the formation of a hydrosilicate binder in an autoclave. It has been established that the process of heat release during autoclaving depends on the type of sand used. Quartz sands activate the process at the beginning of isothermal exposure, and quartz-feldspar sands give the maximum heat release by the fourth – fifth hour of isothermal exposure of aerated concrete in an autoclave. Based on the research, recommendations are given for adjusting the schedules for autoclave processing of aerated concrete products manufactured on sands of different mineralogical composition.

Несмотря на кажущуюся простоту подбора кремнеземистого компонента (песка) для изготовления автоклавных газобетонов, практически во всех регионах Российской Федерации он оказывается достаточно сложным. Песок является самым дешевым материалом, но его расход в смеси всегда наибольший, а, следовательно, он вносит значительный вклад в себестоимость продукции. При выборе песка необходимо учитывать состав и свойства новообразований, получающихся в процессе автоклавной обработки.

Из всех существующих разновидностей песков по минералогическому составу для автоклавного производства предпочтительнее кварцевые. Они обладают высокой химической активностью взаимодействия с известью [1-5].

Существует ряд нормативных документов, регламентирующих требования к характеристикам песков, пригодных для производства изделий из ячеистого автоклавного бетона. Так, согласно СН 277, при производстве ячеистобетонных изделий следует применять кварцевый песок, удовлетворяющий требованиям ГОСТ 8736, с содержанием кварца не менее 85%, слюды не более 0,5%, илистых и глинистых примесей (ИГП) не более 3% и не более 1% глинистых примесей типа монтмориллонита. Допускается также применение полевошпатового песка с содержанием кварца не менее 60%.

Европейские стандарты предъявляют несколько иные требования к сырьевым

материалам, по которым в качестве кремнеземистого компонента должен применяться кварцевый песок: без гравия, глины в комках, солей и органических составляющих. Частиц с размером фракции менее 1,5 мм в нем должно быть не менее 80%, максимальной фракции – 2,0 мм не должно быть более 20%. ИГП в песке допускается не более 3%, органических примесей не должно быть более 0,3%.

Известно, что процессы взаимодействия гидроксида кальция с тонкодисперсным кремнеземистым компонентом при автоклавной обработке с образованием гидросиликатов кальция сопровождаются тепловыделением. Численное значение тепловыделения этого процесса очень сложно определяется экспериментальными методами, поэтому авторы в своих исследованиях ранее, применяли теоретический подход с использованием термодинамических расчетов [6-8].

В настоящей публикации приводятся результаты исследований, проведенных в процессе производства изделий из газобетонов автоклавного твердения на двух предприятиях: в г. Егорьевск (Московская обл.) и в г. Уфа.

Для определения тепловыделения в процессе автоклавной обработки изделий из газобетонных смесей различных марок по средней плотности был проведен анализ графиков автоклавирования газобетонов, изготовленных с применением кварцевых и кварц-полевошпатовых песков.

**ТАБЛИЦА 1. ДАННЫЕ ДОКУМЕНТА О КАЧЕСТВЕ НА КВАРЦЕВЫЙ ПЕСОК, ПРИМЕНЯЕМЫЙ В НАСТОЯЩЕМ ИССЛЕДОВАНИИ**

№ п/п	Показатель	Нормативное значение	Фактическое значение
1	Модуль крупности	Св. 2,0 до 2,5	2,06
2	Полный остаток на сите № 063, в % по массе	Св. 30 до 45	31,98
3	Содержание зерен крупностью		
	Свыше 10 мм	Не более 0,5	0
	Свыше 5 мм	Не более 5	0
	Менее 0,16 мм, в % по массе	Не более 5	4,98
4	Содержание пылевидных и глинистых частиц, в % по массе	Не более 2	0,7
5	Содержание глины в комках, в % по массе	Не более 0,25	0
	Средний I кл.		

*Песок относится к группе – средний I кл.*

**ТАБЛИЦА 2. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ КВАРЦЕВОГО ПЕСКА**

№ п/п	№ пробы	SiO <sub>2</sub> %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	CaO %	MgO %	ппп %	Na <sub>2</sub> O %	K <sub>2</sub> O %	SO <sub>4</sub> %	Cl <sup>-</sup> %
1	Белый	98,1	0,27	0,54	0,31	0,05	<0,1	0,015	0,03	0,0049	0,0046
2	Желтый	97,79	0,15	0,55	<0,1	0,05	<0,1	0,01	0,03	0,0049	0,0042

Для производства газобетонных смесей на заводе в г. Егорьевск, во время проведения исследований использовались кварцевые пески карьера месторождения «Октябрьское», г. Коломна Московской области.

Характеристики песка, по испытаниям в соответствии с требованиями ГОСТ 8736 – 2014, а также результаты химического анализа приведены в табл. 1, 2.

На рис. 1-3 показаны графики изменения температуры и давления пара в автоклаве, установленные на Егорьевском заводе строительных материалов при производстве газобетонных изделий на линии Masa-Henke по ударной технологии.

Анализ графиков, характеризующих работу автоклавов, показал следующее:

- при запарке изделий с маркой по плотности D 600 давление пара после выхода на рабочий режим стабильно держится на отметке 11,0 атм (1,1 МПа);

- при автоклавировании газобетонных изделий с маркой по плотности D 400 и 500 после выхода на режим давление в автоклаве повышается на 0,25-0,3 кгс/см<sup>2</sup> (0,025-0,03 МПа), что вызывает срабатывание автоматического регулирования давления пара в автоклаве. При этом отключается подача пара в автоклав и через несколько минут, это давление снижается до заданного значения 1,1 МПа. Затем давление вновь повышается до очередного срабатывания системы автоматического регулирования;

- количество циклов отключения-включения системы автоматического регулирования находится в пределах 2-7, а интервале между ними от 15-20 до 150 минут. Общая их продолжительность колеблется в пределах 2-3,5 часов.

С течением времени частота циклов переключений снижается. Так, если первые

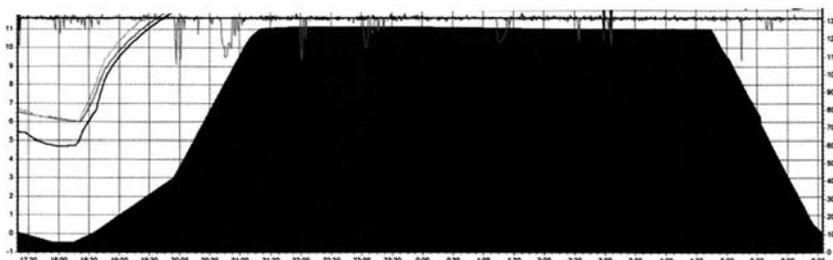


Рис. 1. График автоклавирования газобетона марки D 600



Рис. 2. График автоклавирования газобетона марки D 500

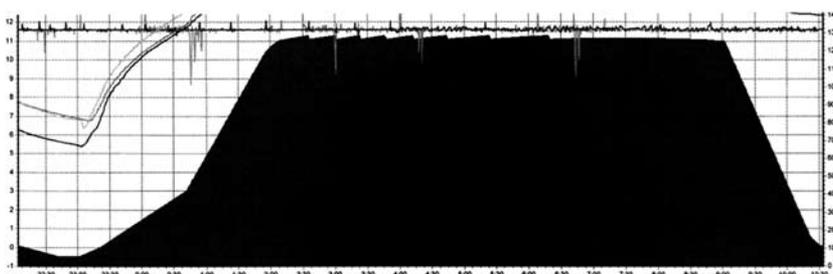


Рис. 3. График автоклавирования газобетона марки D 400

два переключения происходят через 15-20 минут, то два последних – через 40-50 минут после предыдущего;

- частота и количество пиков включения-отключений подачи пара, а также их острота возрастают по мере увеличения содержания в газобетоне извести и алюминиевой пасты или пудры. Это косвенно свидетельствует о том, что повышение давления пара в автоклаве обусловлено не только синтезом гидросиликатной связки изделий, но и гидроалюминатных фаз. Однако вклад последних в общее тепловыделение, очевидно, относительно мал.

ТАБЛИЦА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ СИТОВОГО АНАЛИЗА ПЕСКОВ

Наименование проб песка	Наименование остатков	Содержание остатков на сите при просеивании на сите (% по массе) с размером отверстий, мм						Прошло сквозь сито 0,16мм, % по массе	Модуль крупности	Содержание илистых, глинистых и пылевидных примесей, % по массе
		5,0	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16			
проба №1	частные	0,0	0,0	0,5	1,0	52,0	46,0	0,5	1,55	0,5
	полные	0,0	0,00	0,0	1,5	53,5	99,5			
проба №2	частые	0,2	1,5	1,0	0,5	22,5	73,0	0,5	1,37	3,0
	полные	0,2	1,5	2,5	3,0	25,5	98,5			
проба №3	частые	0,0	2,0	1,0	3,0	25,0	68,5	0,5	1,42	0,5
	полные	0,0	2,0	3,0	6,0	31,0	99,5			

ТАБЛИЦА 4. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПРОБ ПЕСКА

Наименование показателя	Содержание, % по массе				
	значения показателя (фактическое)			нормы	
	проба 1	проба 2	проба 3	ГОСТ 8736	СН 277
1. Общее содержание оксида кремния $\text{SiO}_2$ , % (по ГОСТ 8269.1) Содержание кварца (несвязанный $\text{SiO}_2$ ), % (по СН 529)	83,95 82,04	82,97	83,35	не нормируется	не менее, - 85% – кварцевые пески; - 60% – полево-шпатовые пески.
2. Содержание растворимого кремнезема $\text{SiO}_2$ , ммоль/л (по ГОСТ 8269.0)	95			не нормируется	не нормируется
3. Содержание оксидов $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ , %	8,72	8,4	8,36	не нормируется	не нормируется
4. Содержание оксида кальция $\text{CaO}$ , %	2,18	2,14	2,17	не нормируется	не нормируется
5. Содержание оксида магния $\text{MgO}$ , %	1,04	1,03	1,01	не нормируется	не нормируется
6. Содержание серосодержащих соединений (сера, сульфиды, кроме пирита) и сульфаты в пересчете на $\text{SO}_3$ , %	0,22	0,32	0,24	не более 1,0% в пересчете на $\text{SO}_3$	в соответствии с требованиями ГОСТ 8736
7. Потери при прокаливании	0,89	2,06	1,45	не регламентируются	не нормируется
8. Органические примеси, по окраске раствора гидроксида натрия	светлее цвета эталона	светлее цвета эталона	светлее цвета эталона	светлее цвета эталона	не нормируется

На заводе, работающем по литейной технологии, проведены исследования тепловыделения бетонов, изготовленных на песках Архимандритского месторождения (г. Уфа). Характеристики песков приведены в табл. 3 и 4.

Результаты ситового анализа песков и испытания на присутствие в них вредных глинистых, илистых и пылевидных примесей, приведенные в табл. 3, свидетельствуют, что все пробы песка относятся к группе мелких песков (модуль крупности их соответствуют 1,37; 1,42 и 1,55), по содержанию полных остатков на сите № 0,63 пески относятся к группе очень мелких.

Песок Архимандритского месторождения содержит значительное количество  $\text{SiO}_2$  (общее), но содержание в нем кварца (несвязанного  $\text{SiO}_2$ ) невысоко, поэтому он не является мономинеральным – кварцевым. Его, с полной уверенностью, можно

отнести к разновидности кварц-полевошпатовых песков.

На рис. 4 представлен график автоклавирования газобетонов на Архимандритском песке.

Из данного графика автоклавной обработки газобетонов с применением кварц-полевошпатовых песков видно, что интенсивность тепловыделения бетонов увеличивается к концу изотермической выдержки.

При автоклавной обработке бетонов, в составе которых используется кварц-полевошпатовый песок, тепловыделение начинается только через час – полтора после начала изотермии. Нарастание выделения тепла происходит вначале медленно, затем достаточно быстро. Максимальное значение тепловыделения наблюдается к четвертому – пятому часу изотермической выдержки газобетонов в автоклаве, давление при этом повышается на 1,5 МПа. По-видимому, данная экзотермическая реакция связана с образованием гидроалюминатов кальция. Наблюдаемое при использовании полиминеральных песков снижение прочности газобетонов, очевидно, связано с тем, что реакция образования гидросиликатов и гидроалюминатов не закончена. Для этих песков необходима более длительная тепловая обработка, что



Рис. 4. График автоклавирования газобетонов, изготовленных на кварц-полевошпатовом песке

можно определить по графику автоклавирувания, длительность которого определяется моментом нормализации давления в автоклаве.

В результате исследований авторов установлено, что применение кварцевых и кварц-полевошпатовых песков в составе газобетонной смеси, практически во всех случаях, дает экзотермический эффект, при этом наблюдается повышение прочности бетонов. В случае отсутствия такого эффекта, как правило, бетоны не могут достигнуть значений прочностей при сжатии, установленных для данного класса газобетона, что ведет к перерасходу вяжущих веществ в составах газобетонных смесей.

Поиск качественного кремнеземистого компонента для производства автоклавного газобетона, применение которого было бы экономически и технологически приемлемым, во многих регионах Российской Федерации остается актуальной проблемой.

#### Библиографический список

1. Виноградов, Б.Н. Сырье для производства автоклавных силикатных бетонов // М.: Стройиздат, 1966, – 278 с.

2. Маракушев Л.А. Термодинамика метаморфической гидратации / Л.А. Маракушев // М.: Наука, 1968, – 200 с.
3. Наумов Г.В. Справочник термодинамических величин / Г.В. Наумов, В.Н. Рыженко, И.Л. Ходковский // М.: Атомиздат, 1971, – 238 с.
4. Аваков В.А. Сравнительная растворимость некоторых модификаций кремнезема // Строительные материалы, № 11, 1972, с. 35-36.
5. Булах А.Г. Физико-химические свойства минералов и компонентов гидротермальных растворов / А.Г. Булах, К.Г. Булах. – Л.: Недра, 1978, – 166 с.
6. Кафтаева М.В. Тепловыделение при синтезе гидросиликатной связки автоклавного газобетона / Кафтаева М.В., Рахимбаев Ш.М. // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований, №10-3, 2012, с. 373-376.
7. Кафтаева М.В. Обоснование технологии производства энергоэффективных автоклавных силикатных газобетонов: монография / М.В. Кафтаева, Ш.М. Рахимбаев // Белгород, Изд-во БГТУ, 2015, – 222 с.
8. Кафтаева М.В. Ранжирование песков для автоклавных газобетонов с помощью термодинамического расчета / М.В. Кафтаева, Ш.М. Рахимбаев // Технологии бетонов, №4 (189), 2023, с. 33-36.

**2023**  
**БИОТ**

**27-я**  
Международная  
выставка и форум

**БЕЗОПАСНОСТЬ  
И ОХРАНА ТРУДА**

**5-8**  
декабря

Минтруд России  
АССОЦИАЦИЯ СИЗ  
ЭКСПОЦЕНТР  
МОСКВА

# ВЛИЯНИЕ ТРЕЩИН И КАРБОНИЗАЦИИ НА КОРРОЗИЮ АРМАТУРЫ В БЕТОНЕ

**В.А. ДОРФ**, канд. техн. наук, руководитель научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ Центра финансовой ответственности «Наука и технологии», АО «Институт «Оргэнергстрой»

*Ключевые слова: бетон, защитный слой, карбонизация, ширина трещин, арматура, коррозия, долговечность, фильтрация, климат*

*Keywords: concrete, protective layer, carbonization, crack width, reinforcement, corrosion, durability, filtration, climate*



В статье проанализированы отечественные и международные публикации и нормативные документы по глубине карбонизации в бетоне защитного слоя железобетонных конструкций. Оценено влияние раскрытия и глубины трещин на скорость карбонизации. Дана рекомендация по использованию аналитических зависимостей при оценке процесса карбонизации в бетонах без трещин и с трещинами.

Domestic and international publications and regulatory documents on the depth of carbonization in the concrete of the protective layer of reinforced concrete structures are analyzed. The effect of crack opening and depth on the rate of carbonization is estimated. A recommendation is given on the use of analytical dependencies in assessing the process of carbonization in concrete without cracks and with cracks.

Одной из основных причин снижения долговечности железобетонных конструкций является коррозия арматуры, приводящая, с одной стороны, к уменьшению сечения арматурных стержней. С другой стороны, к разрушению бетона конструкции на стадии развившейся коррозии.

Вопрос о долговечности железобетонных конструкций остро стоит при обследовании зданий и сооружений, подвергавшихся сейсмическим, ударным и взрывным воздействиям, а также при оценке остаточного ресурса конструкций, в особенности при решении вопроса о продлении срока их эксплуатации.

Поэтому при проектировании желательно использовать зависимости, позволяющие спрогнозировать процессы, приводящие к коррозии арматуры.

Одним из таких факторов принято считать карбонизацию бетона. Внимание к влиянию карбонизации бетона на коррозию арматуры можно проиллюстрировать данными RILEM TC 281-ССС [4], показанными на рис. 1. Обработка этих данных свидетельствует о строго экспоненциальном росте интереса к карбонизации.



Рис. 1. Количество публикаций по карбонизации бетона по годам

Карбонизация бетона происходит под действием содержащегося в атмосфере углекислого газа. По нормам FIB Model Code [1] концентрация углекислого газа в настоящее время принимают порядка 500%, и она увеличивается сейчас на 1,5%/год.

Если железобетонная конструкция имеет толщину защитного слоя бетона, назначенную по национальным нормам в зависимости от условий эксплуатации и ответственности сооружения, то в течение проектного срока эксплуатации карбонизация бетона не должна дойти до арматуры.

Если все же карбонизация произошла на всю толщину защитного слоя, то это не означает возникновения аварийной

ситуации. В бездефектном карбонизированном бетоне скорость коррозии арматуры не очень высока и составляет, порядка, 1...5 мкм/год. Она меняется в зависимости от пористости бетона, положения конструкции, наличия осадков и скорости ветра, а также от наличия на бетоне покраски и защитных покрытий, снижающих скорость коррозии арматуры еще в несколько раз.

Известно, что для коррозии стальной арматуры необходимо наличие на ее поверхности влаги и кислорода. Именно эти факторы и определяют, коррозию стальной арматуры.

Бездефектный бетон имеет низкие значения коэффициента фильтрации воды и газа. В особенности это проявляется для высокопрочных бетонов с низким водовязущим отношением. Такие бетоны имеют марку по водонепроницаемости W14 – W20 и выше.

По данным Л.И. Дворкина [3] при уменьшении В/Ц с 0,5 до 0,3 коэффициент фильтрации воды падает на порядок с  $10 \times 10^{-12}$  до  $1 \times 10^{-12}$  см/с. Коэффициент фильтрации газа, в том числе кислорода и углекислого газа, по данным RILEM [3] при этом будет примерно в 100 раз выше, но объем газов, фильтрующийся через защитный слой бетона из атмосферы к поверхности арматуры, недостаточен для развития интенсивной коррозии металла.

Основной причиной интенсивной коррозии арматуры является фильтрация воды и кислорода через трещины в защитном слое бетона, в особенности, трещины, доходящие до арматуры.

В широко применяемых международных нормах FIB Model Code [3] глубина карбонизации бетона без трещин  $x_c(t)$ , мм за время  $t$  лет рассчитывается по формуле:

$$x_c(t) = \sqrt{2k_e \cdot k_c \cdot (k_t \cdot R_{ACC,O}^{-1} + \varepsilon_i \cdot C_s \cdot \sqrt{t} \cdot W)}, \quad (1)$$

где:  $k_e$  – функция влияния окружающей среды;

$k_c$  – параметр влияния условий твердения;

$k_t$  – параметр регрессии;

$R_{ACC,O}^{-1}$  – обратный показатель эффективности карбонизации бетона, ( $\text{мм}^2/\text{год}$ )/( $\text{кг}/\text{м}^3$ );

$C_s$  – концентрация углекислого газа,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$W$  – функция климата.

ТАБЛИЦА 1. ЗНАЧЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЯ  $R_{ACC,O}^{-1}$ 

Тип цемента	Водоцементное отношение					
	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60
СЕМ I 42/5 R	Нет данных	3,1	5,2	6,8	9,8	13,4
СЕМ I 42/5 R	Нет данных	0,3	1,9	2,5	6,5	8,3
СЕМ I 42/5 R+ Зола-унос	3,5	5,5	Нет данных	Нет данных	16,5	Нет данных
СЕМ I 42/5 R+ Микрокремнезем	Нет данных	8,3	16,9	26,6	44,3	80,0

Функция  $k_e$  рассчитывается по формуле:

$$k_e = \left( \frac{\left( \frac{RH_{real}}{100} \right)^{f_e}}{\left( \frac{RH_{ref}}{100} \right)^{f_0}} \right)^{g_0}, \quad (2)$$

где:  $RH_{real}$  – фактическая относительная влажность карбонизированного слоя, %;

$RH_{ref}$  – эталонная относительная влажность, принимаемая 65% при температуре 20°C;

$f_e = 2,5$  и  $f_0 = 5,0$  – показатели экспоненты.

$$K_c = \left( \frac{t_c}{7} \right)^{b_c} \quad (3)$$

где:  $t_c$  – время твердения бетона, сутки;

$b_c = -0,567$

Показатель  $R_{ACC,O}^{-1}$  определяют экспериментально по ускоренным испытаниям бетона на карбонизацию в эталонном возрасте  $t_0$  при температуре 20°C и относительной влажности 65%. Для очень сухих условий этот показатель равен нулю.

При отсутствии экспериментальных данных показатель  $R_{ACC,O}^{-1}$  может быть принят по табл. 1.

Значение концентрации углекислого газа  $C_S$  в атмосфере в настоящее время можно принять равным в среднем 0,00082 кг/м<sup>3</sup>. Однако на улицах больших городов с интенсивным автомобильным движением концентрация углекислого газа резко возрастает. Например, в центре Москвы она может быть почти в 3 раза выше.

Функция климата  $W$  рассчитывается по формуле:

$$W = \left( \frac{0,0767}{t} \right)^{\left( \frac{p_{SR} \times T_0 W}{2} \right)^{0,446}}, \quad (4)$$

где:  $p_{SR}$  – вероятность увлажнения дождем, равная 1 для горизонтальных поверхностей, и принимаемая по данным местной метеостанции для вертикальных поверхностей;

$T_0 W$  – доля дней в году с осадками свыше 2,5 мм в сутки.

В работе [11] на основе регрессионной обработки рекомендаций Евронорм prEN 1992-1-1 [12] и практически совпадающими с ними норм Испании и Португалии была получена зависимость:

$$x(t) = c_{env} \times c_{air} \times a \times (f_{ck} + 1,8)^b \times \sqrt{t}, \quad (5)$$

где:  $x(t)$  – глубина карбонизации, мм за время  $t$ ;

$c_{env}$  – коэффициент внешних условий, принимаемый по таблице 2;

$c_{air}$  – коэффициент, принимаемый равным 1,0 при объеме воздухоовлечения в бетоне менее 4,5% и 0,7 при большем воздухоовлечении;

$f_{ck}$  – вероятная минимальная прочности с обеспеченностью 95% класс бетона по прочности;

$a$  и  $b$  – коэффициенты, зависящие от вида вяжущего и принимаемые по табл. 3.

ТАБЛИЦА 2. ТИП ВНЕШНИХ УСЛОВИЙ

Тип внешних условий	$c_{env}$
Защищенные от дождя	1,0
Открытые для дождя	0,5
В грунте выше уровня грунтовых вод	0,3
В грунте ниже уровня грунтовых вод	0,2

ТАБЛИЦА 3. ВИД ВЯЖУЩЕГО

Вид вяжущего	$a$	$b$
Портландцемент	1800	-1,7
Портландцемент + 28 % золы уноса	360	-1,2
Портландцемент + 9 % микрокремнезема	400	-1,2

В развитие методики FIB был предложен еще целый ряд методик оценки глубины карбонизации бетона. Наиболее рациональной, на наш взгляд, является методика, изложенная в работе чешских исследователей [5], где подробно даны зависимости для расчета глубины карбонизации бетона не только без трещин, но и при наличии трещин.

Для бетона без трещин глубина карбонизации  $x_c$  за время  $t$  лет определяется выражением:

$$x_c = \sqrt{\frac{2D_{e,CO_2}CO_2}{0,218(C+kP)}}\sqrt{t} = A_1\sqrt{t}, \quad (6)$$

где:  $x_c$  – глубина карбонизации, мм;

$D_{e,CO_2}$  – эффективный коэффициент диффузии углекислого газа,

$C$  – содержание портландцемента в бетоне, кг/м<sup>3</sup>,

$k = 0,3-1,0$  – коэффициент активности минеральной добавки (молотого гранулированного шлака, микрокремнезема, золы-уноса),

$P$  – количество минеральной добавки, кг/м<sup>3</sup>,

$CO_2$  – объемное содержание углекислого газа в атмосфере, равное  $3,6 \times 10^{-4}$  и

$t$  – время воздействия углекислого газа, лет.

Эффективный коэффициент диффузии  $D_{e,CO_2}$  в м<sup>2</sup>/с рассчитывается по эмпирическому выражению:

$$D_{e,CO_2} = 6,1 \cdot 10^{-6} \times \left( \frac{[W - 0,267(C+kP)]/1000}{\frac{C+kP}{\rho_c} + \frac{W}{\rho_w}} \right)^3 \cdot (1-RH)^{2,2}, \quad (7)$$

где:  $W$  – водосодержание бетонной смеси, кг/м<sup>3</sup>,

$C$  – плотность цемента 3150 кг/м<sup>3</sup>,

$RH$  – относительная влажность воздуха.

Следует отметить, что практически все железобетонные конструкции имеют окраску. Например, многие конструкции АЭС имеют полимерные дезактивируемые спецпокрытия, что снижает коэффициент диффузии в 2 и более раз. Однако, при появлении трещин в конструкции защитные свойства покрытий не проявляются.

Бетон с трещиной подвергается более быстрой карбонизации и по [5] ее глубину можно рассчитать по формуле:

$$X_c(t) = (2,816\sqrt{w} + 1) A_1\sqrt{t} \quad (8)$$

где:  $w$  – ширина трещины, мм

$A_1$  – скорость карбонизации по формуле (1).

В отечественной работе [15] дана более упрощенная зависимость глубины карбонизации от ширины трещины и водоцементного отношения:

$$X_c(t) = 50\sqrt{W} \times \sqrt[4]{t} \quad (9)$$

Обозначения здесь те же, что в предыдущей формуле.

На практике ширина трещины со временем может меняться и глубину карбонизации бетона с трещиной нужно рассчитывать поэтапно.

По данным [6] глубина карбонизации бетона с трещинами увеличивается, в среднем, на порядок по сравнению с бетоном без трещин. Поэтому было бы желательно иметь модель для оценки процесса проникания углекислого газа в бетон, имеющий трещины в защитном слое.

В работе [7] отмечается сложность моделирования влияния трещин на скорость карбонизации бетона и неприемлемость оценки карбонизации бетона по схеме трещин с параллельными гранями. Скорость диффузии углекислого газа через трещины зависит от их геометрии. Если коэффициент диффузии углекислого газа в воздухе при температуре 25°C составляет  $1,65 \times 10^{-5}$  м<sup>2</sup>/с, то в трещине он падает на 15-20%. В экспериментах авторов этой публикации было получено, что, если глубина карбонизации трещин с раскрытием от 0,02 мм до 1,5 мм вблизи поверхности конструкции доходила до 20 мм, то около устья трещины она падала, в большинстве случаев, до нуля.

В диссертации [9] дана формула влияния размера трещин на коэффициент ускорения карбонизации бетона:

$$k = e^{[0,3173(\frac{d}{d_0})^{0,3270}(\frac{w}{w_0})^{0,6803}]} \quad (10)$$

где:  $k$  – коэффициент ускорения карбонизации;

$d$  и  $w$  – длина и ширина трещины, мм;

$d_0$  и  $w_0$  – длина и ширина эталонной трещины, принимаемая равной 1 мм.

Расчет по этой формуле показал, что для трещины длиной 10 мм при ширине трещины 0,2 мм карбонизация ускоряется на 25%, при ширине трещины 0,5 мм – в 1,5 раза и при ширине 1 мм – в 2 раза.

По данным [10] трещины глубиной 10-30 мм с раскрытием 0,1-0,3 мм повышают степень карбонизации бетона в 1,5-2 раза.

Обработка данных, приведенных в работе [13], приводит к выводу, что степень коррозии арматуры линейно связана с шириной раскрытия трещин. При ширине 0,3 мм она увеличивается на треть, при ширине 0,5 мм – в полтора раза и при ширине 1 мм – вдвое.

В диссертации [8] указано, что скорость карбонизации в трещинах увеличивается на 50% при переходе от бездобавочного

портландцемента к цементу с добавками золы-уноса или молотого гранулированного шлака.

Следует указать, что многие авторы считают, что глубина карбонизации защитного слоя бетона и ширина раскрытия трещин при одинаковых условиях эксплуатации не однозначно характеризуют склонность арматуры к коррозии. В частности, необходимо учитывать степень извилистости трещин, влияющую на скорость диффузии коррозионных сред.

Надо подчеркнуть, что в нормах разных стран и для различных условий эксплуатации допустимая ширина раскрытия трещин, не допускающая коррозии арматуры, существенно колеблется. Так, в нормах РФ [14] для не напрягаемой стержневой арматуры в слабоагрессивной среде допускается раскрытие трещин в бетоне 0,25 мм при непродолжительном раскрытии трещин и 0,20 мм при продолжительном раскрытии. В Евроноормах [12] примерно в тех же условиях допускается раскрытие трещин 0,3 мм, в голландских нормах NEN 6720 допускаемое раскрытие трещин составляет 0,2 мм, а в нормах США ACI 224:1994 – 0,15 мм.

Изложенное выше позволяет рекомендовать проводить оценку глубины и степени карбонизации бетона с трещинами и без трещин, используя приведенные аналитические зависимости.

#### Библиографический список

1. FIB Model Code for Service Life Design. FIB. Lausanne: Bulletin 34; February 2006
2. Ueli Angsta, Fabrizio Morob, Mette Geikerc, Sylvia Kesslerd, Hans Beushausene, Carmen Andraderf, Jukka, Lahdensivug, Arto Kūliūh, Kei-ichi Imamotoi, Stefanie von Greve-Dierfeldj, Marijana Serdark Corrosion of steel in carbonated concrete: mechanisms, practical experience, and research priorities – critical review by RILEM TC 281-CCC. RILEM Technical Letters (2020) 5: 85-100 <https://doi.org/10.21809/rilemtechlett.2020.127>
3. Л.И. Дворкин Бетоноведение, том 1. Цементный бетон. «Инфра – Инженерия», Москва – Вологда, 2020, – 670 с.
4. RILEM TC 116-PCD: Permeability of Concrete as a Criterion of its Durability
5. V. Smilauer, L. Jendele and J. Cervenka Prediction of Carbonation and Chloride Ingress in Cracked Concrete Structures. Paper 215, Proceedings of the Fourteenth International Conference on Civil, Structural and Environmental Engineering Computing, Civil-Comp Press, 2013, pp.1-12.
6. Т.З. Гильмутдинов, П.А. Федоров Влияние трещин на глубину карбонизации бетона // Строительные материалы, №10, 2016, с. 63-65.
7. Talukdar, S., Banthia, N. and Grace, J.R. (2015) 'Modelling the effects of structural cracking on carbonation front advance into concrete', Int. J. Structural Engineering, vol. 6, № 1, pp.73-87.
8. Janina P. Kanjee Assessing the influence of crack width on the durability potential of cracked concrete using the durability index approach. Dissertation. University of Cape Town. South Africa, 2015. [https://open.uct.ac.za/bitstream/handle/11427/24308/thesis\\_ebe\\_2015\\_kanje\\_janina\\_prakash.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://open.uct.ac.za/bitstream/handle/11427/24308/thesis_ebe_2015_kanje_janina_prakash.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
9. Pease, Bradley Justin Influence of concrete cracking on ingress and reinforcement corrosion. PhD Thesis, Department of Civil Engineering, Technical University of Denmark, 2010
10. Qun Guo, Lexin Jiang, Jianmin Wang Junzhe Liu Analysis of Carbonation Behavior of Cracked Concrete. Materials 2022, 15, 4518. <https://doi.org/10.3390/ma15134518>
11. Luisa Maria Gil-Martín, Luisa Hdz-Gil, Emilio Molero, Enrique Hernández-Montes The Relationship between Concrete Strength and Classes of Resistance against Corrosion Induced by Carbonation: A Proposal for the Design of Extremely Durable Structures in Accordance with Eurocode 2. Sustainability 2023, 15, 7976, pp.1-14. <https://doi.org/10.3390/su15107976>
12. prEN 1992-1-1; Eurocode 2: Design of Concrete Structures-Part 1-1: General Rules and Rules for Buildings, Bridges and Civil Engineering Structures. European Committee for Standardization: Brussels, Belgium, 2022.
13. M. B. Otieno, M. G. Alexander, H.-D. Beushausen Corrosion in cracked and uncracked concrete – influence of crack width, concrete quality and crack reopening. Magazine of Concrete Research, 2010, 62, № 6, June, 393-404. doi: 10.1680/macr.2010.62.6.393
14. ГОСТ 31384-2017 Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии. Общие технические требования
15. Тамразян А.Г. Методология анализа и оценки надежности состояния и прогнозирования срока службы железобетонных конструкций // Железобетонные конструкции, т. 1. № 1, 2023, с. 5-18.

# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ БЕТОНА И ФИБРОБЕТОНА ПРИ ИМПУЛЬСНОМ НАГРУЖЕНИИ

**Ё.С. РАЖАБОВ**, ассистент, кафедры строительства зданий и сооружений,  
Джизакский политехнический институт, г. Джизак, Республика Узбекистан

*Ключевые слова: динамические воздействия, фибробетон, бетон, физико-механические характеристики бетонов*

*Key words: dynamic effects, fiber-reinforced concrete, concrete, physical and mechanical characteristics of concrete*



Статья – об изучении динамической прочности образцов из бетона и бетона с добавлением металлической стружки (фибробетон) с помощью метода Кольского с использованием разрезного стержня Гопкинсона и его модификации – «бразильского теста». Данная задача является актуальной для качественного повышения физико-механических характеристик бетонов, испытывающих динамические воздействия.

The article is about the study of the dynamic strength of samples made of concrete and concrete with the addition of metal chips (fiber-reinforced concrete) using the Kolsky method using a split Hopkinson rod and its modification – the «Brazilian test». This problem is relevant in solving the problem of a qualitative increase in the physical and mechanical characteristics of concrete experiencing dynamic effects.

Динамические воздействия могут возникать в чрезвычайных ситуациях, таких как техногенные аварии, катастрофы, террористические акты и т.п., сопровождающиеся взрывными и ударными нагрузками и, как следствие, большими материальными потерями и жертвами. Для изучения влияния этих нагрузок как на уже существующие, так и на проектируемые конструкции, а также для указания путей снижения их воздействия необходимо учитывать динамические свойства материалов, применяемых для создания этих конструкций.

Известно, что динамические свойства структурно-неоднородных материалов сильно отличаются от данных, полученных при статических испытаниях. В работах [1, 2] рассмотрены испытания бетонов на 3-х точечный изгиб, авторами [3] были исследованы армированные стекловолокном образцы из раствора, трещиностойкость железобетонных балок с разным коэффициентом армирования [4]. Однако экспериментальных данных о поведении бетона и фибробетона при динамическом нагружении не так много, поэтому динамические характеристики этих материалов были определены экспериментальным путем.

### Методы испытаний

Среди известных к настоящему времени методик динамических испытаний наибольшее распространение получила методика *разрезного стержня Гопкинсона* (РСГ) ввиду ее теоретической обоснованности и простоты. Эта методика, впервые предложенная Г. Кольским [5], позволяет проводить испытания широкого круга материалов в диапазоне скоростей деформации  $10^2 \div 10^4 \text{ с}^{-1}$ .

Основными преимуществами метода РСГ являются простота реализации, корректное теоретическое обоснование волновых явлений, происходящих в системе стержня – образец, точное определение значительных (десятки процентов) деформаций образца, а также исключение изгиба образца ввиду его малой длины. Кроме того, эта методика обеспечивает точный контроль истории изменения скорости деформации в течение всего процесса деформирования образца.

Математическая модель РСГ представляет собой систему из трех стержней: двух бесконечно прочных и бесконечно длинных

тонких стержней и «мягкого», очень короткого стержня-вставки (образца) между ними. В одном из стержней возбуждается одномерная упругая волна  $I(t)$ , которая распространяется по стержням со скоростью  $c$ . При достижении образца эта волна ввиду разницы акустических жесткостей  $c$  материалов стержня и образца расщепляется: часть ее отражается обратно волной  $R(t)$ , а часть проходит через образец во второй стержень волной  $T(t)$ . Образец при этом претерпевает упругопластическую деформацию, в то время как стержни деформируются упруго. Предполагается, что при этом отсутствует дисперсия волны, и распределение профиля деформации в пределах поперечного сечения стержней происходит равномерное. Поперечными колебаниями частиц стержней пренебрегают. Амплитуды и профили импульсов  $R(t)$  и  $T(t)$  определяются соотношением акустических жесткостей материалов стержней и образца, а также реакцией материала образца на приложенную динамическую нагрузку. Регистрируя тензодатчиками упругие импульсы деформации в мерных стержнях, по формулам, предложенным Г. Кольским, можно определить напряжения, деформации и скорости деформации в образце как функции времени:

$$\sigma_n(t) = \frac{EA}{A_s^0} \varepsilon^T(t),$$

$$\varepsilon_n(t) = -\frac{2C}{L_0} \int_0^t \varepsilon^R(t) \cdot dt,$$

$$\dot{\varepsilon}_n(t) = -\frac{2C}{L_0} \cdot \varepsilon^R(t)$$

В этих формулах  $E$  и  $A$  – соответственно модуль Юнга и площадь поперечного сечения стержней,  $A_s^0$  и  $L_0$  – соответственно площадь сечения и длина образца.

Для испытания на растяжение материалов, имеющих разную прочность при сжатии и растяжении (например, бетон и фибробетон), применяется модификация метода Кольского – «Бразильский тест».

«Бразильский тест» – метод для определения предела прочности хрупких материалов при раскалывании [6]. Схема нагружения образцов в виде параллелепипедов при испытании на раскалывание приведена на рис. 1.

Формула для расчета растягивающего напряжения:  $\sigma = t^{0,5187} \frac{P_c}{bh}$ . В этой формуле  $b$  и  $h$  – размеры образца,  $P_c$  – продольное

усилие в мерных стержнях, определяемое по показаниям тензодатчиков на опорном стержне. Максимальная величина растягивающего напряжения и будет искомым прочностью материала при растяжении.

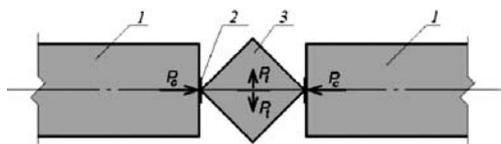


Рис. 1. Установка

Экспериментальная установка для динамических испытаний (рис. 2), реализующая метод РСГ, состоит из пневматического нагружающего устройства (газовая пушка) с системой управления, комплекса измерительно-регистрающей аппаратуры и сменного комплекта мерных стержней Гопкинсона (нагружающего и опорного). Измерение деформаций производится с помощью наклеенных на боковую поверхность стержней на значительном расстоянии от образца малобазных тензорезисторов. Сигналы от тензодатчиков через усилители поступают на многоканальную компьютерную измерительную систему (крейтовый конструктив) PXI-1042 фирмы NATIONAL INSTRUMENTS, где в среде инженерного графического программирования NI LabVIEW организовано несколько виртуальных измерительных приборов: измеритель скорости ударника и высокоскоростной двухканальный осциллограф. При испытаниях полученные с измерителя скорости и с мерных стержней импульсы визуализируются в виде осциллограмм и сохраняются в цифровом виде в памяти компьютера для последующей обработки.

### Результаты испытаний

Динамические испытания проводились на образцах из бетона и из бетона с добавлением металлической стружки (фибробетон). Образцы были выполнены в форме прямоугольных параллелепипедов размером  $\sim 20 \times 20 \times 20$  мм. В испытаниях менялась скорость ударника.

При увеличении амплитуды нагрузки, которая определяется скоростью ударника, повышается предел прочности при сжатии как у бетонных образцов, так и у образцов с добавлением металлической стружки (фибробетон), т.е. отмечено упрочнение материала. Прочность при сжатии и раскалывании у образцов с добавлением металлической стружки



Рис. 2. Схема экспериментальной установки

повышается по сравнению с обычными бетонными образцами при одинаковых условиях нагружения, т.е. динамическая прочность фибробетона выше. Можно отметить, что так же, как и при статических испытаниях, прочность бетона и фибробетона на растяжение значительно меньше прочности на сжатие.

**Выводы.** С использованием метода Кольского проведены динамические испытания на сжатие образцов из бетона и фибробетона. В результате анализа опытных данных установлено, что динамическая прочность фибробетона выше в среднем на 28% по сравнению с обычным бетоном. Также установлено, что при увеличении амплитуды нагрузки происходит упрочнение материала. Отмечено, что прочность бетона и фибробетона на растяжение значительно меньше прочности на сжатие, так же как и при статических испытаниях.

### Библиографический список

1. Nguyen G.D. Development of an approach to constitutive modelling of concrete: Isotropic damage coupled with plasticity / Giang D. Nguyen, Alexander M. Korsunsky // *International Journal of Solids and Structures*. № 45, 2008, pp. 5483-5501.
2. Xu Shilang. Determination of fracture parameters for crack propagation in concrete using an energy approach / Shilang Xu, Xiufang Zhang // *Engineering Fracture Mechanics*, № 75, 2008, pp. 4292-4308.
3. Aroni S. Shear strength of reinforced aerated concrete beams with shear reinforcement / Samuel Aroni // *Materials and Structures*. № 23, 1990, pp. 217-222.
4. Rodriguez T. Navarro C. and Sanchez-Galvez V. Splitting tests: an alternative to determine the dynamic tensile strength of ceramic materials / T. Rodriguez, C. Navarro // *Journal de Physique IV*, 1994, pp. 101-106.

5. Крылов Б.А., Орентликер П.П., Асатов Н.А. Бетон с комплексной добавкой на основе суперпластификатора и кремнийорганического полимера // Бетон и железобетон, № 3, 1993, с. 11-13.
6. Asatov N., Tillayev M., Raxmonov N. Parameters of heat treatment increased concrete strength at its watertightness // E3S Web of Conferences. EDP Sciences, 2019, v. 97, p. 02021.
7. Sagatov B.U. About transfer of effort through cracks in ferro-concrete elements // European science review, № 7-8, 2016, pp. 220-221.
8. Асатов Н.А. и др. Исследования влияния тепловой обработки бетона повышенной водонепроницаемости на его прочность // Молодой ученый, № 7-2, 2016, с. 34-37.
9. Asatov N., Jurayev U., Sagatov B. Strength of reinforced concrete beams hardened with high-strength polymers // «Problems of Architecture and Construction», 2019, v. 2, № 2, pp. 63-65.
10. Sagatov B., Rakhmanov N. Strength of reinforced concrete elements strengthened with carbon fiber external reinforcement // «Problems of Architecture and Construction», 2019, v. 2, № 1, pp. 48-51.
11. Ablayeva U., Normatova N. Energy saving issues in the design of modern social buildings // «Problems of Architecture and Construction», 2019, v. 2, № 1, pp. 59-62.
12. Rakhmonkulovich A.M., Abdumalikovich A.S. Increase seismic resistance of individual houses with the use of reeds // MODERN SCIENTIFIC CHALLENGES AND TRENDS, 2019, – 189 p.
13. Djurayev U., Mingyasharova A. Determination of the technical condition of buildings and structures on the basis of verification calculations // «Problems of Architecture and Construction», 2019, v. 1, № 4, pp. 37-39.
14. Bakhodir S., Mirjalol T. Development of diagram methods in calculations of reinforced concrete structures // Problems of Architecture and Construction, 2020, v. 2, № 4, pp. 145-148.
15. Sagatov B.U. Исследование усилий и деформаций сдвига в наклонных трещинах железобетонных балок // European science, № 6 (55), 2020, с. 59-62.
16. Испандиярова У.Э. Усиление мостовых железобетонных балок высокопрочными композиционными материалами // European science, № 6, 2020, (55), с. 63-67.
17. Рахмонов Н.Э. Проблемы разработки отечественного синтетического пенообразователя // Academy. № 11 (62), 2020, с. 93-95.
18. Норматова Н.А. Проектирование энергосберегающих зданий в условиях Узбекистана // Academy. № 11 (62), 2020, с. 89-92.
19. Бойматов А.А. Планирование возведения гражданских зданий в условиях сухого жаркого климата // Academy. № 11 (62), 2020, с. 85-88.
20. Алиев М.Р. Экспериментальное определение динамических характеристик кирпичных школьных зданий // Academy. № 11 (62), 2020, с. 66-69.
21. Джуряев У.У. Повышение технического состояния зданий и сооружений на основе поверочного расчета // Academy. № 11 (62), 2020, с. 70-74.
22. Бобожонов Р.Т. и др. Разработка состава высокопрочного, качественного асфальтобетона // Молодой ученый, № 3, 2015, с. 97-100.
23. Товбоев Б.Х., Юзбоев Р.А., Зафаров О.З. Влияние конструктивных решений на трещиностойкость асфальтобетонных слоев усиления // Молодой ученый, № 1, 2016, с. 227-230.

Источник: [academicjournal.ru](http://academicjournal.ru)

**BakuBuild** [www.bakubuild.az](http://www.bakubuild.az)

28-я Азербайджанская Международная  
**ВЫСТАВКА  
«СТРОИТЕЛЬСТВО»**

**19 | 20 | 21 OCTOBER 2023**  
БАКУ, АЗЕРБАЙДЖАН / БАКУ ЭКСПО ЦЕНТР

Организаторы  
STECA CEO

Tel: +994 12 604 10 00  
+994 55 224 10 00  
E-mail: build@stecca.az

#BakuBuild  
@bakubuild  
BakuBuildAzerbaijan

# КОМПЛЕКСНЫЕ СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ЖЕЛЕЗОБЕТОНА

**П.Ю. КРУТОВ**, компания ООО «ИНГРИ», руководитель направления технической поддержки продаж



В статье дается описание комплексных систем защиты бетона, их физико-химические свойства, а также конкурентные преимущества

The article describes the complex concrete protection systems, their physical and chemical properties, as well as competitive advantages.

Комплексные системы защиты бетона, в том числе гидроизоляция подземных сооружений, включает несколько основных компонентов, относящихся к обеспечению нормальной эксплуатации сооружения:

- требования к ограждающим конструкциям по несущей способности, характеристикам бетона по водонепроницаемости, прочности, морозостойкости;
- требования к системе материалов по защите от воздействий, в том числе защиты от проникновения грунтовых вод и агрессивных жидкостей;
- требования к системам обеспечения (кондиционирование, вентиляция, отопление и т.д.);
- требования по инженерной защите территории, в частности к системам дренирования.

### Принципы ремонта и защиты бетона

На сегодняшний день ООО «ИНГРИ» – одна из крупнейших в Российской Федерации компаний по производству материалов для ремонта бетона, гидроизоляции, устройству промышленных полов. В ассортименте компании представлено большинство позиций, составляющих типовые системы для ремонта, защиты и гидроизоляции.

Требования к материалам для защиты и ремонта бетонных конструкций регламентируются ГОСТ 32016-2012 и ГОСТ Р 56378-2015. Материалы ООО «ИНГРИ» представлены в следующих разделах по ГОСТ 32016-2012:

1. В разделе 1 «Защита от проникновения» продукция компании представлена наиболее полно:

- в методе «Покрытия» – мастика на основе полиуретана, составы для напыления на основе полимочевины, цементные и полимерцементные составы;
- в методе «Бандаж устьев трещин» – гидроизоляционные шовные составы на цементной основе;
- в методе «Заполнение трещин» - гидроактивные однокомпонентные и двухкомпонентные инъекционные составы на основе полиуретана.

2. В разделе 4 «Усиление (упрочнение) конструкций» продукция компании представлена в следующих методах:

- добавление усиливающих анкеров в готовые или просверленные отверстия. В этом разделе мы предлагаем химанкер;
- в разделе «Нанесение дополнительных слоев бетона или раствора» представлены ремонтные составы для конструкционного ремонта (класс R4 по ГОСТ Р 56378-2015);
- для инъектирования и заполнения трещин и полостей представлены матери-

ТАБЛИЦА 1. КЛАССИФИКАЦИЯ МАТЕРИАЛОВ МАРКИ «ZIVKON»

Ремонтные составы			Анкерные составы	Герметизирующие составы	Защитные составы
Литьевые	Тиксотропные	Инъекционные			
Наливной конструкционный цементный ремсостав ZIVKON SL 2201	Тиксотропный конструкционный цементный ремсостав ZIVKON TX 1201	Микроцементный состав для инъекционно-уплотняющего ремонта ZIVKON RJ 5201	Двухкомпонентный состав на основе эпоксидной смолы для создания анкерных креплений, подверженных высоким механическим нагрузкам ZIVKON FX 6142	Лента ТПО ZIVKON TE	Состав для защиты стальной арматуры от коррозии и увеличения адгезии строительных растворов ZIVKON RP 7201
Наливной цементный ремсостав ZIVKON SL 2203		Эпоксидный состав для инъекционно-уплотняющего ремонта ZIVKON RJ 5101		Эпоксидный клей для лент ТПО ZIVKON FX 6001	
Наливной ремонтник со сверхбыстрым набором прочности ZIVKON SL 2241	Тиксотропный ремонтник с быстрым набором прочности ZIVKON TX 1241				
Наливной ремсостав для работы при отрицательных температурах ZIVKON SL 2281	Тиксотропный Ремсостав для работы при отрицательных температурах ZIVKON TX 1281				

алы на основе микроцемента и на основе низковязкой эпоксидной смолы.

3. В разделе 11 «контроль анодных участков» представлен цементный материал для защиты арматуры и для адгезионного слоя при нанесении ремонтного состава

### Материалы для ремонта, защиты и восстановления железобетонных конструкций ZIVKON

В рамках данной статьи рассмотрим системы материалов для усиления и гидроизоляции конструкций, а также остановимся на отдельных продуктах, таких как добавка в бетон для улучшения свойств по водонепроницаемости и покрытия на основе полимочевины.

Материалы для ремонта, защиты и восстановления железобетонных конструкций часто необходимы не только при реконструкции существующих объектов (что, казалось бы, логично, исходя из назначения), но часто и в процессе возведения новых объектов. Нестабильность качества бетонных смесей, а также, зачастую, низкая квалификация исполнителей, выполняющих бетонные работы, приводят к необходимости проведения ремонтных работ еще на стадии строительства.

Составы линейки ZIVKON (материалы для защиты и восстановления конструкций) делятся на следующие основные группы:

- ремонтные составы: цементные тиксотропные и литьевые материалы, инъекционные составы на цементной и эпоксидной основе;
- анкерные составы: химанкер на эпоксидной основе для создания анкерных креплений;
- герметизирующие составы: лента ТПО с монтажом на эпоксидный клей;
- защитные составы: материал для защиты стальной арматуры на цементной основе.

Классификация материалов марки ZIVKON, представленных фирмой ООО «ИНГРИ», в табл. 1.

### Проблема: коррозия арматуры

Защита арматуры от коррозии — одна из основных задач в рамках обеспечения долговечности железобетонных конструкций. Часто дефекты, требующие ремонта, возникают из-за низкого качества СМР. Недостаточное уплотнение бетона, нарушение технологии прогрева, передозировка хлорсодержащих добавок, примеси в заполнителях в бетоне, вызывающие деструкцию

бетона, — вот только некоторые факторы, приводящие к коррозии арматуры. Кроме того, развитие этих дефектов усугубляют условия эксплуатации в агрессивных средах: карбонизация, воздействие морской воды, наличие в грунтовых водах хлоридов, сульфатов и т.д. Схему коррозионного процесса в железобетоне см. рис. 1.



Рис. 1. Коррозия арматуры в бетоне

При ремонте бетона в этих зонах необходим специальный материал. Состав для защиты стальной арматуры от коррозии и увеличения адгезии строительных растворов ZIVKON RP 7201 имеет хорошую адгезию к металлу и обеспечивает адгезию наносимых на него ремонтных составов. Данный материал незаменим при нанесении тонких слоев ремонтного состава (менее 20 мм), когда изначально в конструкции не был предусмотрен необходимый защитный слой бетона. Еще бывают случаи, когда очищенная арматура по производственным причинам не может быть перекрыта ремонтным составом в течение одной смены. В этом случае материал позволяет защитить поверхность и избежать необходимости повторной очистки.

Наиболее распространенный дефект из практики — коррозия арматуры в нижней зоне густоармированных конструкций (рис. 2). Причинами процесса могут быть как низкое качество уплотнения бетона и несоблюдение защитного слоя при строительстве, так и конструктивные трещины, образовавшиеся при эксплуатации.



Рис. 2. Коррозия арматуры в нижней зоне балки

### Проблема: пустоты водовода/водосброса

Следующий материал для ремонта, требующий внимания в рамках заявленной темы, — инъекционный состав на основе

микроцемента ZIVKON RJ 5201. В силу своих свойств и области применения, такого рода материалы не часто применяются на объектах. Основные ограничения: не применим при раскрытии трещин менее 0,4 мм, при герметизации водонесущих трещин требует предварительной водоостановки (как основной вариант, гидроактивными составами на основе полиуретана).

Микроцементный состав для инъекционно-уплотняющего ремонта Zivkon RJ 5201 разработан для равнопрочного заполнения дефектов в массивных железобетонных конструкциях. Материал незаменим при инъекционном заполнении дефектов в конструкциях гидротехнических сооружений (плотин, водоводов, опор мостов и т.д.). Для обоснования в применении данного материала обычно необходимо комплексное обследование конструкций, включая современные неразрушающие методы контроля.

Примеры объектов, выполненных по данной технологии:

- водовод на Богучанской ГЭС;
- водовод Вернетагильской ГРЭС.

Перед началом работ на Богучанской ГЭС было проведено обследование конструкций неразрушающим методом для определения разуплотненных зон, подлежащих инъектированию.

При применении литевых и тиксотропных составов особое внимание следует обратить на требования к подготовке поверхности, которые описаны в ТО. Применением того или иного материала, а чаще подбор системы определяется по требованиям проекта, типу дефекта, условиям производства работ и т.д.

### Типовые узлы раздела гидроизоляции

Типовые узлы, относящиеся к разделу гидроизоляции, требуют особого внимания. При решении такого рода задач только инженер на месте может принять решение о применимости той или иной технологии. На такого рода объектах типовые решения часто приходится корректировать по месту.

Представленный узел герметизации водонесущего шва (трещины) (рис. 3) предполагает устройство гидроизоляции только цементными материалами, без применения инъекции. На первом этапе выполняется устранение водопритока цементным быст-

росхватывающимся материалом WETISOL Ecto SF (цементной пробкой). На втором этапе по «сухому» шву выполняется заполнение шовным гидроизо-ляционным составом WETISOL Ecto Block P.

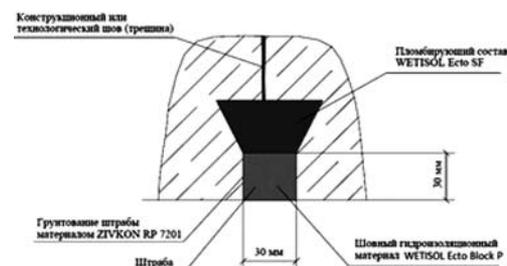


Рис. 3. Схема герметизации водонесущих швов (трещин)

Протечки по плите покрытия эксплуатируемой кровли подземного паркинга — проблема на многих объектах. Не всегда есть возможность доступа и восстановления гидроизоляции снаружи. Инъекционный способ (заполнение шва полиуретаном) часто не решает вопрос устранения дефекта. В этом случае эффективным решением являются прижимные системы герметизации швов. На данном узле (рис. 4) представлен вариант прижимной системы с лентой ТПО. Дополнительной степенью защиты в этом решении является устройство разгрузочных патрубков с отводом в действующую дренажную систему (типовое решение для паркингов — система водоотводящих лотков с приямком для откачки воды).

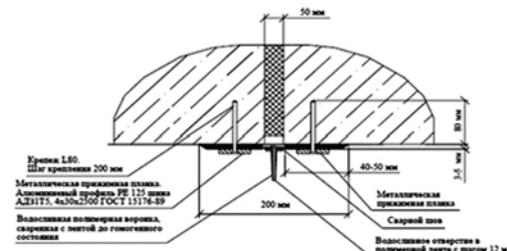


Рис. 4. Герметизация деформационного шва с системой водослива

### Повышение показателей по водонепроницаемости и прочности бетонных конструкций

**Многофункциональная интегральная гидроизоляционная добавка в бетон WETISOL Inseal 180 GP.**

В данном разделе статьи представляем гидроизоляционную добавку в бетон WETISOL Inseal 180 GP. Добавка соответствует требованиям ГОСТ 12730.5-2019 и ГОСТ 24211-2008 и предназначена для повышения показателей по водонепроницаемости и прочности бетонных конструкций

за счет заполнения пор кристаллическими новообразованиями. С помощью этого типа материалов, в том числе возможна реализация первичной защиты (за счет водонепроницаемости бетона).

Добавка проверена в независимых лабораториях и успешно опробована на объектах Российской Федерации и ближнего зарубежья.

Двухкомпонентный напыляемый гидроизоляционный состав на основе поликарбамидов позволяет эффективно выполнять гидроизоляционные работы на целом ряде сооружений. Широкое применение данный состав получил при ремонте дефектных кровель практически из любых материалов. Состав имеет адгезию к битумным материалам, металлу бетону, ПВХ и др., что позволяет выполнять гидроизоляционный ковер при реконструкции без демонтажа существующего пирога кровли.

Принципиально такая схема прописана в СП 17.13330.2017, где рекомендуется для просушки утеплителя и верхних кровельных слоев устанавливать аэраторы. Применяется данная технология и в дорожном строительстве, транспортной инфраструктуре. Данный тип материала включен в ведомственные нормативные документы.

Выполнены объекты по гидроизоляции пролетных строений путепроводов, автодорожных тоннелей и тоннелей метро, при устройстве открытым способом.

Преимущества данного типа материала:

- быстрый ввод в эксплуатацию (возможность легких нагрузок уже через 30 мин),
- возможность работы при минусовой температуре,
- стойкость к воздействию агрессивных сред,
- высокая эластичность.

**Двухкомпонентный материал на основе поликарбамидов для получения защитных гидроизоляционных покрытий WETISOL Spray 500XT**

Особенности материала WETISOL Spray 500XT заключаются в возможности присыпки минеральным наполнителем (время отверждения 120 сек при +20°C) и укладки горячего асфальта (термостойкость до +22°C). Состав специально доработан для дорожного строительства.

### Экспертиза

В рамках снижения зависимости от импортного сырья и с целью разработки новых материалов, технологий и инновационных продуктов мирового уровня, повышения качества и наукоемкости продукции, в компании ведется системная работа по обмену опытом с рядом научных центров и профильных институтов, таких как:

- «Институт технической химии. Уральское отделение Российской академии наук», г. Пермь;
- «Санкт-Петербургский Государственный архитектурно-строительный университет»;
- ПАО «Уралхимпласт», г. Нижний Тагил;
- АО ФНПЦ НИИ прикладной химии, г. Санкт-Петербург;
- ВНИИСК («Научно-исследовательский институт синтетического каучука») и ряда других.

Все испытания готовой продукции, проводимые периодически (согласно технологических условий на продукцию), осуществляются в аккредитованных лабораториях сторонних организаций и подтверждаются протоколами испытаний.

Вся продукция, выпускаемая на производстве, имеет сертификаты, подтверждающие ее высокое качество.

*Статья подготовлена на основе доклада, представленного на X международной научно-практической конференции «Основания и фундаменты: современные технологии, специальная техника, оборудование и материалы» 24-25 мая 2023 года в Москве*

# ПРИМЕНЕНИЕ ОТХОДОВ ПОРОШКОВОЙ КРАСКИ В КАЧЕСТВЕ ПЛАСТИФИЦИРУЮЩЕЙ ДОБАВКИ ДЛЯ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

**В.Т. ИЗМАЙЛОВ**, главный технолог производства порошковых покрытий ООО «Литум»  
г. Санкт-Петербург

*Ключевые слова: отходы порошковых красок, промышленные отходы, утилизация отходов, пластификатор, бетонная смесь, подвижность бетонной смеси, синтетические смолы*

*Key words: powder-coating waste, industrial waste, waste recovery, plasticizer, concrete mixture, fluidity of concrete mixture, synthetic resins*



В статье говорится о применении отходов порошковой краски в качестве пластифицирующей добавки для бетонных смесей. Результаты испытаний установили пластифицирующую активность добавки в бетонной смеси, введенной в количестве 5% от рецептурной массы портландцемента. Рассматриваемое направление использования отходов порошковых красок в производство строительных материалов является результативным, так как позволит проводить утилизацию отходов ЛКМ вместо их складирования на полигонах промышленных отходов.

The article talks about the use of powder paint waste as a plasticizing additive for concrete mixtures. Studies have been carried out on the use of powder paint waste as a plasticizer for concrete mixtures. The test results established the plasticizing activity of the additive in the concrete mix, introduced in the amount of 5% of the recipe mass of Portland cement. The considered direction of the use of powder paint waste in the production of building materials is effective, as it will allow for the disposal of paintwork waste instead of their storage at industrial waste landfills.

Порошковые краски (покрытия) – это сухой порошковый окрашивающий материал с основным размером частиц 30-50 мкм. В их состав входят полимерные пленкообразующие (полиэфирные, эпоксидные и др. смолы), наполнители (карбонат кальция, барит, полевои шпат и др.), пигменты, функциональные добавки.

Технология покрытий с применением порошковых красок по сравнению с окрашиванием жидкими материалами имеет много преимуществ:

- порошковые краски поставляются потребителю в готовом к применению виде. Не требуется их подготовка, смешение, разбавление, перемешивание, регулирование вязкости [1];

- в составе порошковых красок отсутствуют растворители.

Направления применения порошковых покрытий:

- производство бытовой техники: холодильники, стиральные машины, микроволновые и электрические печи и др.;

- автомобильная промышленность: амортизаторы, пружины подвески, колесные диски, тормозные колодки, рамы сиденья, стеклоочистители, масляные фильтры и пр.;

- промышленные машины и оборудование, инструменты;

- покрытия для трубопроводов, арматурные покрытия и пр.

При производстве порошковой краски образуются технологические отходы и бракованная продукция. Технология позволяет частично перерабатывать отходы производства, используя их в рецикле, вводя в сырьевые материалы.

К сожалению, по различным причинам не весь объем отходов возможно вернуть в рецикл производства.

Технологические отходы – это ультрамалые частицы порошковой краски – «файнс» (от 10 мкм), улавливаемые системой сепарации и фильтрации, могут быть лишь частично возвращены в рецикл производства по причине ограничения по массе допустимого количества, а также из-за отклонения по качеству (смешение различных продуктов).

Оптимальное количество возврата в рецикл порошковых отходов – около 5% от массы «замеса» сырьевых материалов.

#### ИСПЫТАНИЯ УДОБОУКЛАДЫВАЕМОСТИ (ПОДВИЖНОСТИ) БЕТОННОЙ СМЕСИ (М300, В22,5, П2) И ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВА КУБИЧЕСКИХ ОБРАЗЦОВ БЕТОНА. ПОРТЛАНДЦЕМЕНТ ЦЕМ I 42,5 Н

Составы	Водоцементное отношение при равном количестве воды затворения смесей	Осадка конуса, см	Прочность на сжатие, МПа		
			3 суток	14 суток	28 суток
Бетонная смесь, без добавок (контрольные образцы)	0,52	8,5	33.1	46	48.4
Бетонная смесь с 5% порошковой краской	0,55	10	29.9	40	43.6

Бракованная продукция (поверхность, цвет, блеск, срок годности) может быть переработана лишь частично, по причине массы и критическим показателям качества.

Скапливающиеся значительные отходы порошкового производства вывозятся на полигоны промышленных отходов. С указанной проблемой необходимо поступать рационально, взяв за пример обширный опыт металлургии по утилизации отходов в производство строительных материалов (микрокремнезем, распадающиеся феррохромовые шлаки, молотые доменные шлаки и пр.).

Как выше указывалось, порошковые краски содержат в составе синтетические смолы, которые обладают пластифицирующими свойствами. С этой целью были проведены экспериментальные лабораторные испытания по введению отходов порошковой краски (5% от массы портландцемента) в состав бетонной смеси в качестве пластификатора.

Испытания проведены в лаборатории предприятия партнера ООО «Берит» г. Екатеринбург.

Проведенные испытания показали, что состав с 5% добавкой порошковой краски от массы портландцемента увеличивает подвижность бетонной смеси в сравнении с контрольным образцом не имеющего добавок, при равном количестве воды затворения.

Марка удобоукладываемости контрольного образца П2, осадка конуса 8,5 см, марка удобоукладываемости образца с 5% добавкой увеличилась до П3, осадка конуса 10 см.

Согласно полученным результатам отходы производства порошковых красок, можно рассматривать, как пластифицирующую добавку в бетонные смеси.

Рассматриваемое направление утилизации отходов порошковых красок в производство строительных материалов нуждается в продолжении дальнейших исследований и привлечении заинтересованных специалистов.

Перспективно продолжить исследования по применению отходов порошковых красок в бетонные смеси, так же в сухие строительные смеси, баритовые бетоны (некоторые рецептуры порошковых красок содержат барит в качестве наполнителя), возможно и в асфальтобетоны в качестве минерального порошка.

#### Библиографический список:

1. Порошковые полиэфирные краски: Состав, технология получения Т.Н. Кухта, Н.Р. Прокопчук. Материалы – технологии • инструменты. Т.1Э (2014), №3, 21-28

УДК 691.328.1

Специальность 05.23.05

# ВОЗДУХОВОВЛЕКАЮЩИЕ ДОБАВКИ РАЗНЫХ ПОКОЛЕНИЙ

**И.В. ВОБК**, руководитель СТСП ООО «Полипласт Новомосковск»

*Ключевые слова: добавки, воздухововлекающие добавки, структура бетона, бетонная смесь*

*Keywords: additives, air-entraining additives, concrete structure, concrete mix*



В статье описываются зависимости эффективности работы воздухововлекающих добавок различного происхождения, их современное состояние и направления развития

The article describes the dependencies of the efficiency of air-entraining additives of various origins, their current state and development directions.

Как известно, воздухововлекающие добавки, имеющиеся на рынке, по происхождению условно можно разделить на синтетические и природные.

К синтетическим относятся добавки на основе синтетических поверхностно-активных веществ (ПАВ), например, лаурилсульфата, лауретсульфата, алкилсульфоната и альфаолефинсульфоната натрия (например, Полипласт Аэро).

К природным воздухововлекающим добавкам можно отнести добавки на основе канифоли (например, Полипласт Аэро 815) и ее модификаций – древесной омыленной смолы (СДО), натриевой соли абиетиновой кислоты (СНВ) и черного шелока.

В настоящее время на рынке СДО, СНВ и черный шелок встречаются крайне редко и предпочтение, в большинстве случаев, отдается синтетическим добавкам.

По каким параметрам можно выбрать воздухововлекающую добавку? Чтобы разобраться с этим проведем оценку добавок по следующим критериям:

- Область применения;
- Зависимость эффективности при применении мешалок разного типа;
- Стабильность при транспортировании;
- Зависимость эффективности от состава;
- Зависимость эффективности от применяемого песка;
- Температура компонентов бетонной смеси;
- Зависимость эффективности при совместном использовании с другими добавками;
- Эффективность в присутствии пеногасителей;
- Получаемая поровая структура бетона.

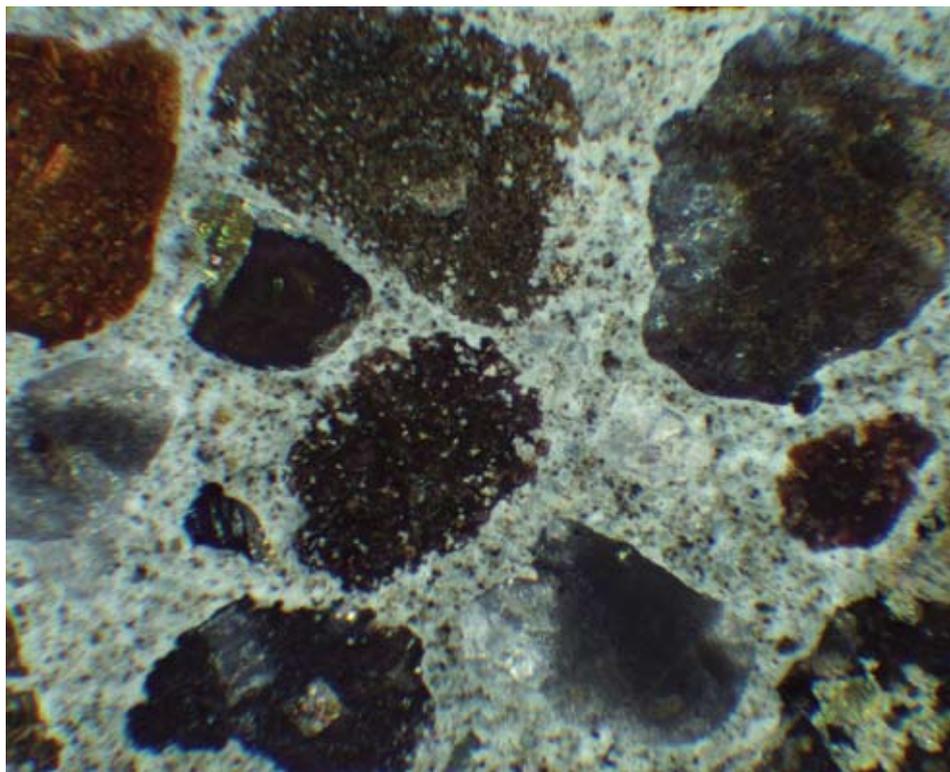
В основном воздухововлекающие добавки применяются при производстве строительных растворов и специальных бетонов,

например, дорожных, транспортных, а также аэродромных покрытий.

В растворах можно использовать добавки на любой основе, так как система без крупного заполнителя достаточно стабильна сама по себе, и добавка полностью вступает в работу уже на стадии приготовления раствора.

Однако следует учесть тип перемешивающего устройства, применяемого при производстве бетонной или растворной смеси. Как видно из табл. 1, увеличение воздухововлечения в бетонных смесях транспортного строительства не связано с работой воздухововлекающих добавок, а лишь с количеством защемленного воздуха при перемешивании. В процессе транспортировки в присутствии воздухововлекающей добавки часть крупного защемленного воздуха диспергируется в более мелкий и остается в системе.

Бетон транспортного строительства в поляризованном свете



Тип перемешивающего устройства	Наименование и дозировка добавки	Характеристики бетонной смеси			
		Расход Ц, кг/м <sup>3</sup>	В/Ц	Воздухововлечение, %	
				Начальное	Конечное
Планетарный	Без добавки	430	0,38	2,0	1,8
	Полипласт Аэро Д-0,15 тов			6,0	5,4
	Полипласт Аэро 815 Д-0,12 тов			5,8	5,5
Двухвальный	Без добавки	430	0,38	3,0	2,4
	Полипласт Аэро Д-0,15 тов			7,1	6,2
	Полипласт Аэро 815 Д-0,12 тов			7,1	5,9

Природные добавки могут в процессе транспортировки изменять количество воздуха в смеси как в сторону уменьшения, так и в сторону увеличения, то есть, велик риск неполучения требуемого воздухововлечения у бетонной смеси, необходимой потребителю.

Дозировки природных и синтетических добавок разнятся и зависят, прежде всего, от водоцементного отношения бетонной смеси: чем оно ниже, тем больше дозировка воздухововлекающей добавки потребуются. Дозировка любой воздухововлекающей добавки будет уменьшаться с увеличением доли песка в бетонной смеси и увеличиваться со снижением его модуля крупности.

Температура инертных и вяжущего также влияет на дозировку воздухововлекающих добавок: чем она выше, тем меньшее количество добавки потребуются. Это связано с тем, что большая часть воды расходуется на смачивание инертных и интенсивнее проходят процесс гидратации цемента и его взаимодействие с добавками.

На практике мы почти не используем воздухововлекающие добавки без пластификаторов. И добавки на синтетической основе, и природные добавки совместимы с любыми пластифицирующими основами, однако при использовании поликарбонатного пластификатора дозировка воздухововлекающей добавки снижается по причине своего рода «симбиоза», усиливающего эффект вовлечения воздуха.

Очень важна совместимость пеногасителей, содержащихся в пластификаторах, с применяемой воздухововлекающей добав-

кой. Здесь основной акцент надо сделать не на основу воздухововлекающей добавки, а на использовании обеих добавок от одного производителя. Это гарантирует эффективную работу комплекса добавок, подтвержденную проведенными испытаниями и исследованиями.

Поровая структура бетона, изготовленного с применением современных воздухововлекающих добавок, практически не зависит от их основы, и представляет собой систему равномерно распределенных замкнутых пор диаметром ок. 300 мкм.

Как видно, особого отличия между имеющимися на рынке воздухововлекающими добавками на различных основах нет. В настоящее время производители добавок обеспечивают их стабильность при хранении и транспортировании, используя стабилизаторы, активаторы и другие вспомогательные вещества.

Но наука не стоит на месте и в компании Полипласт разработана новая полусинтетическая воздухововлекающая добавка на основе природного сырья. При ее изготовлении сырье подвергается частичному синтезу. Это позволит повысить стабильность добавки при применении, транспортировании и хранении.

Как мы видим, рынок воздухововлекающих добавок не стоит на месте, чтобы удовлетворять его требованиям, Полипласт создает для бетонных смесей новые современные добавки, позволяющие получить требуемое, легко контролируемое воздухововлечение с длительной сохраняемостью во времени.



# УТЕПЛЕНИЕ СВЕРХЛЕГКИМ ПЕНОБЕТОНОМ МАЛОЭТАЖНЫХ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ЗДАНИЙ МОНОЛИТНЫМ СПОСОБОМ. ЧАСТЬ 1

**В.М. ПОНОМАРЕВ**, заместитель генерального директора ООО «ДомРА»



В статье дается определение понятию «сверхлегкий пенобетон», основываясь на действующих на данный момент ГОСТах. Предлагается для целей настоящей работы принять, что сверхлегкий пенобетон (СЛПБ) – это исключительно теплоизоляционный материал, имеющий (методика испытаний по ГОСТ 7076-99) среднее значение плотности в сухом состоянии: 0,07-0,1 г/см<sup>3</sup> (марка по средней плотности D70-D100), коэффициент теплопроводности при естественной влажности материала 0,04-0,05 Вт/(м\*К), термическое сопротивление образца 0,620 – 0,650 (м<sup>2</sup>\*К)/Вт.

The article defines the concept of “ultralight foam concrete”, based on the currently valid GOSTs. It is proposed for the purposes of this work to accept that ultralight foam concrete (SLPB) is an exclusively heat-insulating material that has (test method according to GOST 7076-99) an average density value in a dry state: 0.07-0.1 g/cm<sup>3</sup> (grade according to the average density D70-D100), thermal conductivity at natural moisture content of the material 0.04-0.05 W/(m\*K), thermal resistance of the sample 0.620 – 0.650 (m<sup>2</sup>\*K)/W.

### Свойства СЛПБ

*СЛПБ – паропроницаемый материал.* В некоторых нормативных документах применяются такие характеристики, как паропроницаемость и водопоглощение, а также сорбция и десорбция.

Сорбция и десорбция водяного пара материалами – процесс поглощения или отдачи водяного пара материалом в окружающую среду, который приводит к равносному влажностному состоянию материала с окружающей средой. Следует заметить, что на сорбционную влажность материала также оказывает влияние капиллярная конденсация (и / или капиллярное всасывание).

СЛПБ благодаря своим свойствам, в том числе капиллярному всасыванию, имеет большую сорбцию водяного пара, чем многие другие строительные материалы.

Стены из СЛПБ играют роль некоего аккумулятора влаги: при избытке влаги они ее впитывают, при недостатке отдают влагу. Похожий процесс аккумуляции происходит с электрической и тепловой энергией в домах с альтернативными источниками энергии.

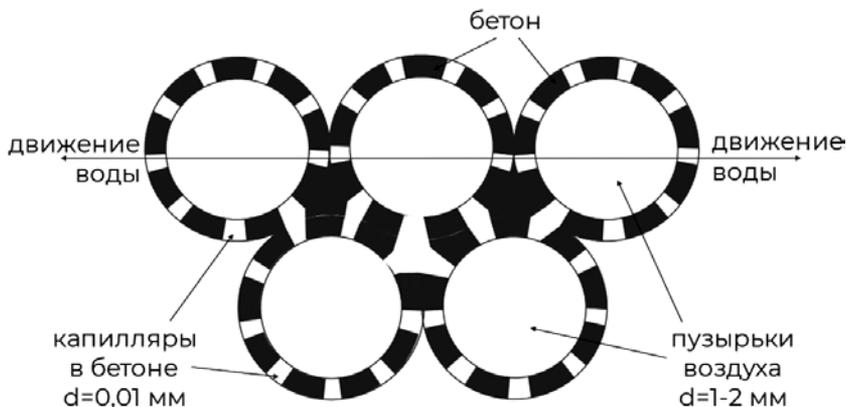


Рис. 1. Схема переноса воды в пенобетоне за счет капиллярного эффекта.



Рис. 2. Четыре образца утеплителя до воздействия газовой горелки.

Такое понятие, как «дышащие материалы» (материалы с высокой паропроницаемостью, сорбцией и десорбцией водяного пара) – это такие материалы, которые в том числе сохнут за счет капиллярной структуры. При производстве подобного рода материалов на водной основе в них образуются капилляры. Например, кирпич, бетон, газобетон, пенобетон. Такие материалы, как пенополистиролы, пенополиуретаны, минеральные каменные и стеклянные ваты, пеностекло высыхают медленнее, т.к. не имеют или практически не имеют капиллярной структуры. Можно сказать, что «дышащие материалы – это такие материалы, которые моknут и сохнут водой (водяными парами) сами».

Механизм капиллярного всасывания с большой уверенностью можно считать движущей силой в частично насыщенном объеме твердого тела сетью капиллярных пор. Для большинства составов бетона движение воды идет по капиллярам с радиусом 0,01 мм и менее, что обуславливает определенную корреляцию между капиллярной пористостью и водоцементным (В/Ц) отношением, а в случае с пенобетоном воздушно-водоцементным (В/В/Ц) отношением.

Из-за сложного механизма переноса воды в бетоне и большого числа влияющих факторов до сих пор не разработана количественная теория, связывающая проницаемость бетона (пенобетона) и параметры его структуры.

Необходимо рассматривать четыре направления движения влаги (рис. 1): из помещения – в стену; из стены – в помещение; снаружи дома – в стену; из стены – наружу дома.

В первоначальном состоянии, когда происходит утепление дома СЛПБ влажность в стене намного выше, чем влажность снаружи дома и внутри дома. И влага движется из стены за счет капиллярного эффекта. В процессе высыхания СЛПБ влажность приходит в некое равновесие. Процесс высыхания утепленных СЛПБ домов достаточно длительный – несколько месяцев. Это не значит, что из стен и потолков будет сочиться всё это время вода. Просто теплоизоляционные характеристики дома будут немного хуже. Но с каждым годом дом будет становиться все теплее и теплее. Это подтверждают и отчеты тепловизионного обследования домов, сделанные через длительные промежутки времени. Кроме

того, свойство СЛПБ высыхать при естественных условиях позволяет сгладить и полностью устранить негативные последствия дефектов гидроизоляции (протечка крыш, чердаков, отливов и т.д.).

### СЛПБ – негорючий материал

Для демонстрации его негорючести был произведен эксперимент. Взяли четыре образца утеплителей: три из органических материалов (из разных групп горючести, PIR, PUR) и один из СЛПБ. Причем по теплоизоляционным характеристикам эти материалы были сопоставимы (коэффициент теплопроводности 0,03-0,04 Вт/(м\*К), плотностью 0,03-0,08 г/см<sup>3</sup>).

На рис. 2 показаны четыре образца разного вида утеплителя до воздействия на них пламенем из газовой горелки.

Как видно на рис. 3, три органических образца либо сильно видоизменились (не поддерживающие горения), либо сгорели полностью. Образец же СЛПБ остался без изменения.

Поскольку СЛПБ является негорючим материалом и обладает высокими теплоизоляционными параметрами, его можно применять в качестве огнезащитной изоляции ответственных конструкций здания (таких, как металлические и железобетонные балки, перекрытия, стропила и т.д.) с целью предотвратить их разрушение и деформацию в случае возникновения пожара и воздействию на них открытого огня.

В целях демонстрации уникальных огнезащитных свойств СЛПБ был проведен эксперимент. На ладонь человека положили пластину СЛПБ толщиной 1 см (рис. 4). Потом воздействовали на эту пластину пламенем газовой горелки в течение 10 минут в одну точку. Человек даже не чувствовал потепление на ладони. При этом пластина не разрушилась и даже на вид не потрескалась.

*Монолитный способ утепления СЛПБ малоэтажного дома.* СЛПБ заливается в опалубку монолитным способом как при съемной, так и несъемной опалубке.

### СЛПБ и новый ГОСТ

Как известно, с 1 июля 2023 года вводится в действие межгосударственный стандарт Материалы и изделия строительные теплоизоляционные. Классификация. Общие технические требования. ГОСТ 16381-2022. Рассмотрим, как соотносится СЛПБ с требованиями, предъявляемыми данным ГОСТом.

Статья 5.2 Технические требования: «5.2.1 *Строительные теплоизоляционные материалы и изделия должны удовлетворять следующим требованиям:*

- *иметь теплопроводность в сухом состоянии не более 0,07 Вт/(м·°С) при температуре, указанной в 5.1.6;».*

СЛПБ согласно протоколу испытания (рис. 5) имеет коэффициент теплопроводности при **естественной влажности материала: 0,041 Вт/(м\*К).**

В этом случае разница в обозначении использования разных температурных шкал (в Кельвинах, по Цельсию) не имеет значения, т.к. в показателе берётся разность температур. А разность всегда одинакова в любых шкалах.



Рис. 3. Показаны четыре образца разного вида утеплителя после воздействия на них открытым пламенем из газовой горелки в течение 30 секунд.



Рис. 4. Воздействие газовой горелки на образец ЛСПБ.

Кроме того, ГОСТ требует указывать «теплопроводность в сухом состоянии», а испытания СЛПБ проводились при естественной влажности. Т.е. при естественной влажности в материале большее количество воды, чем в сухом состоянии, а теплопроводность материалов значительно возрастает с увлажнением. Это объясняется тем, что влага, попадающая в поры, частично замещает воздух и увеличивает теплопроводность материала, т.к. теплопроводность воды в значительно выше, чем теплопроводность воздуха. Таким образом, **коэффициент теплопроводности СЛПБ в «сухом состоянии» будет ещё меньше.**

«- *иметь показатель термического сопротивления не менее 0,14 (м<sup>2</sup>·°С)/Вт;».* Показатель термического сопротивления СЛПБ **0,622 (м<sup>2</sup>\*К)/Вт.** Это существенно выше требуемых значений.

«- *иметь плотность (объемную массу) не более 300 кг/м<sup>3</sup>;*

Согласно протоколу, средняя **плотность СЛПБ** составляет **0,084 г/см<sup>3</sup>** (рис. 5). Если перевести это значение в единицы измерения, используемые в ГОСТе, то получится **84 кг/м<sup>3</sup>.**

«- *иметь стабильные физико-механические и тепло-технические свойства в пределах срока службы здания или сооружения согласно таблице 1 ГОСТ 27751-2014;»*

**СЛПБ – самонесущий материал**, т.е. он не разрушается под собственным весом, не теряет геометрических размеров со временем. Кроме того, при затвердевании бетона у него сформирована жесткая структура, что не позволяет ему деформироваться со временем.

- *показатель водопоглощения при длительном полном погружении (28 сут) для теплоизоляционных материалов,*

**Протокол испытаний измерения теплопроводности и термического сопротивления строительных материалов**  
по заявке №6/н от 13.02.2014 г.

**Наименование продукции:** образцы из блоков пенобетона  
**Методика испытаний:** ГОСТ 7076-99 «Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме».  
**Дата проведения испытаний:** «17-18» февраля 2014 г.  
**Измеритель теплопроводности:** ИТП-МГУ «100» Свидетельство о калибровке № 426 А 528-13 от 28.10.2013.  
**Положение испытуемых образцов – горизонтальное, влажность материала – естественная.**

№	маркир. образца	размер образца, см	вес образца, г	плотность, г/см <sup>3</sup>	показатель коэф. теплопроводности, Вт/(м*К)	термическое сопротивление, м <sup>2</sup> *К/Вт	материал образца
1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	10,0x10,0x3,0*	22,14	0,081	0,041	0,682	Неавтоклавный пенобетонный
2	2	10,0x10,0x3,0*	26,36	0,100	0,043	0,604	Неавтоклавный пенобетонный
3	3	10,0x10,0x3,0*	20,3	0,081	0,041	0,619	Неавтоклавный пенобетонный
4	4	10,0x10,0x3,0*	19,61	0,082	0,041	0,609	Неавтоклавный пенобетонный
5	5	10,0x10,0x3,0*	18,95	0,080	0,042	0,595	Неавтоклавный пенобетонный
<b>Среднее значение в серии образцов</b>					<b>0,041</b>	<b>0,622</b>	

\*Согласно ГОСТ 7076-99 п.6.2 толщина испытываемого образца должна быть меньше длины ребра нижней грани или диаметра не менее чем в пять раз. Изготовить образцы толщиной 2 см не удалось из-за хрупкости исходных образцов.

Рис. 5. Протокол испытания СЛПБ.

применяемых при теплоизоляции заглубленных, подземных конструкций, цоколей, систем мощения, полов по грунту, полов в помещениях с мокрым режимом эксплуатации, плоских инверсионных кровель с уклоном  $\leq 10\%$  не должен превышать 0,7 % по объему;

Эти требования не обязательны для СЛПБ, поскольку, согласно ГОСТу, данный материал не применим в конструкциях данного типа.

«- обеспечивать выполнение санитарно-эпидемиологических и гигиенических требований, установленных в [1].»

СЛПБ полностью соответствует этим требованиям, так как является экологи-

чески чистым материалом и не выделяет никаких вредных веществ в процессе эксплуатации.

Новый ГОСТ вводит ясность в понятие теплоизоляционных материалов (ТИМ) с указанием четких (жестких) критериев соответствия материалов этим условиям.

Во всех современных домах для круглогодичного проживания присутствует теплоизоляционный контур. И ГОСТ отмечает напрочь понятие конструктивно-теплоизоляционные материалы. Либо теплоизоляционные, либо конструкционные.

Кроме того, из-за требований этого ГОСТа полностью выпадает из теплоизоляционных материалов автоклавный ячеистый газобетон в блоках. Минимальная марка по плотности выпускаемых блоков D300. Применять блоки меньшей плотности в строительстве невозможно из-за их хрупкости. Но даже если по плотности этот материал проходит, то согласно нижеприведенного графика на рис. 6, газобетон не проходит в качестве утеплителя по коэффициенту теплопроводности (около 0,12 Вт/(м\*К)).

Также не подходят под определение ТИМов и неавтоклавные пенобетоны, производимые на существующих установках, так как их минимальная плотность составляет 200 кг/м<sup>3</sup>, а согласно графику их коэффициент теплопроводности выше требуемых гостом 0,07 Вт/(м\*К).

Таким образом, согласно ГОСТ 16381-2022 СЛПБ является неорганическим, ячеистым, негорючим теплоизоляционным материалом с применением в общестроительной области. СЛПБ может использоваться для утепления различных конструкций монолитным способом в съемную или несъемную опалубку, скрытые полости, на открытых поверхностях и т.д. При этом СЛПБ удовлетворяет всем требуемым существенным характеристикам для общестроительных теплоизоляционных материалов, применяемых для ограждающих стеновых конструкций (таблица Б.2 ГОСТ 16381-2022).

*Вторая часть данной статьи о технологии строительства малоэтажных домов и их утеплении с помощью сверхлегкого пенобетона будет опубликована в журнале «Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века» № 5, 2023 г.*

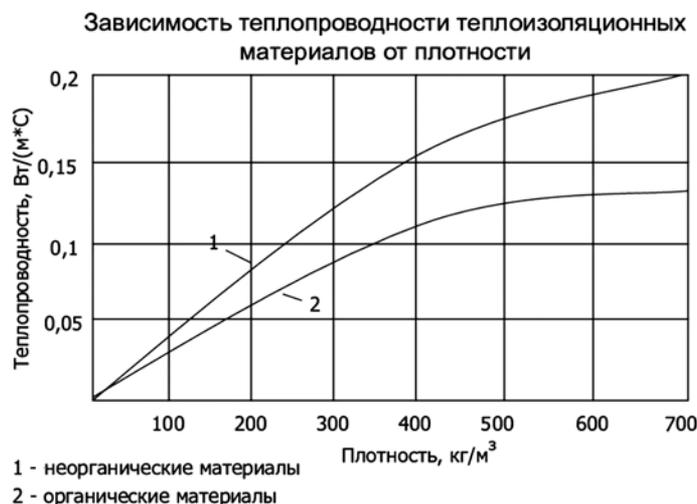


Рис. 6. График зависимости теплоизоляционных материалов от плотности.

# ЗОЛЬ-МОДИФИКАЦИЯ ХИМИЧЕСКИХ ДОБАВОК КОЛЛОИДНЫМИ РАСТВОРАМИ – ТЕХНОЛОГИЯ БУДУЩЕГО

**В.Е. ХОВАНСКИЙ**, генеральный директор ООО «БЕТОХИМИКС ГРУПП»



Статья информирует о новых продуктах серии БЕТОПРЕСС® от российской компании НПО БЕТОХИМИКС® в форме золь-модификаторов, разработанных в 2023 году на основе эфира поликарбоксилата и коллоидных растворов (лиофобных зольей) гидроксида железа и диоксида кремния. В статье есть не только описание свойств данных продуктов с протоколами лабораторных испытаний, но и сами составы новых золь-модификаторов для их свободного применения в технологиях производства бетона или строительной химии в пределах Российской Федерации.

The article informs about new products of the BETOPRESS® series from the Russian company NPO BETOCHEMIKS® in the form of modifier sols developed in 2023 based on polycarboxylate ether and colloidal solutions (lyophobic sols) of iron hydroxide and silicon dioxide. The article contains not only a description of the properties of these products with laboratory test reports, but also the compositions of new sol modifiers for their free use in concrete production technologies or construction chemicals within the Russian Federation.

Стремительный прогресс в строительной отрасли требует от отечественной науки все новых и новых материалов и технологий, и только лишь один цементный бетон не заменим при возведении высотных зданий, ответственных сооружений, плотин, каналов, мостов, метрополитенов, аэродромов и т. д. Заменить его невозможно! Да и надо ли? Поэтому нам только и остается, что избирательно воздействовать на его структуру и свойства с целью изменения их в лучшую сторону, при помощи различных химических модификаторов.

Самые эффективные на сегодня химические модификаторы бетона – это современные гиперпластификаторы на базе поликарбоксилатных эфиров. Следующим за ними поколением инновационных продуктов должны стать золь-модификаторы, которые могут быть созданы как на основе тех же поликарбоксилатов, так и на основе вполне уже устаревших нафталинсульфонатов и лигносульфонатов, дав двум последним новую жизнь.

Золь-модификаторы и зольсодержащие химические добавки, а также модифицированные лиофобными золями супер- и гиперпластификаторы от любого отечественного производителя, способны в прямой зависимости от того или иного золя придать бетонам нового поколения различные положительные свойства. К примеру такие, как гидрофобность, водостойкость, долговечность, стойкость к коррозии в солях, практически нулевое водопоглощение, трещиностойкость, водонепроницаемость под давлением, морозостойкость, улучшенную реологию бетонной смеси, особую поверхностную прочность бетонных изделий и покрытий и даже уникальную возможность бетонировать до -35 градусов мороза.

На сегодня поставлять коллоидные растворы (золи) в промышленных объемах на производства химических добавок как сырье для приготовления золь-модификаторов имеет возможность лишь только одна российская компания – НПО БЕТОХИМИКС® Республика Крым, г. Симферополь [1, с. 33-38]. Вся ее продукция с 2012 года создавалась исключительно собственными силами и без какой-либо помощи извне, что дает ей определенную независимость. Компания, несмотря на полное отсутствие положенных ей государственных грантов и иной финансовой поддержки, смогла самостоятельно разработать как очень сложные рецептуры,

так и прогрессивные технологии производства свыше двух десятков химических продуктов и к ним целую линейку достаточно простых составов поликарбоксилатных золь-модификаторов. Сами составы, не являясь предметом для продажи, при приобретении определенного объема лиофобных зольей, предоставляются безвозмездно.

Практически вся производимая компанией продукция, как результат особого и нестандартного подхода к ее проектированию и синтезу, не имеет себе аналогов. Это не импортозамещение, а совершенно новые материалы и технологии, каких нет и на западе, и которые способны избирательно влиять на физико-химические процессы, проходящие в нанометровом диапазоне в цементном камне. Так, в 2023 году три новых продукта из серии БЕТОПРЕСС® были взяты в работу для подготовки диссертации на соискание научной степени кандидата наук, в которой будут исследованы и установлены закономерности влияния коллоидных растворов в форме готовых золь-модификаторов на цементный бетон. Данные исследования будут проведены не только с использованием продуктов, полученных в лабораторных условиях. Впервые опытным путем будет доказана реальная возможность получения золь-модификаторов в промышленных объемах и практически с неограниченными сроками хранения, чего до этого еще ни разу не случалось. Для российской науки – это огромное поле деятельности как для изучения свойств самих зольей, так и для создания на их основе новых материалов в виде золь-модификаторов на любой основе и, соответственно, абсолютно новых под это технологий.

В предыдущей нашей статье было вполне доступно доведено, что прочность тяжелого бетона на сжатие не зависит от количества в нем цемента, а зависит только от его плотности – объемного веса [2, с. 48-53]. Следует обратить внимание на то, что варианты подходов к получению литых и жестких бетонных смесей различны и имеют два типа добавок: один обладает свойством редукции воды за счет химического разжижения бетонной смеси, другой – обильным в нее воздухововлечением. Прочность бетона из подвижных смесей изначально зависит от количества воды затворения и, конечно же, воздуха, а бетона из жестких смесей, уплотненных способом вибропрессования – только от коэффициента его уплотнения.

Благодаря инновационным разработкам компании появился третий способ повышения прочности тяжелого бетона – это химическая активация зольсодержащими модификаторами процессов гидратации и твердения вяжущего вещества. Модификатор через золь-гель метод химическим способом равномерно осаждает по всему телу бетона коллоидные частицы гидроксида железа или диоксида кремния – будущие центры кристаллизации. Из центров продуктами гидратации цемента формируется матрица в виде трехмерной сетки из цепочных полимеров и кристаллогидратов особой формы, в результате чего прочность цементного камня растет независимо от значения В/Ц.

Таким образом, некоторые наши продукты при одинаковом расходе воды, вяжущего вещества и плотности бетона способны химическим способом увеличить его прочность на сжатие на 35-40% к контрольному бездобавочному образцу.

Из результатов испытаний образцов бетона с зольсодержащим модификатором БЕТОПРЕСС® СП-3Н, разработанного в

2014 году на основе ЛСТ от ОАО «Выборгская Целлюлоза» (протокол испытаний от 10.09.2018 г. № СТ0856-0857-4), видно, что явно нарушается закон водоцементного отношения реальным повышением прочности мелкозернистого бетона на сжатие на 35,5% к контрольному при абсолютно одинаковых составах и значениях В/Ц=0,5.

Проведенные аккредитованной лабораторией испытания показали, что даже такой малоэффективный разжижитель бетона, как лигносульфонат, полученный из отходов целлюлозно-бумажного производства, находясь в составе модификатора, содержащего лиофобный золь, способен нарушить закон водоцементного отношения. Который гласит: «прочность бетона  $R_b$ , приготовленного на одних и тех же материалах, не зависит от его состава (1 : x : y) и, следовательно, от расхода цемента, а определяется водоцементным отношением В/Ц». Следует уточнить, что речь идет о прочности подвижного бетона, так как прочность жесткого вибропрессованного определяется вовсе не В/Ц, а коэффициентом его уплотнения –  $K_u$ .

Стр. 2 из 2

**Протокол испытаний № СТ0856-0857-4 от 10.09.2018 г. (продолжение)**

**Результаты лабораторных испытаний**

Дата начала испытаний: 10.09.2018 г.

Дата окончания испытаний: 10.09.2018 г.

**Значения влияющих факторов:**

Температура, °С:	24,4	Влажность, %:	73	Давление, кПа:	98,9
------------------	------	---------------	----	----------------	------

**Физико-механические характеристики бетонных образцов-кернов**

№№ п.п.	№ лаб.	Наименование материала. Обозначение образцов	Дата		Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Предел прочности при сжатии МПа		Фактический класс бетона ГОСТ 18105-2010 п.7 Вф=0,8Rm Rm-средняя прочность
			Изготовление	Испытания		отдельного образца	Средний серии образцов	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.1	856	1:3,5 Баздобавочные В/Ц 0,5	10.08.2018	10.09.2018	2244	31,7	33,4	26,7МПа В25
1.2		Контрольные образцы	10.08.2018	10.09.2018	2259	35,1		
2.1	857	1:3,5 Добавка СП-3Н 1,2%	10.08.2018	10.09.2018	2311	46,0	45,3	36,2МПа В35
2.2		В/Ц 0,5	10.08.2018	10.09.2018	2311	44,5		

Примечание: Повышение прочности образцов с добавкой к контрольным, при одинаковом В/Ц=0,5, составляет 35,6%

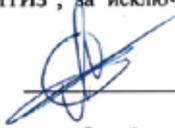
**Конец протокола**

Результаты испытаний относятся только к данным пробам, прошедшим испытания.

Протокол испытаний не может быть частично воспроизведен без письменного разрешения Строительной лаборатории ООО "Институт "КРЫМГИИНИТИЗ", за исключением воспроизведения в полном объеме.

Заведующий подразделением ОЗиС ИСИИ

Ответственный исполнитель:  
Инженер лаборатории


А.М. Соловей

А.В. Баланович

Таким образом, модификация готовых химических добавок микродозами коллоидных растворов – это технология будущего. Она позволит не только улучшить свойства давно известных, и по сей день востребованных модификаторов, но и предоставит уникальную возможность российским производителям строительной химии и цементных бетонов выйти на иной, более качественный уровень. На сегодня появилась возможность многое изменить в лучшую сторону, благодаря новейшим технологиям и продуктам от инновационной компании НПО БЕТОХИМИКС®. Подобных продуктов еще недавно не было в России и нет на западе. Например, технический лигносульфонат, который представляет собой химическое сырье, одним лишь вводом микродозы лиофобного золя можно перевести в товарный продукт полностью готовый к применению. Останется только дать ему название и наладить производство, а рекомендации мы предоставим.

Следует отметить, что в России создалась довольно сложная экологическая ситуация из-за огромного скопления отходов деятельности целлюлозно-бумажных комбинатов. Эти отходы, переработав в технический лигносульфонат, который сразу же после последующей модификации отечественными зольми можно будет поставлять как эксклюзивные и экологически чистые продукты, например, в Китай. В данном вопросе потребуются усилия российской науки для решения проблемы по переработке выше обозначенных отходов в востребованный в будущем зольсодержащий лигносульфонат [3].

Как и было ранее анонсировано, предлагаем специально разработанный нами простой состав золь-модификатора на базе поликарбоксилатного эфира марки SINTEFLOW® Мега 50 (0,4 кг), коллоидного раствора марки ВЕТОPRESS® Флюкс-1ГФ (0,025 кг) и пеногасителя триизобутилфосфата (0,2 мл) плюс водопроводная вода до объема 1 литр. Следует отметить, что Мега 50 от ООО «Синтез Ока-Строительная химия» в жидкой форме представляет собой стабильное сырье незаменимое в производстве качественных гиперпластификаторов, которое, в свою очередь, в чистом виде не может выступать готовым продуктом для применения в бетоне как, впрочем, и сам коллоидный раствор. В данном случае в создании новейшего золь-гиперпластификатора в роли наномодификатора использо-

вался лиофобный кремнезоль Флюкс-1ГФ, который являясь реакционноспособным веществом, практически мгновенно образует вместе с поликарбоксилатом и триизобутилфосфатом не комплекс, а единый продукт одной формулы.

В результате этих довольно несложных действий был получен весьма эксклюзивный состав, полностью готовый к промышленному применению, с дозировкой в границах 0,6-1,2% по весу жидкой формы к массе цемента и с «идеальной» реологией самоуплотняющейся бетонной смеси. Получаемый бетон по своим физико-механическим свойствам соответствует гидротехническому и обладает практически нулевым водопоглощением, при этом не требует для этого специальной защиты.

Публикуем два протокола лабораторных испытаний данного продукта в бетонных образцах. Первый – с результатом повышения прочности на сжатие более чем на 50% к контрольному без добавочному составу, второй – с результатами испытаний на водонепроницаемость W 16 и на водопоглощение по массе, которое составляет не выше 0,87%. Результаты испытаний на водопоглощение свидетельствует, что вода глубже поверхностного слоя в бетон не проникла. Во втором протоколе нет результатов сравнительных испытаний по причине отсутствия на российском рынке аналогов, имеется ввиду подобных химических модификаторов, а не минеральных добавок типа Пенетрон Адмикс [4, с. 55-59] или Д-5 [5, с. 41-44]. Расходы поликарбоксилатного эфира Мега 50 и кремнезоля Флюкс-1ГФ указаны по сухому веществу.

Предлагаем всем желающим приобрести пробник и испытать его на своем производстве. В таком ключе, не меняя состав, а меняя лишь только сами золи можно будет произвести еще четыре продукта на Мега 50, но с другими свойствами и предназначением. Также можем предложить на основе Флюкс-1ГФ иной, более сложный состав для ПМД в виде противоморозного зольсодержащего гиперпластификатора с максимальным расходом 1,7% к цементу. Новый состав для холодного бетона, до -35 градусов мороза, придаст ему дополнительно гидрофобные и водостойкие свойства и исключит фильтрацию воды.

Сразу предупреждаем, что наша компания работает только с юридическими лицами.

Температура, °С:	24,0	Влажность, %:	83,0	Давление, кПа:	97,9
------------------	------	---------------	------	----------------	------

## Физико-механические характеристики бетонных образцов

Лабораторный №	Дата изготовления (исполнителя Заказчиком)	Дата испытания	Применяемые добавки	Размеры, см (ГОСТ Р 58939-2020)			Средняя плотность, г/см³ (ГОСТ 12730.0-2020)	Масштабный коэффициент	Прочность на сжатие с учетом масштабного коэффициента, МПа	Среднее значение прочности на сжатие, МПа	Фактический класс бетона по прочности по ГОСТ 18105-2010 (класс В)
				a	b	h					
552	29.06.2023	28.07.2023	контрольные	10,10	10,06	10,06	2241	0,95	40,09	41,38	Вф=33,10
				10,09	10,11	10,05	2238		42,68		
553	29.06.2023	28.07.2023	Кремнезем Флорес-ПФ 0,085% + ПК МЕГА 50 0,2%	10,08	10,10	10,07	2365	0,95	64,66	63,69	Вф=50,95
				10,08	10,09	10,08	2350		62,73		
554	29.06.2023	28.07.2023	ПК МЕГА 50 0,2%	10,08	10,06	10,04	2333	0,95	60,79	59,08	Вф=47,26
				10,08	10,07	10,07	2335		57,38		

## Конец протокола

Результаты испытаний относятся только к данным пробам, прошедшим испытания.

Протокол испытаний не может быть частично воспроизведен без письменного разрешения Строительной лаборатории ООО «Институт «КРЫМГИНИТИЗ», за исключением воспроизведения в полном объеме.

Ответственные исполнители:  
Инженер лаборатории  
Лаборант

  
Ю.В. Гаврикова  
Ю.И. Шушпанников

Строительная лаборатория ООО «БЭТТА»  
СИСТЕМА ДОБРОВОЛЬНОЙ СЕРТИФИКАЦИИ СДС «СИЛ-МТ»  
Орган по сертификации ООО «Волгоградский ЦОСМ»

Сертификат соответствия выполняемых работ (услуг),  
по измерениям и испытаниям продукции  
№ 00329 с «13» августа 2021г.

## ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЯ № 32 В

## БЕТОНА НА ВОДОНЕПРОНИЦАЕМОСТЬ, ВОДОПОГЛОЩЕНИЕ.

- Наименование продукции, ее характеристика, обозначение:**  
Кубы -образцы 100\*100 мм из смеси бетонной БСТ В40 ПЗ W 16
- Место отбора образцов:** завод изготовитель ООО «ВолКлинСервис».
- Цель испытаний:** определение водонепроницаемости, водопоглощения
- Нормативная документация, используемая при испытании:**  
ГОСТ 12730.5 «Бетоны. Методы определения водонепроницаемости»
- Применяемые СИ и ИО:** ВВ-2 № б/н.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ

Маркировка образцов	Дата изготовления	Проектная марка бетона на водонепроницаемость	Дата испытания	Возраст образцов, суток	Диапазон t, сек
32В/1	17.03.2023	W 16	14.04.2023	29	580
32В/2	17.03.2023	W 16	14.04.2023	29	588
32 В/3	17.03.2023	W 16	14.04.2023	29	592
32В/4	17.03.2023	W 16	14.04.2023	29	598
32В/5	17.03.2023	W 16	14.04.2023	29	600
32В/6	17.03.2023	W 16	14.04.2023	29	604

Испытания проведены на основе экспресс-метода оценки его воздухопроницаемости по ГОСТ 127730. Экспресс-метод определения водонепроницаемости бетона основан на наличии установленной статистической зависимости между воздухопроницаемостью поверхностных слоев бетона и его водонепроницаемостью, определенной по методу «мокрое пятно».

В качестве параметра, характеризующего водонепроницаемость, используется значение времени (t), за которое давление в камере устройства падает на определенную величину.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ:  $t_{0.2} = (592+598):2 = 595$  с, что соответствует марке бетона по водонепроницаемости W 16

## Результаты испытаний на водопоглощение.

Маркировка образцов	Дата изготовления	Дата начала испытания	Масса высушенного образца	Масса высушенного образца, средняя	Дата окончания испытаний	Масса сухого образца	Масса сухого образца, средняя	Водопоглощение по массе, W, % масс.
32В/1	17.03.2023	14.04.2023	2270		17.04.2023	2290		W 0,87
32В/2	17.03.2023	14.04.2023	2280	2275	17.04.2023	2300	2295	W 0,87
32 В/3	17.03.2023	14.04.2023	2275		17.04.2023	2295		W 0,87

ЗАКЛЮЧЕНИЕ:  $W_a = 2295 - 2275 \cdot 100 = 0,87$  - водопоглощение бетона по массе.  
2295

Начальник строительной лаборатории ООО «Бэтта»



Дмитрачкова В.П.

В завершении статьи информируем, что все разработанные компанией составы золь-модификаторов и готовые зольсодержащие продукты, обладающие уникальной способностью образовывать в цементном камне пространственные трехмерные сетки в виде различных матриц, представляют собой самодостаточные материалы категории «нано». Они полностью готовы к применению в цементном бетоне и не нуждаются в дополнении каких-то иных веществ или компонентов.

В тоже время данное обстоятельство совсем не мешает использовать индивидуально коллоидные растворы (лиофобные золи), как инновационное сырье в простых и сложных продуктах, включая прямое их введение в уже существующие химические модификаторы. Такое весьма нестандартное применение отечественных реакционноспособных золь от компании НПО БЕТОХИМИКС®, на сегодня их уже пять, по своей новизне, без всякого сомнения, представляет собой технологию будущего, которая реально обгоняет западные технологии и, возможно, даже на целые десятилетия.

*P.S. В связи с тем, что для коллоидных растворов в виде лиофобных золь не существует ГОСТов, то для определения их эффективности в бетоне следует обращаться в ООО «НПО БЕТОХИМИКС®» за рекомендациями.*

## Библиографический список

- В.Е. Хованский Лиофобные золи БЕТОПРЕСС® для производства химических модификаторов четвертого поколения, высокопрочных цементных бетонов и строительных растворов. Журнал Технология бетонов, №3, 2023 / Сухие строительные смеси. Издательство Комполит XXI век.
- В.Е. Хованский Прочность тяжёлого бетона не зависит от количества цемента. Журнал Технология бетонов, №4, 2023 / Сухие строительные смеси. Издательство Комполит XXI век.
- Тринкер Б.Д. Способ приготовления пластиента для бетонов, №87043, описание изобретения к авторскому свидетельству. – Москва, 24 декабря 1948 г.
- Балакин Д.В., Ермолаев Д.А., Исаков П.Ю., Карнет Ю.Н. Использование гидроизоляционной добавки «Пенетрон Адмикс» для исключения внешней гидроизоляции подземных железобетонных конструкций. // Промышленное и гражданское строительство. 2017. № 2. С. 55-59.
- Базов О.К. Универсальная добавка «Д-5» для бетонов нового поколения. Вестник Владикавказского научного центра. № 3, 2006 г.

Генеральный директор  
ООО «БЕТОХИМИКС ГРУПП»  
Владимир Евгеньевич Хованский  
<https://betopress.ru>  
+79782847455 Волна.  
[info@betohimiks.ru](mailto:info@betohimiks.ru)

# В РОССИИ ПОНЯЛИ, КАК БЫСТРО СОЗДАВАТЬ СВЕРХПРОЧНЫЙ БЕТОН



Создавать стойкие к агрессивным воздействиям бетоны для строительства в любых погодноклиматических условиях позволит модель машинного обучения, подбирающая компоненты бетонной смеси, считают ученые Сибирского федерального университета. По их словам, с помощью разработки университета можно производить более долговечные стройматериалы для использования в зонах экстремальных температур. Результаты исследования были опубликованы в Journal of Building Engineering.

A machine learning model that selects the components of a concrete mixture will allow creating concrete resistant to aggressive influences for construction in any weather and climatic conditions, scientists at the Siberian Federal University believe. According to them, with the help of the development of the university, it is possible to produce more durable building materials for use in areas of extreme temperatures. The results of the study were published in the Journal of Building Engineering.

Для постройки жилых домов и промышленных объектов в регионах с чрезвычайно низкими температурами или в агрессивных условиях эксплуатации, например, на засоленных грунтах и при значительных температурных перепадах необходим особый бетон. Он должен обладать высокой прочностью и устойчивостью к возможным климатическим аномалиям.

Для улучшения свойств бетона используются различные дополнительные компоненты. Для построения модели машинного обучения, которая определяет наиболее важные правила и рецепты лучших образцов, было использовано более 40 составов бетонной смеси с разными заполнителями из 5 различных месторождений с разным качеством, видами и составами.

Вместе с тем добавки включают более 10 различных видов минеральных и химических компонентов. Эта модель смогла учесть все это и выделить основные компоненты, которые влияют на стойкость и долговечность бетона. Это особенно актуально для труднодоступных и отдаленных регионов, включая северные территории, где высококачественные материалы обычно отсутствуют, но все же применяются в современной промышленности, отмечают в Сибирском федеральном университете.

Специалисты подчеркивают, что важно строить одинаково качественные строения на всей территории России. Однако метод проб и ошибок не может гарантировать достижение нужного качества везде.

Ученые СФУ предложили решение этой проблемы – использование созданной ими модели подбора оптимального состава бетонных смесей для строительных работ в условиях Крайнего Севера и других регионов с экстремальными погодными условиями.

В процессе моделирования подбирается наилучшее сочетание, проводится анализ данных в выбранных областях и выводятся полезные рекомендации, включая «рецепты» бетонов с требуемыми свойствами. Такая модель – ценный помощник для материаловедов, так как она учитывает все факторы, чего нельзя требовать от человека в силу ограничений по опыту и имеющемуся времени.

Модель работает на базе машинного обучения, разновидности искусственного интеллекта, которая совершенствуется за счет решения поставленных задач с помощью сравнения и анализа множества возможных вариантов. То есть она подбирает наилучшее сочетание компонентов, учитывая их наличие и доступность в регионах.

Также одним из основных преимуществ разработки является точное прогнозирование свойств предложенных ею составов и их приспособленности к конкретным погодным-климатическим условиям. Основными критериями будут морозостойкость и высокая прочность.

Университетские ученые утверждают, что программа позволила найти подход, позволяющий устранить проблемы с низким качеством заполнителей, оптимизировать состав смеси, а также показала факторы, связанные с химическими и физическими процессами в бетоне, которые с высокой долей вероятности определяют, насколько этот состав будет морозоустойчивым и применимым, например, в Норильске, или для строительства на засоленных грунтах, взлетно-посадочной полосы аэродромов или любых других объектов в конкретных условиях.

Искусственный интеллект оценил вклад всех параметров в оптимизацию состава. В частности, считалось, что «лишний» воздух однозначно уменьшает прочность бетона, но, согласно расчетам модели, в определенных пределах он повышает стойкость материала без снижения прочности. И этот вывод уже подтвердился проверкой на практике.

Также с помощью методов машинного обучения исследователи планируют разработать конкурентоспособный бесцементный бетон. Его основное преимущество в уменьшении выбросов углекислого газа при производстве. Кроме того, согласно планам ученых, в нем будут использоваться активированные промышленные отходы – зола и нефелиновый шлам, что сделает производство выгодным.

Работы по созданию подобного материала уже ведутся специалистами СФУ.

По материалам сайта: <https://ria.ru/20230713/nauka-1883796242.html>

# ЦЕНТРИФУГИРОВАННЫЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОН

Л.И. КОРОТКОВ, ЗАО «СТРОЙМОСТМОНТАЖ»



Кессонная болезнь – это довольно распространенное профессиональное заболевание мостостроителей, соорудивших фундаменты опор мостов глубокого заложения. Однако с середины 50-х годов, благодаря разработкам советских мостовиков в КНР во главе с К.С. Силиным [1], это заболевание стало редко встречаться, только у водолазов и моряков-подводников. В том числе, о том, как этого удалось достигнуть и роли центрифугированного железобетона – в данной статье.

Caisson disease is a fairly common occupational disease of bridge builders who built the foundations of deep bridge supports. However, since the mid-50s, thanks to the development of Soviet bridge builders in the PRC, headed by K.S. Silin [1], this disease has become rare, only in divers and submariners. Including how this was achieved and the role of centrifuged reinforced concrete – in this article.

Возникновение этой болезни образно представил мичман из кинофильма «72 метра», когда рассказывал, как необходимо подниматься из лодки на поверхность — по узлам каната — медленно, медленно как беременная каракатица, а иначе кессонка! Следовательно — необходимо постепенно изменять давление, действующее на человека.

Фундаменты глубокого заложения начала-середины 20 века представляли собой опускаемые колодцы — бетонные массивные бездонные ящики, которые погружались под действием собственного веса, преодолевая силы трения по наружной поверхности колодца. Из колодца грунт удалялся. Нижняя кромка колодца срезалась, образуя нож. На некоторой глубине погружения возникает возможность прорыва обводненного грунта внутрь колодца, и поэтому внизу устраивают крышку, под которой создается зона повышенного давления воздуха. При этом при недостаточной величине давления воздуха грунт с водой мог прорваться в колодец, а при чрезмерной вырваться наружу. Следовательно, эта работа требовала постоянного контроля специалистов очень высокого уровня.

Для рабочих, которые должны удалять грунт в рабочей зоне в специальных камерах (декомпрессионных), постепенно изменяют давление до уровня этой зоны. С увеличением глубины погружения кес-

сона необходимо повышать давление в рабочей зоне. В предельном состоянии в этих камерах рабочие находились до 4-х часов, работали 1,5 часа, а затем снова в течение 4-х часов снижалось давление воздуха до нормального. Как видно, эти работы были очень трудоемкие, долговременные, очень опасные и затратные.

С 40-х годов прошлого века в отечественном мостостроении вместо кессонных фундаментов началось применение свайных фундаментов глубокого заложения с использованием металлических труб, заполненных бетоном. При этом применение металлических труб в качестве длинных свай требовало значительного расхода металла и защиты от коррозии. В это время строители проводили строжайшую экономию металла, а также и не было эффективного способа защиты от коррозии кроме покраски. Поэтому изыскивали возможности применения железобетона для фундаментов глубокого заложения. В послевоенный период было построено несколько мостов на фундаментах из железобетонных свай-оболочек диаметром 80-90 см, которые погружали на глубину до 10-15 м.

Однако основной вклад в создание и широкого практического освоения индустриальных конструкций из железобетонных оболочек был сделан советскими мостовиками под руководством К.С. Силина во время строительства ряда больших мостов (в том числе и уникальных) в Китайской Народной Республике в 50-е годы прошлого века. [1, 2]. Эта работа была отмечена Ленинской премией, а ее результаты были впервые опубликованы в книге [1].

Свайные фундаменты состояли из свай-оболочек, которые соединяли болтами на металлических фланцах и погружали с помощью вибропогружателей.

Свайные ростверки из сборных железобетонных центрифугированных свай с монтажными фланцево-болтовыми стыками сразу нашли широчайшее распространение в мостостроении, гидротехническом, промышленном и портовом строительстве. Так, всего лишь один завод в первой половине 50-х годов изготовил около 250 тыс. погонных метров сборных железобетонных свай, каждая была длиной до 60 метров.

Сборные железобетонные опускаемые колодцы принудительного погружения состоят из тонкостенных оболочек и отдельных монтажных секций с монтажными флан-

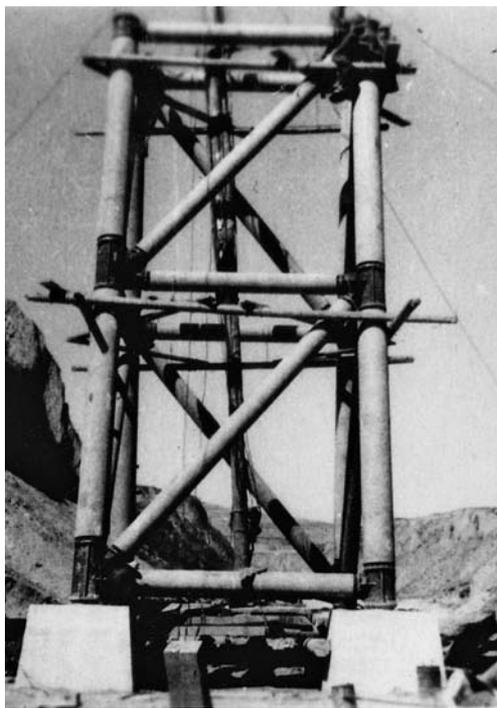


Рис. 1. Опора из железобетонных труб

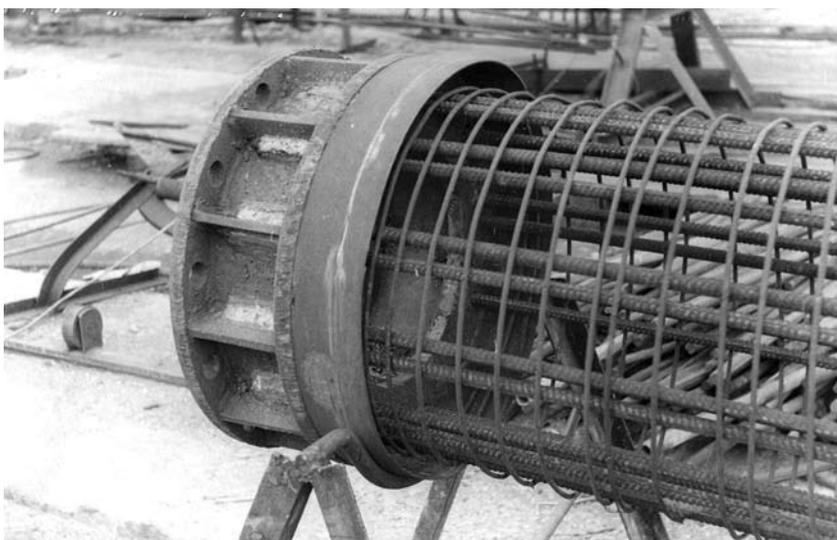


Рис. 2. Фланец и армирование оболочки



Рис. 3. Две панели фермы на Экспериментальном заводе ЦНИИС

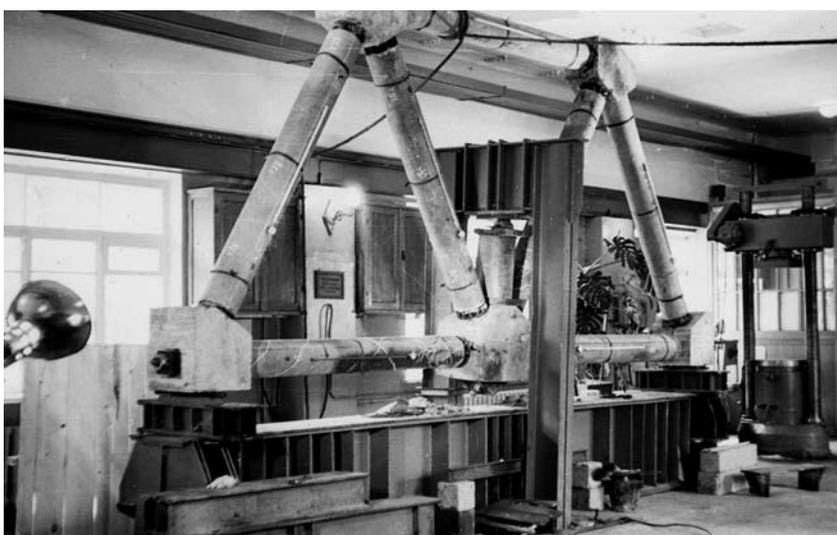


Рис. 4. Плоская модель из железобетонных труб

цево-болтовыми стыками и погружаются с помощью мощных вибропогружателей на глубину 30-40 метров.

Самым известным сооружением с фундаментами большого диаметра является мост

через Волгу в г. Саратове. В дальнейшем в строительной практике Союза остались оболочки диаметром 60 см и 1,6 м.

Изготовление сборных центрифугированных свай диаметром 40,3 и 55 см длиной до 15 м было освоено на одном из заводов в КНР еще в 1951 г.

Секции свай имеют по концам металлические фланцы с отверстиями для болтов. Для обеспечения необходимого положения металлических фланцев относительно продольной оси сваи сварку продольной арматуры выполняют в специальном кондукторе. Изготовление центрифугированных свай производят на специальных станках-центрифугах в разъемных опалубочных формах с продольными стыками.

Армокаркас [2] устанавливают в нижнюю половину металлической форм и ее заполняют бетоном, затем накладывают верхнюю половину формы, закрепляют стык болтами и краном форму устанавливают на ролики центрифуги. В металлическую форму можно уложить ограниченный объем бетонной смеси, что ограничивало максимальную толщину стенки оболочки от 10 до 12 см. Пропаривание бетона проводили в две стадии.

Первая – в форме с установкой по торцам деревянных заглушек с подачей пара по трубам с постепенным повышением температурой до +80°C.

Вторая стадия – форма снимается, и готовая секция сваи устанавливается в пропарочную камеру с температурой пара 70-80°C.

В КНР использовали бетон марки 250-350 при цементе М400, реке М500. В/Ц – 0,60-0,65, ОК – 7-9 см, при расходе цемента 330 кг/м<sup>2</sup>. Заполнитель крупностью от 0,5 до 2 см.

Благодаря центрифугированию бетон получает повышенную прочность – в среднем на 35-40% выше прочности обычного вибрированного бетона. Это происходит из-за отжатия воды в процессе центрифугирования и соответственно значительного уменьшения водоцементного отношения.

Многочисленные статические испытания указывают на высокую несущую способность центрифугированных свай. Результаты свидетельствуют о том, что несущая способность висячих свай диаметром 55 см составляет 220-300 т и всегда определяется сопротивлением по грунту. Установлена высокая сопротивляемость центрифугированных

свай ударным нагрузкам. Так, при забивке большого количества глубоких свай тяжелыми молотами не наблюдалось каких-либо повреждений свай. При строительстве моста через р. Янцзы проводились научно-экспериментальные исследования для определения несущей способности центрифугированных свай по материалу.

Решались две основные задачи:

- изучение прочности полых и заполненных свай в зависимости от качества бетона и их конструкции – т.е. прочность по материалу;
- изучение несущей способности свай с камуфлетным уширением их в основании при различных грунтах.

Исследование прочности свай по материалу производили на секциях свай диаметром 55 см и длиной 6 и 8 м из бетона марки 300-350. Образцы испытывали сжимающей нагрузкой на стенде при помощи двух 500-тонных гидравлических домкратов. Выполняли сравнительные испытания полых образцов, а так же заполнением полости бетоном – с обычной его укладкой (насухо) и с укладкой способом подводного бетонирования (по методу ВПТ).

Разрушение образцов из бетона марки 350 наступило при нагрузке 430-570 тонн. Относительная продольная деформация составляла 1,2-1,5 мм/пог. м. Кроме того, нагрузка, при которой резко возрастают деформации, составляет 70-85% от разрушающей нагрузки. Напряжения в продольной арматуре достигали, а в спиральной около 500 кг/см<sup>2</sup>.

Получившие признание строителей центрифугированные сваи стали широко использовать не только в фундаментах, но в качестве опор особенно в путепроводах и опорах эстакадной части больших мостов.

Успешное применение свай-оболочек в опорах мостов открыло широкие возможности их использования в различных инженерных конструкциях. Этому посвящена последняя глава книги [1], в которой приведены оригинальные варианты применения оболочек. Так, еще в Китае были популярны сборные сквозные опоры мостов довольно большой высоты (рис. 1). В начале 60-х годов прошлого века они послужили прототипами сквозных железобетонных пролетных строений. Сначала железнодорожных, а затем и автодорожных мостов. Пролеты составляли 55 и 66 метров (см. приведенные ниже фотографии).

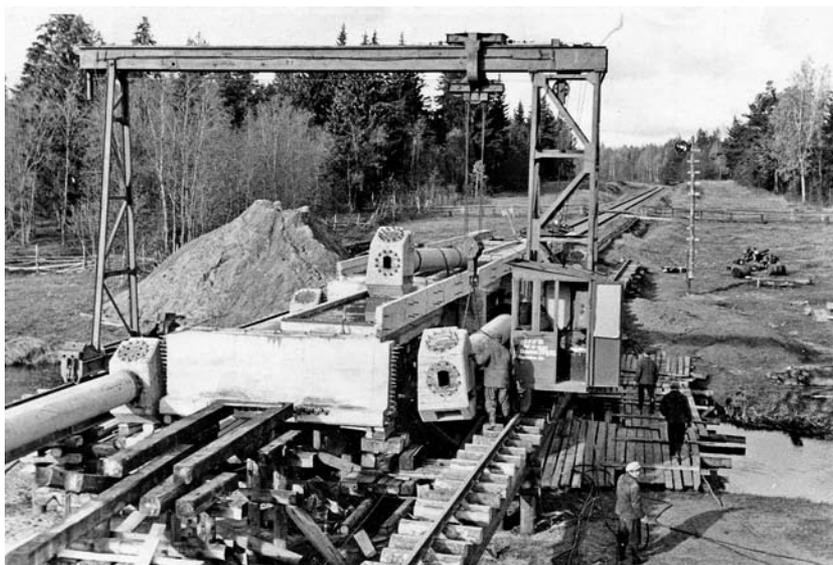


Рис. 5. Монтаж нижнего пояса и проезжей части железобетонной фермы



Рис. 6. Монтаж решетки фермы



Рис. 7. Испытание железнодорожной фермы

После Всесоюзного конкурса сквозных железобетонных пролетных строений железнодорожных мостов ряд исследовательских и проектных организаций приступил к разработкам таких конструкций. А в 1962 г. в плане исследовательских работ

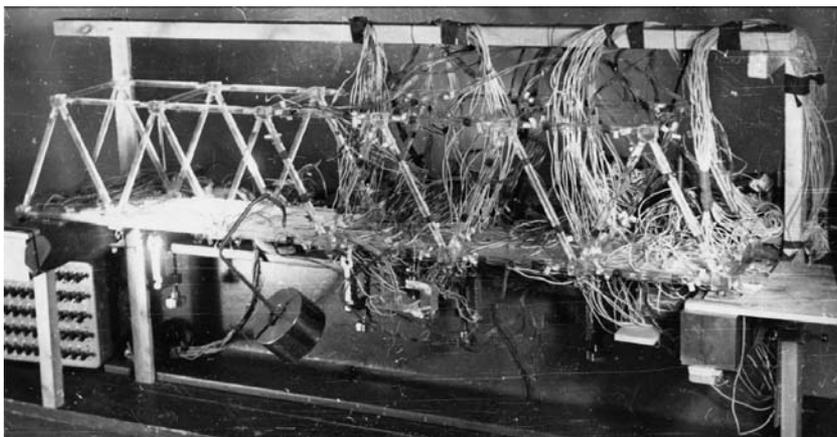


Рис. 8. Модель автодорожной фермы из оргстекла

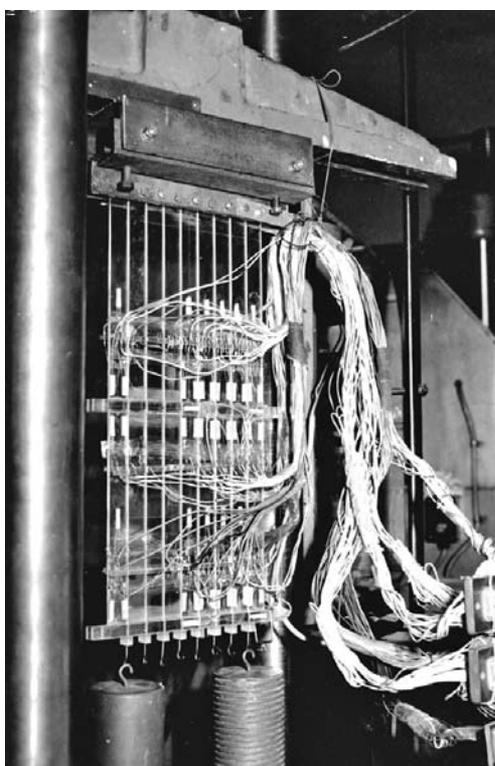


Рис. 9. Определение распределения напряжений по ширине плиты на модели из оргстекла

ЦНИИСа Минтрансстроя СССР появилась тема исследований и разработки железобетонных ферм. В это время К.С. Силин уже возглавлял отделение ИС (искусственных сооружений) ЦНИИСа. За время его руководства подразделение достигло расцвета за счет привлечения самых известных и проверенных специалистов и подготовки молодых кадров высочайшего уровня. Для СКБ ЦНИИСа силами Экспериментального завода ЦНИИСа были изготовлены и собраны две панели пролетного строения.

По результатам исследований в 1965 году Гипротрансмост разработал проект опытного пролетного строения. Пролет составлял 55 метров. Главные фермы состоят из центрифуги-

рованных труб диаметром 60 см из бетона М500. В расчете прочность бетона принималась М600. Для труб сжатых элементов и распорок использовали обычный не напрягаемый бетон и арматурную сталь класса А-II марки ВСт5. Растянутые элементы подвергали двухстадийному предварительному напряжению. Первая стадия – на восприятие части постоянной нагрузки, вторая – на вторую часть постоянной (после снятия фермы с временных опор) и временную нагрузки. В качестве напрягаемой арматуры использовали стержни из высокопрочной стали класса А-IV марки 20ХГ2Ц, напрягаемую пакетным способом с передачей усилия натяжения на форму центрифуги.

Фермы пролетного строения выполнены силами ЦНИИСа – Экспериментальным заводом – из оболочек, изготовленных лабораторией заводской технологии бетона отделения Строительных материалов, а балки (продольные и поперечные) Бескудниковским заводом МЖБК (сейчас завод «Мокон») Мостотреста. Изготовление всех конструкций пролетного строения выполнено под руководством и при участии исполнителей исследований. Автор, по распределению направленный в ЦНИИС, а затем в группу Полякова И.Д., обеспечивал изготовление балок проезжей части, а затем постоянно находился на стройплощадке, принимал участие в первых испытаниях моста в 1966 г. и повторных – в 1967 г. Проводил долговременные наблюдения за пролетным строением (последний осмотр был выполнен в конце 1997 году прошлого века). Все обследования и осмотры показали отличное состояние пролетного строения.

Пролетное строение было установлено на мосту через р. Середница на подъездной ветке от станции Малышево Октябрьской железной дороги.

Все время строительства разработчики темы не только выполняли научно-техническое сопровождение, а фактически руководили всеми монтажными работами и выполняли часть работ вместе с рабочими. Во время монтажа фермы представитель Днепропетровской НИЛ Оргтрансстроя замерял трудоемкость монтажных работ и выполнял киносъемку работ. Свою киносъемку проводил и сотрудник только образованной киностудии ЦНИИС.

Трудозатраты монтажа пролетного оказались на порядок ниже сборки металлического пролетного строения на временных

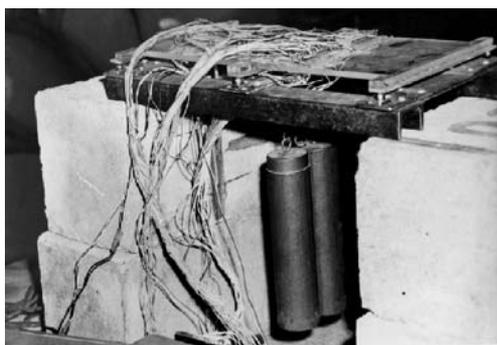


Рис. 10. Испытание поперечной балки на модели из оргстекла

опорах. Поэтому, чтобы не «пугать» читателей пришлось существенно снизить такую разницу [4]. Изготовление металлических конструкций производится на заводах со сложным оборудованием и специалистами высокой квалификации, а железобетонные фермы делали на обычных заводах МЖБК или полигоне мостоотряда специалистами без специальной подготовки и без сложного специального оборудования (кроме центрифуги, которые в то время имелись на многих предприятиях). Монтажные работы также были очень простыми и не требовали особой подготовки исполнителей. Так, монтаж ферм на автодорожном мосту через реку Ток в 1973 г. выполнен без участия представителей ЦНИИСа.

Испытание моста выполнено легендарной Лабораторией испытаний мостов ЦНИИСа (основана в 1918 году согласно документу, подписанного В.И. Лениным, который хранился в рамке в одном из вагонов-лаборатории, которые были выделены из бывшего царского поезда) и его снимала киногруппа Союзнаучфильма.

Дальнейшее развитие пролетные строения из центрифугированного железобетона получило в мостах под автодорожную нагрузку пролетом 66 метров. Основные размеры автодорожных ферм были унифицированы с железнодорожными. Практически они отличались только проезжей частью. Это позволяет использовать единую технологию заводского изготовления и оснастку, а также методы монтажа [5].

Пространственная работа автодорожного пролетного строения была изучена на модели из оргстекла, изготовленной в масштабе 1:50 (см. рис.) и пространственными расчетами на ЭВМ БЭСМ-4. Для подготовки исходных данных к программе была разработана методика расчета, учитывающая специфику конструкции пролетного строения. Совместная работа неразрезной плитной

проезжей части выполнена введением эффективной ширины плиты, учитывающей неравномерное распределение напряжений по ее ширине. Было получено очень близкое совпадение расчетных экспериментальных результатов исследований.

Особенности работы плит на растяжение и поперечной балки на изгиб изучены на плоских моделях из оргстекла (рис. 8 и рис. 9.) в составе аспирантской работы автора – изготовление моделей, подготовка и проведение испытаний с обработкой результатов!

Проект автодорожного пролетного строения был выполнен Киевским филиалом Создорпроекта). Проект выкладочной площадки для изготовления главных ферм – Саратовским филиалом СКБ Оргтрансстрой. В Саратове (полигон МО-8 Мостоотряда №3 и на Подпорожском заводе МЖБК Гламостостроя) изготовили элементы главных ферм и поперечные балки проезжей



Рис. 11. Монтаж двух моделей внавес



Рис. 12. Вид на ферму с торца



Рис. 13. Общий вид моста в 2016 году

части. Первую ферму установили на мосту через р. Ваяинка у г. Подпорожье (см. рис.). Автор (в то время аспирант ЦНИИ МПС) проводил научно-техническое сопровождение с инструментальными наблюдениями и испытания временной нагрузкой (работа выполнена специалистами лаборатории железобетонных мостов отделения ИС ЦНИИСа), а затем неоднократные осмотры моста – последний осмотр выполнен в 2016 году (см. последнее фото).

Следующие две фермы установлены на мосту через реку Ток на оживленной автодороге Бузулук – Грачевка (в 30 км от г. Бузулук). На этом мосту автор выполнял инструментальные наблюдения и обеспечивал натяжение высокопрочной арматуры в плите проезжей части. Все работы по монтажу ферм были выполнены молодыми специалистами мостотряда. Испытания моста временной нагрузкой проведены лабораторией Испытания мостов ЦНИИСа под руководством В.П. Польевко при творческом участии автора.

Представленные в статье конструкции эффективны для строительства мостов в труднодоступных районах, особенно при освоении северных и арктических районов с вечной мерзлотой. Фермы имеют незначительную строительную высоту (меньше типовых балок длиной 33 м) и элементы малой массы. Железобетонные – потому что не требуют защиты от коррозии и постоянного наблюдения и ухода, высоких подходных насыпей.

Для крайнего Севера могут быть наиболее эффективными неразрезные фермы 11+33+ п44+33+11 без устоев. Проезжую

часть предлагается выполнять из тех же свай-оболочек с соответствующим изменением их армирования. Таким образом, предусмотрено применение оболочки единой минимальной толщины стенки и без предварительного натяжения первой стадии растянутых элементов. Изготовление преднапряженных труб с передачей усилий натяжения на форму центрифуги является самой сложной и трудоемкой операцией, требующей дополнительного оборудования.

Следует особо отметить, что это предложение в наименьшей степени нарушает вечную мерзлоту под сооружением!

Статья подготовлена на основе доклада, представленного автором на 79-ую научно-методическую и научно-исследовательскую конференцию МАДИ. Секция ОНИЛ «Цемент» «Цементные бетоны».

#### Библиографический список

1. К.С. Силин, Н.М. Глотов, А.П. Грецов, В.И. Карпинский, А.Д. Прохоров. *Фундаменты опор мостов из сборных железобетонных оболочек. Государственное транспортное железнодорожное издательство, М., 1958.*
2. *Научные труды ОАО ЦНИИС Выпуск № 267, Константин Сергеевич Силин – выдающийся деятель отечественного мостостроения. (к 100-летию со дня рождения).* – М., ОАО ЦНИИС, 2013.
3. Поляков И.Д. *Сборные пролетные строения железнодорожных мостов из центрифугированного железобетона. Бетон и железобетон, 1967, №7.*
4. Поляков И.Д., Польевко В.П., Маркевич М.А., Коротков Л.И. *Строительство и эксплуатация 55-м пролетного строения из центрифугированного железобетона. Транспортное строительство, 1970, №5.*
5. Н.М. Колоколов, И.Д. Поляков, Л.И. Коротков и др. *Мост из центрифугированного железобетона. Автомобильные дороги, 1970, №11.*
6. Коротков Л.И. *Исследование совместной работы проезжей части и главных ферм сквозных пролетных строений мостов из преднапряженного железобетона. Сб. научных трудов ЦНИИС, вып. 46, 1971.*
7. *Исследование влияния жесткости узлов на напряженное состояние ферм из преднапряженного железобетона. «Применение ЭВМ и математических методов в исследовании, проектировании и строительстве транспортных сооружений», Сб. трудов, вып. 74. Изд. ЦНИИС, 1973.*

# СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВА ЦЕМЕНТА И БЕТОНА СНИЖАЕТ ВЫБРОСЫ CO<sub>2</sub>. ЧАСТЬ 1

**М.Я. БИКБАУ**, академик РАН, доктор хим. наук, генеральный директор,

**Д.Н. САФИН**, заместитель по проектированию,

**А.С. НЕФЕДОВ**, начальник отдела наноцемента, ООО «Международный ИМЭТ», Москва



В статье приводятся результаты многолетних исследований по снижению в 2-3 раза удельных выбросов CO<sub>2</sub> и расхода минерального топлива в мировом производстве портландцемента, объем которого составляет уже около 4,5 млрд т и увеличивает загрязнение атмосферы планеты по выбросам CO<sub>2</sub> ежегодно на 8%, занимая 2 место после металлургии. Также анализируется новая технология, не требующая капиталовложений и реализуемая в течение месяца на любом предприятии по производству цемента. Она заключается в помоле цементного клинкера или цемента с кремнеземистыми минеральными добавками, совмещенном с тонким измельчением и нанокапсуляцией, и превращении портландцемента в наноцементы с обеспечением высокой гидравлической активности и улучшением строительно-технических свойств цемента, включая его сохранность не менее года, а также обеспечении качества бетонов.

The article presents the results of many years of research to reduce by 2-3 times the specific emissions of CO<sub>2</sub> and the consumption of mineral fuel in the world production of Portland cement, the volume of which is already about 4.5 billion tons and increases the pollution of the planet's atmosphere in terms of CO<sub>2</sub> emissions annually by 8%, occupying 2 place after metallurgy. It also analyzes a new technology that does not require capital investments and is implemented within a month at any cement production plant. It consists in the grinding of cement clinker or cement with silica mineral additives, combined with fine grinding and nanocapsulation, and the transformation of Portland cement into nanocements, ensuring high hydraulic activity and improving the construction and technical properties of cement, including its safety for at least a year, as well as ensuring the quality of concrete.

За последние 150 лет климат Земли существенно поменялся, и специалисты уверены, что основной движущий фактор перемен в мире — это деятельность людей [1].

Самый большой вред природе наносит промышленное сжигание угля, нефти и газа. Образующиеся при этом парниковые газы удерживают солнечное тепло и повышают температуру воздуха. Кроме этого, в атмосферу выделяются выбросы двуокси углерода и метана — результат сжигания топлива в автомобилях и угля, который применяют для отопления зданий. К высвобождению углекислого газа приводит также расчистка земель и вырубка лесов, а выбросу метана — мусорные свалки.

Почти все, что сегодня строится на планете, выполняется с применением портландцемента. Миллиарды квадратных метров жилой площади и коммерческой недвижимости, сотни тысяч различных

зданий и сооружений возводятся в мире ежегодно.

Производство портландцемента осуществляется в большинстве стран по современным технологическим схемам; созданы инновационное оборудование и более совершенные системы управления. Тем не менее, цементные заводы по-прежнему используют рецептуру начала XIX века для изготовления портландцемента. Изменения мирового химического состава портландцемента колеблются в пределах, мас. %: CaO 62-67; SiO<sub>2</sub> 20-24; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 4-7; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 2-5; MgO, SO<sub>3</sub> и др. 1,5-4,0.

Для его воспроизведения используются известняки, содержащие до 44 мас. % CO<sub>2</sub>, а также различные глины и добавки для реализации в клинкере коэффициента насыщения известью (КН) от 0,80 до 0,95, силикатного модуля (*n*) от 1,7 до 3,5, глиноземного модуля (*p*) от 1,0 до 3,0 и гидравлического модуля (*m*) от 1,9 до 2,4. Содержание клинкерных минералов в портландцементном клинкере обычно колеблется в следующих пределах, мас. % : алит (3CaO SiO<sub>2</sub>) 40-60; белит (2CaO SiO<sub>2</sub>) 15-35; трехкальциевый алюминат (3CaO Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 4 – 14 и частично застеклованный четырехкальциевый алюмоферрит (4CaO Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 10-18.

Требования к сырьевым смесям на производство портландцемента близки во всем мире, что объясняет практически одинаковый состав портландцемента.

Ученые описали значительное разнообразие морфологических форм минералов в клинкере, что делает трудным однозначную идентификацию минеральных фаз, сохраняемых при низких температурах, не говоря уже о сложном, трудно определяемом влиянии генезиса алитов и белитов на свойства портландцемента. Основной качественной характеристикой всех разновидностей портландцементов для бетонов и растворов является прочность образцов камня на сжатие и изгиб через 28 суток твердения с вариациями по темпу набора прочности в этот период.

Цементные заводы, как правило, производят практически одинаковый портландцемент классов по прочности на сжатие 32,5; 42,5 и 52,5 МПа с удельной поверхностью порошка от 300 до 400 м<sup>2</sup>/кг и стандартным сроком хранения без потери свойств — в течение двух месяцев.

Суть технологий портландцемента — в смешивании в соответствующих пропор-

**ИНФОРМАЦИЯ ОБ ИЗМЕНЕНИИ КЛИМАТА ПО (ШЕСТОМУ ОЦЕНОЧНОМУ ДОКЛАДУ МЕЖПРАВИТЕЛЬСТВЕННОЙ ГРУППЫ ЭКСПЕРТОВ ООН ПО ИЗМЕНЕНИЮ КЛИМАТА 13-19 МАРТА 2023 ГОДА):**

Динамика глобального потепления	С 1850 года каждое из последних четырех десятилетий было более теплым по сравнению с любым предшествующим десятилетием. Глобальная температура в 2011–2020 годы поднялась 1,09°C, по сравнению с 1850–1900 годами. Над сушей она повысилась сильнее, чем над океаном.
Изменения в биосфере	С 1970 года климатические зоны в обоих полушариях сместились к полюсам. С 1950-х годов в средних широтах Северного полушария вегетационный период удлинился на два дня за десятилетие.
Концентрация парниковых газов	В 2019 году концентрация CO <sub>2</sub> в атмосфере была выше, чем когда-либо за 2 миллиона лет, а концентрации CH <sub>4</sub> и N <sub>2</sub> O — выше, чем когда-либо за 800 000 лет
Таяние арктических льдов	В 2011-2020 годах среднегодовая площадь арктического морского льда достигла самых низких значений с 1850 года. Доля потери льда из ледников составила 22%, ледяных щитов — 20%, а изменений в запасах пресной воды на суше — 8%.

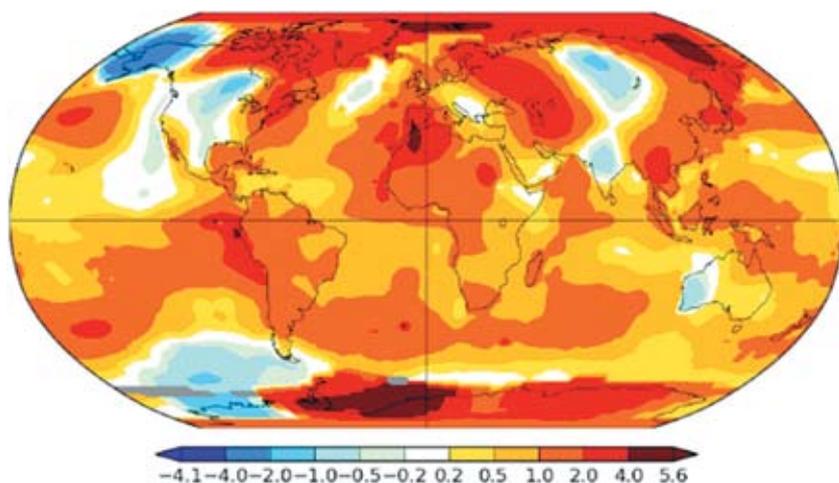


Рис. 1. Карта изменения температуры поверхности Земли за последние 50 лет (данные NASA)

циях измельченных известняков и глин, добавлении в эту смесь плавней, обычно пиритных огарков, обжига сырьевых смесей в тепловых агрегатах – печах с целью удаления из них  $\text{CO}_2$  и спекании в клинкерные гранулы при температурах 1400–1500 °С для реализации завершения минералообразования с последующим резким охлаждением клинкера в холодильниках и его измельчением помолом в порошок портландцемента.

Высокие температуры процесса спекания, необходимость достаточного времени для завершения минералообразования портландцементного клинкера обусловили значительные затраты топлива на тонну продукта, которые сегодня в наиболее совершенном агрегативном оформлении достигли уровня 110–120 кг условного топлива на 1 т клинкера.

Достигнутый уровень энергосбережения близок к теоретически возможному, современные системы подготовки и измельчения, смешивания сырьевых смесей, декарбонизации в запечных теплообменных устройствах, мощные вращающиеся печи для спекания клинкера позволили за последнее столетие значительно усовершенствовать различное оборудование и создать технологические линии, производящие 3,0–5,0 млн т цемента в год.

Однако индустриализация деятельности человека начала сказываться на изменении климата планеты. Так, в частности, основными источниками мировых выбросов  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$  и  $\text{NO}_x$  промышленностью являются сегодня металлургия и производство цемента.

Углеродный след цемента прямо пропорционален содержанию в его составе клинкера, количество которого в готовом цементе, например, производимом в России, составляет около 91 мас. %.

На цементную промышленность сегодня приходится около 8 мас. % глобальных выбросов. В среднем на каждую тонну производимого цемента в мире в атмосферу выделяется почти тонна двуоксида углерода. Так, в при производстве портландцемента, например, в КНР, сжигается около 150 кг угля на тонну, к которым добавляются выбросы за счет разложения в печах известняка – основного компонента сырьевых смесей для обжига цементного клинкера, составляя около 850 кг выбросов  $\text{CO}_2$  на тонну цемента. В 2021 году объем производства портландцемента в КНР составил около 2,363 млрд т.

Главы стран Международного совещания по сохранению климата, прошедшего 22–23 апреля 2021 года, призвали человечество постараться внести посильный вклад в снижение выбросов углекислого газа, непрерывно возрастающих с каждым годом и серьезно влияющих на климат планеты.

Генеральный секретарь ООН Антониу Гутерреш, выступая на Международном совещании по сохранению климата (22–23 апреля 2021 года), обратился к мировым лидерам с призывом усиления действий в борьбе с глобальным потеплением, акцентировав внимание на происходящие изменения климата; достижения

критических значений концентрации парниковых газов в атмосфере, повышении глобальной температуры на 1,2 °С, неуклонном повышении уровня мирового океана, разрушительных тропических циклонах и лесных пожарах.

Несколько лет назад был обнародован прогноз Управления по энергетической информации статистического подразделения Министерства энергетики США, согласно которому мировые выбросы диоксида углерода возрастут к 2030 году на 75 %. По данным специалистов управления, количество выбросов углекислого газа по всему миру увеличится с 29 млрд т в 2010 году до 43,7 млрд т к 2030 году, если не будут приняты срочные меры по их сокращению.

В первую десятку эмитентов входят в порядке убывания объемов выбросов: США, Китай, Индия, Россия, Япония, Германия, Иран, Республика Корея, Саудовская Аравия и Индонезия.

Выступая на апрельском климатическом саммите мировых лидеров в 2021 году, президент России Владимир Путин предложил комплекс решений проблемы глобального изменения климата.

*Первое.* Важно не только говорить о новых объемах эмиссии, но и заниматься вопросами поглощения углекислого газа, накопленного в атмосфере. Россия вносит, без преувеличения, колоссальный вклад в абсорбирование глобальных выбросов – ежегодная поглощающая способность экосистем страны оценивается в 2,5 млрд т эквивалента углекислого газа.

*Второе.* Необходимо учитывать все без исключения факторы, вызывающие глобальное потепление. Например, пятая часть антропогенных выбросов приходится на долю метана, степень воздействия которого на парниковый баланс Земли существенна. По мнению экспертов, если в предстоящие 30 лет удастся сократить эмиссию метана в два раза, то глобальная температура к 2050 году снизится на 0,18 градуса Цельсия. В этой связи большое значение имеет налаживание широкого и эффективного международного сотрудничества в области расчетов и мониторинга объемов эмиссии всех видов вредных выбросов в атмосферу.

*Третье.* Мировому сообществу необходимо объединить усилия в борьбе за сохранение климата. Россия готова предложить целый набор совместных проектов и рассмотреть возможность преференций зарубежным компаниям, пожелавшим инвестировать в чистые технологии.

*Четвертое.* «Глобальное развитие должно быть не просто «зеленым», но и устойчивым во всей полноте этого понятия», – отметил президент. Этот процесс касается всех стран без исключения, поэтому должен сопровождаться



Рис. 2. Принципиальная схема производства малоклинкерных нанощементов

продвижением вперед по таким актуальным направлениям, как борьба с бедностью и сокращение разрывов в развитии между государствам.

Россия уже добилась определенных успехов в улучшении экологической ситуации. По словам президента, сегодня 45% российского энергобаланса составляют низкоэмиссионные источники энергии, включая атомную генерацию, уровень эмиссии парниковых газов которой почти нулевой.

### Углеродный след цемента

В настоящее время в мире ежегодно выпускается около 4,5 млрд т портландцемента. В 2020 году наибольшее количество выбросов CO<sub>2</sub> при производстве цемента сгенерировали четыре страны:

- фактический объем, млрд м<sup>3</sup>: КНР — 991; Индия — 153; Вьетнам — 43,2; США — 40,5;

- в пересчете на твердое вещество, млн т: КНР — 1870; Индия — 289; Вьетнам — 81,6; США — 76,5.

Разработанная Международным институтом материаловедения и эффективных технологий (ИМЭТ) технология модифи-

кации портландцемента в наноцемент позволяет радикально пересмотреть стратегию развития мировой цементной промышленности, снизить в 2–3 раза удельные затраты топлива и эмиссию вредных веществ с минимальными капиталовложениями, решая одновременно проблемы энергосбережения, экологии и способствуя увеличению объемов производства высококачественного цемента.

Суть технологии получения наноцементов заключается в совершенствовании последней стадии производства портландцемента — введении полимерного модификатора при помоле клинкера совместно с минеральными добавками (до 70 %<sup>1</sup>) в шаровых мельницах, широко применяемых цементными заводами, с обеспечением высокого качества цементов (рис. 2).

Такой процесс назван нами наномодификацией портландцемента. В результате наномодификации вяжущего формируется дисперсный композит, получивший наименование «наноцемент» ввиду наноразмерности полимерных оболочек, покрывающих цементные зерна. Иными словами, *наноцементы представляют собой модифицированные портландцементы, характеризующиеся наличием на их зернах сплошной нанокапсулы (оболочки) из структурированного полимерного вещества толщиной в несколько десятков нанометров (рис. 3) и тонко измельченным совместно с портландцементом до наноуровня (рис. 4) кремнеземистым наполнителем.*

Сертификационным органом «Нано-сертифика» ОАО «РОСНАНО» новый материал признан в качестве наносодержащей продукции категории «Б» с выдачей всех характеристик трехкратными испытаниями в 2012, 2018 и 2022 годы в соответствии с Распоряжением Правительства Российской Федерации от 7 июля 2011 г. № 1192-р.

### Наномодификация портландцемента

При измельчении портландцемента в шаровых цементных мельницах до оптимального уровня дисперсий 400–600 м<sup>2</sup>/кг, совмещенном с его механохимической активацией и нанокапсуляцией модифицированным полимерным веществом, исходящее вяжущее превращается в качественно новый продукт с выдающимися строительно-техническими свойствами, предусмотренными

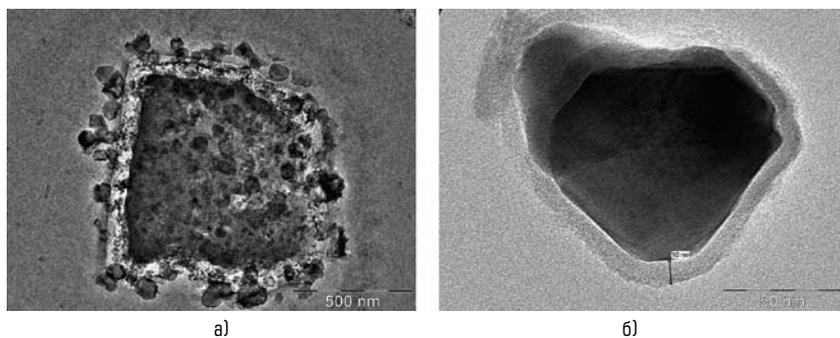


Рис. 3. Снимки на просвет зерен портландцемента с наноболочками, сделанные с помощью электронного микроскопа: а — наноцемент 75, размер частички в диаметре около 700 нм, толщина наноболочки около 100 нм; б — наноцемент 90, размер частички в диаметре около 140 нм, толщина наноболочки 10 нм.

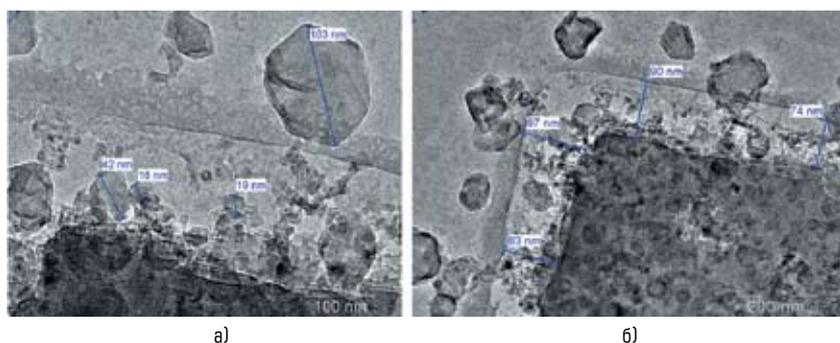


Рис. 4. Наноболочки (светлая кайма) на зернах портландцемента из структурированного модификатора в наноцементах и зерна кварцевого песка (по результатам дифракции). Мелкие частички без наноболочек — зерна кварцевого песка, измельченные до наноуровня — на приводимом снимке: а) размеры частиц: 18, 19, 42 и 103 нм, на снимке б) показаны также толщины оболочек в нм. Электронно-микроскопические снимки на просвет. Масштаб на фотографиях.

<sup>1</sup> Здесь и далее указаны массовые проценты.

предварительными национальными стандартами Российской Федерации ПНСТ 19-2014 «Портландцемент наномодифицированный. Технические условия» и Республики Казахстан ПСТ 83-2018 «Портландцемент наномодифицированный» (табл. 1 и 2). В табл. также приведены типы, составы и характеристики данных наноцементов.

В отличие от портландцементов, срок хранения которых вне зависимости от производителя составляет не более двух месяцев, наноцементы способны сохранять свои строительно-технические свойства годами. Упомянутые стандарты регламентируют *гарантированные сроки хранения наноцементов не менее года*. Несмотря на десятки оформленных в РФ и других странах в настоящее время такие цементы производятся только двумя заводами, работающими по нашим лицензиям, — в России (в Республике Татарстан на территории особой экономической зоны «Алабуга») и в Республике Казахстан (в г. Нур-Султан) [11].

*Анализ свойств наномодифицированных цементов показывает, что применение технологии наномодификации портландцемента позволяет не только кардинально повысить прочностные свойства цемента, но и в три раза снизить в его составе количество дорогостоящего клинкера без потери марочной прочности цементного камня (в 28 суток твердения не уступающей таковой для исходного портландцемента, см. табл. 2).*

**ТАБЛИЦА 1. ТИПЫ И СОСТАВ НАНОЦЕМЕНТОВ ПО ПНСТ 19-2014 РФ И ПСТ 83-2018 РК «ПОРТЛАНДЦЕМЕНТ НАНОМОДИФИЦИРОВАННЫЙ»**

Класс прочности	Тип	Основные компоненты, % масс.	
		Портландцементный клинкер или портландцемент	Минеральные кремнеземистые добавки
К 62,5	НАНОЦЕМЕНТ 55	55–74	26–45
К 52,5	НАНОЦЕМЕНТ 45	45–54	46–55
К 42,5	НАНОЦЕМЕНТ 35	35–44	56–65
К 32,5	НАНОЦЕМЕНТ 30	30–34	66–70

*Примечание – при необходимости замедления сроков схватывания цементного теста гипсовый камень или его аналоги вводят в наноцемент сверх 100% суммы компонентов*

**ТАБЛИЦА 2. ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАНОЦЕМЕНТОВ ПО ПНСТ 19-2014 РФ И ПСТ 83-2018 РК «ПОРТЛАНДЦЕМЕНТ НАНОМОДИФИЦИРОВАННЫЙ»**

Класс прочности	Прочность на сжатие, МПа, в возрасте				Начало схватывания, мин, не ранее	Равномерность изменения объема (расширение), мм, не более
	2 суток, не менее	7 суток, не менее	28 суток			
			не менее	не более		
К 32,5	10	20	32,5	52,5	75	10
К 42,5	25	40	42,5	62,5	60	
К 52,5	30	50	52,5	72,5	45	
К 62,5	35	55	62,5	82,5		

Данные, приведенные в табл. 3, демонстрируют, что при переходе действующих цементных заводов России на производство наноцементов с минимальными капиталовложениями и сохранением высокого качества можно достичь снижения затрат топлива до 70% и выбросов CO<sub>2</sub> до 3,3 раза.

Как видно из табл. 3, *наноцементы классов 32,5; 42,5 и 52,5 (цементы именно*

**ТАБЛИЦА 3. ХАРАКТЕРИСТИКИ НАНОЦЕМЕНТОВ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИХ ПРОИЗВОДСТВА В ПЛАНЕ ЭКОНОМИИ ТОПЛИВА И СНИЖЕНИЯ УДЕЛЬНЫХ ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ ПО ПРЕДВАРИТЕЛЬНОМУ НАЦИОНАЛЬНОМУ СТАНДАРТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПНСТ 19-2014**

Наименование цемента, класс прочности (в скобках приведены значения удельной поверхности, м <sup>2</sup> /кг)	Предел прочности, МПа, стандартных образцов цементного камня нормального твердения в возрасте				Удельные показатели*	
	2 сут., не менее		28 сут., не менее		затраты топлива, кг/т цемента / снижение затрат, %	выбросы CO <sub>2</sub> , кг/т цемента / кратность снижения выбросов
	при изгибе	при сжатии	при изгибе	при сжатии		
Портландцемент исходный ПЦ-500 ДО-Н «Осколцемент», партия № 654 (282)	2,9	21,3	6,4	54,4	200 /	1070 /
НАНОЦЕМЕНТ 55 К 62,5 (527)	6,3	49,3	8,2	77,5	110 / 45	588 / 1,8
НАНОЦЕМЕНТ 45 К 52,5 (530)	4,8	39,9	7,9	68,1	90 / 55	481 / 2,2
НАНОЦЕМЕНТ 35 К 42,5 (537)	3,9	30,7	7,2	61,4	70 / 65	374 / 2,9
НАНОЦЕМЕНТ 30 К 32,5 (530)	3,0	20,4	7,6	52,1	60 / 70	321 / 3,3

\*Испытания на соответствие проведены испытательной лабораторией ГУП «НИИМосстрой»

\*\* Взяты сравнительные показатели из расчета портландцемента завода «Осколцемент», работающего по мокрому способу производства

\*\*\* Числовое обозначение здесь и далее означает количество портландцемента в наноцементе, остальное — карьерный песок (так, в наноцементе 30 содержится 70 % песка Раменского ГОК).

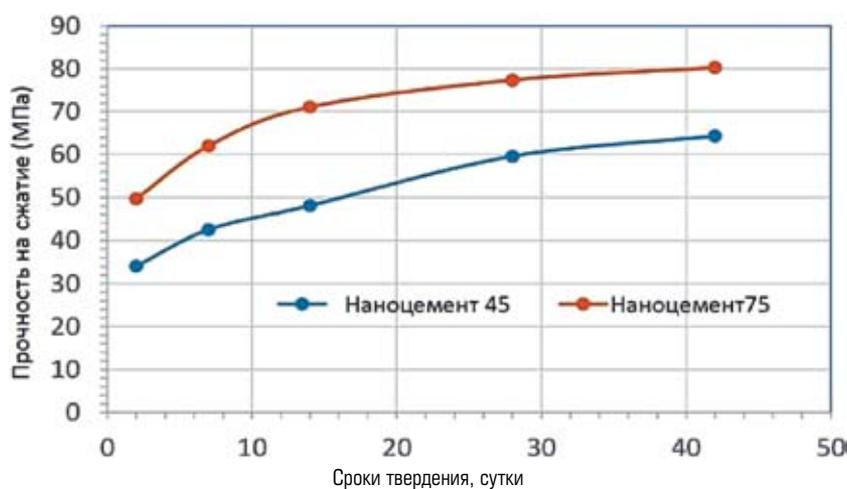


Рис. 5. Изменение во времени прочности на сжатие бетона на основе наноцементов типов 45 (60 % кварцевого песка) и 75 (20 % кварцевого песка) при твердении в нормальных условиях (по результатам испытаний, проведенных в Канаде [6])

этих классов являются самыми востребованными в мировом строительстве). На них приходится наибольшие показатели сокращения потребления топлива (55-70%) и самые существенные показатели снижения объемов выбросов  $CO_2$  (2,2-3,3 раза). Достигается это за счет замены части содержания портландцементного клинкера в составе наноцемента на кремнеземистые минеральные добавки — природный кварцевый строительный песок (в том числе мелкозернистый пустынный или карьерный), измельчаемый вместе с портландцементом и модификатором до высокой дисперсности. Частицы песка активно участвуют в формировании оптимальной структуры цементного камня, обуславливающей высокие строительно-технические свойства бетонов [5].

Для малоклинкерных наноцементов наблюдается интенсивный рост прочности цементного камня даже при рекордно низком количестве портландцемента в бетонной смеси с радикальным повышением при этом основных эксплуатационных показателей цементного камня и бетонов: прочности, водонепроницаемости, морозостойкости, соответствующих категории High Performance Concrete (рис. 5, табл. 5).

Важно отметить, что в качестве кремнеземистого компонента, добавляемого в наноцементы (до 70 мас.%), могут также эффективно применяться отходы переработки горных пород и различные шлаки металлургических, химических производств, а также золы тепловых электростанций, что весьма важно для решения проблем экологии страны.

#### Библиографический список

1. Бикбау М.Я. Открытие явления нанокапсуляции дисперсных веществ // ВЕСТНИК РАЕН, сер. физика, № 3, 2012, с. 27-35.
2. Бикбау М.Я. Открытие явления нанокапсуляции дисперсных веществ: суть и значение // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века, № 10, 2012, с. 14-19.
3. Бикбау М.Я. Новые цементы и бетоны. Открытие явления нанокапсуляции дисперсных веществ // ЖБИ и конструкции, № 4, 2012, с. 64-72.
4. Бикбау М.Я. Нанотехнологии в производстве цемента – М., ОАО «Московский институт материаловедения и эффективных технологий», 2008, – 768 с.
5. Бикбау М.Я. Кварцевый песок – подарок природы для стройиндустрии и строительства, сохранения экологии планеты и ее климата. Часть 1 // Сухие строительные смеси, №5, 2018, с. 10-18.
6. Бикбау М.Я. Испытания наноцементов в Канаде // Сухие строительные смеси, № 2, 2018, с. 20-22.
7. Бикбау М.Я. Свойства и структура бетонов на наноцементях // В сб. «Бетон и железобетон в будущем». Научные Труды III Всероссийской (II Международной) конференции по бетону и железобетону. Москва, 12-16 мая 2014 года, том 6, с. 158-170.
8. Бикбау М.Я. Современные бетонные смеси и бетоны нового поколения на основе наноцементов // ВЕСТНИК РАЕН, серия физика, 2019, № 3, с. 7-19.
9. Афанасьева В.Ф. Результаты испытаний бетонов с применением наноцементов // Технологии бетонов, № 9-10, 2012, с. 16-17.
10. Бикбау М.Я., Портландцемент наномодифицированный и бетоны на его основе // Технологии интеллектуального строительства, серия Инновации и технологии, № 4, 2018, с. 18-27.
11. Бикбау М.Я., Адильбеков К.М., Карсыбаев Е.Б. Казахстан осваивает производство наноцемента // Технологии интеллектуального строительства, серия Инновации и технологии, № 2, 2019, с. 29-37.
12. Несветайло В.М. Многофункциональные бетоны нового поколения // Технологии бетонов, №11-12, 2018, с. 12-15.
13. Бикбау М.Я., Леваков А.И. Новые долговечные растворы и бетоны для переработки и консервации отходов // Технологии интеллектуального строительства., серия Инновации и технологии, № 2, 2020, с. 41-51.
14. Бикбау М.Я., Кемпбелл Д., Кемпбелл Е., Промышленные испытания технологии наноцемента в ОАЭ // Строительная Орбита, № 7, 2016. с. 102-105.
15. Бикбау М.Я. Концепция круглогодичного скоростного сборного высотного строительства // Технологии интеллектуального строительства., Серия Инновации и технологии, № 2, 2020, с. 41-51.

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЕРЕРАБОТАННЫХ ШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ В КАЧЕСТВЕ АКТИВНОЙ МИНЕРАЛЬНОЙ ДОБАВКИ

**Р.О. РЕЗАЕВ**, канд. физ. мат. наук, генеральный директор ООО «Проектирование материалов», Москва, Россия; доцент ТПУ, г. Томск, Россия; науч. сотр. IFW Dresden, г. Дрезден, Германия;  
**А.А. ДМИТРИЕВ**, главный технолог ООО «Проектирование материалов», г. Москва, Россия;  
**В.В. ЗАЙЦЕВ**, инженер.

*Ключевые слова: оптимизация состава бетона, микронаполнитель, шлаковые отходы.*

*Key words: concrete mix optimization, filler, slag*



В статье обсуждается вопрос экономической целесообразности использования тонкомолотых шлаковых отходов в качестве активной минеральной добавки в составе бетона. Для решения этой проблемы предложена концепция построения моделей «состав-свойство» бетонных смесей и бетона в пространстве возможных составов на заданных материалах. Для построения моделей свойств бетонов, содержащих шлак в качестве компоненты, разработан экспериментальный план, позволяющий оценить как вклад факторов, определяющих структуру бетона, так и вклад случайной компоненты, всегда сопутствующей измерениям. Построенная модель с хорошей точностью аппроксимирует экспериментальные результаты и является основой как оптимизации состава бетона, так и экономико-технологических расчетов, позволяющих обосновать эффективность использования шлака в качестве полноценного компонента смеси. В результате, на конкретном практическом примере показано, что вовлечение шлака может снизить себестоимость единицы объема бетонной смеси от 150 до 200 руб/м<sup>3</sup>.

The article discusses the issue of the economic value of consuming finely ground slag waste as active additives in the composition of concrete. To solve this problem, the concept of building “composition-property” models of concrete mixtures and concrete in possible compositions on given materials is proposed. To build models of the properties of concretes containing slag as a component, an experimental plan has been developed, an estimated calculation of both the contribution of effects, acceptable characteristics of concrete, and the contribution of a random component that always accompanies measurements. The constructed model with verified reliability approximates the experimental results and is justified as a solid composition of concrete, as well as economic and technological calculations that allow justifying the effectiveness of using slag as a taken component of the mixture. As a result, on a special practical presentation, it can be seen that the involvement of slag has a potential to decrease the cost of a concrete mix from 150 to 200 rubles/m<sup>3</sup>.

## Введение

*Экономика замкнутого цикла* является одним из доминирующих трендов современности, задачами которого являются более широкое использование возобновляемых ресурсов, переход на безотходное производство, минимизация вреда и экономического ущерба из-за бесконтрольной эксплуатации полезных ископаемых и т.д. Так, например, Европейская рыночная зона, как ожидается, согласно оценкам консалтинговой компании McKinsey, к 2030 г. увеличит ежегодный доход на €1,8 трлн. Определенную долю в этом сегменте занимает проблема вовлечения в производственный цикл бетонных смесей различных продуктов-отходов промышленности, таких как, например, зола-уноса, молотый шлак и др. Последние, ввиду специфического гранулометрического и минералогического состава, часто рассматриваются также как цементозамещающие материалы. В этом контексте актуальность вопроса их вовлечения в состав бетонных смесей приобретает особую ценность по следующим причинам. Во-первых, за последние 5-10 леткратно усилилась тенденция на сокращение углеродного следа во всех технологиях. Производство цемента является третьим по значимости фактором, обуславливающим выбросы углекислого газа в атмосферу. Следовательно, любые решения, обеспечивающие сокращение потребления цемента имеют шансы на успех. Во-вторых, бетонирование массивных ответственных конструкций, таких как фундамент атомных станций, сопряжено с большим выделением тепла вследствие химических реакций цемента с водой. Термические напряжения приводят к нарушениям структурообразования бетона, внутренним трещинам и уменьшению прочностных характеристик бетона, как целостного материала. В-третьих, рыночная стоимость цемента в Российской Федерации за период 2018-2023 возросла почти в два раза, и, скорее всего, тенденция роста сохранится и в последующем. В этих условиях мотивация производителей бетонных смесей и изделий из бетона к способам снижения объемной доли цемента в составе бетона без ущерба качеству имеет прямой экономический интерес. Вовлечение недорогих цементозамещающих материалов позволит снизить себестоимость единицы объема бетонной смеси.

Несмотря на заманчивые перспективы использования продуктов-отходов промышленности в качестве цементозамещающих материалов, существует ряд проблем, которые необходимо преодолеть. Если взять в качестве примера шлаковые отходы, одними из главных сложностей являются нестабильные характеристики шлака, как сырьевого материала, и экономическая целесообразность логистических и подготовительных операций со шлаком в качестве продукта, предлагаемого на рынке. Для решения данных вопросов необходимо иметь прозрачную картину того, насколько в реальности эффективно применение шлака в качестве цементозамещающего материала. Производитель бетонных смесей должен увидеть серьезный экономический эффект от внедрения технологии вовлечения шлака в состав бетона. Также этот эффект должен увидеть и потенциальный поставщик-производитель шлака, чтобы быть уверенным в конкурентных преимуществах предлагаемой технологии, способной окупить вложенные в нее инвестиции.

С практической точки зрения вопрос эффективности применения шлака сталкивается с проблемой оценки этого эффекта — количество компонент в бетоне увеличивается на единицу, в то время как количество возможных вариантов составов — на порядок. В этой связи в данной работе предлагается методика построения поверхности отклика заданных свойств бетона/бетонной смеси, содержащих шлак, по всему пространству возможных составов, с целью дальнейшего использования полученной поверхности как для комплексной оптимизации, так и для поиска состава с заданными свойствами.

## Метод построения прогнозных моделей «состав-свойство» для бетонных смесей

При фиксированных протоколах приготовления бетонной смеси, сырьевых материалов, условиях твердения бетона, методиках испытания, соответствующие свойства бетона/смеси будут однозначно определяться своим *составом* — соотношениями объемных долей входящих в смесь компонентов — фракциями заполнителей, цементом, водой, микрозаполнителями и т.д. Сложность изучения свойств бетона в зависимости от его состава определяется комбинаторным характером выбора конкретно-

го состава из всех возможных вариантов его реализации на заданных материалах и, как правило, имеет экспоненциальный рост с увеличением количества компонентов смеси. Например, если рассматривать смеси бетона товарного назначения на стандартных материалах [1-3] с диапазоном их расхода на  $1 \text{ м}^3$  – щебень (от 900 до  $1300 \text{ кг/м}^3$ ), песок (от 650 до  $900 \text{ кг/м}^3$ ), цемент (от 200 до  $500 \text{ кг/м}^3$ ) и вода (от 170 до  $220 \text{ кг/м}^3$ ), то с шагом варьирования количества материала в смеси  $10 \text{ кг/м}^3$  мы получим 150 000 возможных вариантов составов. Добавление в смесь, например, шлака с расходом из диапазона от 0 до  $150 \text{ кг/м}^3$  с прежним шагом варьирования увеличит количество возможных составов до 2 250 000. Цифры ориентировочные и допускают дискуссию по поводу выбора диапазона расходов материалов или шага варьирования, однако суть проблемы данный пример иллюстрирует в полной мере. Чтобы иметь возможность ориентироваться среди большого количества возможных составов строится математическая модель свойств этих составов – модель «состав-свойство». Наиболее простой совокупностью методов построения таких моделей являются методы, основанные исключительно на экспериментальных данных – суррогатное моделирование [4], математическое планирование экспериментов [5], регрессионный анализ и другие [6]. Как правило, объем необходимых экспериментальных данных возрастает кратно с ростом количества компонентов бетона. В этом случае представляют ценность экономичные подходы, позволяющие построить модель по минимально возможной экспериментальной выборке. В работе [7] приведена базовая теория данного подхода. В данной статье продемонстрируем главную идею метода наглядным и удобным образом на примере 4-х компонентного состава бетона – крупный/мелкий заполнитель, вода и цемент. Для того, чтобы задать математическую функцию, описывающую свойства бетона, необходимо описать переменные величины, от которых эта функция зависит. В качестве 3-х мерного пространства  $(x, y, z)$  вполне могут выступать объемные доли компонентов бетона.

Уравнение, которое позволяет обосновать взаимно однозначное соответствие между всеми составами, возможными на данных материалах, и координатами  $(x, y, z)$  3-х мерного пространства, является след-

ствием объемного баланса материалов. Один кубический метр бетонной смеси без учета воздухововлечения представляет сплошную среду, состоящую из объема твердой фазы частиц – частицы заполнителей и цемента, и жидкой фазы, заполняющей пустоты между частицами твердой фазы:

$$\frac{Щ}{\rho_{щ}} + \frac{П}{\rho_{п}} + \frac{Ц}{\rho_{ц}} + \frac{В}{\rho_{в}} = 1, [\text{м}^3] \quad (1)$$

где  $\rho$  с соответствующими индексами задает истинные плотности вещества. Графическая иллюстрация уравнения (1) представлена на рис. 1.

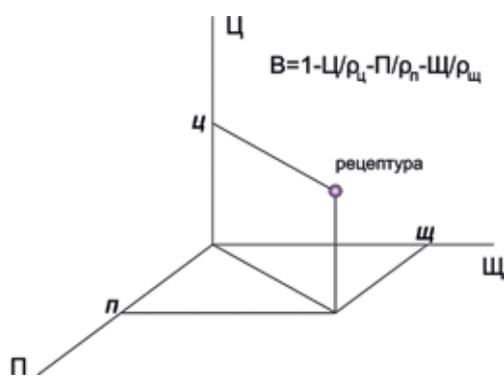


Рис. 1. Пространство для определения множества составов,  $\rho$  – истинная плотность вещества для случая 4-компонентного бетона.

Для того, чтобы построить модель «состав-свойство» необходимо понимание двух ключевых моментов. Во-первых, качественное представление о том, как интересующее свойство будет меняться в зависимости от варьирования того или иного компонента. Например, если рассматриваются прочность и осадка конуса, то нужно понимать, что с ростом доли воды прочность будет уменьшаться, а осадка конуса увеличиваться. Эта информация необходима для работы со вторым ключевым моментом – определением наиболее экономичного экспериментального плана. Когда известно качественное представление о характере функции, подлежащей определению, можно выделить в пространстве (рис. 1) направления, представляющие наибольший интерес, экспериментальная реализация которых обеспечит исследователя максимальной информацией о взаимосвязи между свойством и варьируемого параметра. Существуют определенные методы построения различных экономичных планов, более подробно можно ознакомиться в статье [7]. После того, как экспериментальный план составлен и реализован, полученные данные

необходимо обработать с целью построения искомой функции «состав-свойство». Отметим, что сбор предварительной информации о свойствах используемых сырьевых материалов способен значительно сократить количество экспериментальной работы, вплоть до 7 лабораторных замесов для 4-х компонентных бетонов. В случае, если бетон состоит из более чем 4-х компонентов, принципиально описанный подход не меняется, за исключением того, что математическое пространство более не является 3-х мерным, что затрудняет визуализацию, но все остальные этапы метода построения моделей «состав-свойство» сохраняются. Так, уравнение объемного баланса материалов для бетонов, содержащих шлак, принимает вид:

$$\frac{Ш}{\rho_{ш}^u} + \frac{П}{\rho_n^u} + \frac{Ц}{\rho_c^u} + \frac{Шл}{\rho_{шл}^u} + \frac{В}{\rho_v} = 1, [M^3] \quad (2)$$

где  $\rho$  с соответствующими индексами задает истинные плотности вещества и пространство, в котором будет построена модель «состав-свойство» будет 4-х мерным.

Представленная схема построения модели и дальнейшего ее использования для прогнозирования свойств бетона апробирована на материалах, как минимум пяти производственных площадок от Новосибирска до Москвы. Были построены модели для прочности на 1 сутки после фиксированного режима тепло-влажностной обработки, 7-е и 28-е сутки нормального твердения и соответствующих плотностей, а также осадки конуса бетонных смесей на базе 4-х материалов без пластифицирующих добавок и с пластифицирующими основе лигносульфоната, поликарбоксилата и др.

### Материалы. Экспериментальный план

Для изучения вопроса оценки экономического эффекта от внедрения шлака в состав бетона были использованы стандартные материалы: щебень гранитный фр. 5-20 мм (АО «Павловск Неруд»), песок природный (ООО «ВоронежПромСбыт к-р Емань») с модулем крупности 2,1 (табл. 1), цемент ЦЕМ 0 42,5 Н (АО «Себряковцемент»), пластифицирующая добавка на основе поликарбоксилата, тонкомолотый шлак (ТМШ) НЛМК с удельной поверхностью 4350 см<sup>2</sup>/г (ТМШ по ТУ 38.32.22-001-12467826-2022). Бетонная смесь готовилась в лабораторном бетоносмесителе в течение

3 мин. до достижения однородной консистенции. Далее проводились измерения плотности смеси, осадки стандартного конуса и формовались образцы для измерения прочности. Твердение образцов осуществлялось в камере нормального твердения. Экспериментальный план лабораторных замесов представлен в табл. 2. Данный план составлен, исходя из соображения извлечения информации о влиянии на осадку конуса бетонной смеси и прочность бетона таких факторов, как взаимная объемная доля песка и щебня в бетоне, доля шлака, содержание воды и водоцементное отношение. Экспериментальные точки покрывают определенную область интереса в 4-х мерном пространстве, координатными осями в котором являются объемные доли цемента, шлака, воды и доля песка  $r$  в смеси песок+щебень  $r = П/(П+Ш)$ .

Обсудим кратко назначение каждого состава из табл. 1. Первый состав (№1) дает информацию о том, какие характеристики имеет бетон при низком содержании цементного теста (цемент+шлак+вода). Составы №2, 4-5 отражают информацию о влиянии водоцементного отношения, состав №3 характеризует смеси при высоком содержании цементного теста, составы №4-7 представляют информацию о влиянии взаимной доли песка и щебня, составы №5, 8-10 дают информацию о влиянии шлака на свойства бетона/бетонной смеси и, наконец, составы №11-13 предназначены для выявления в данных компоненты, связанной с шумом. Последний обычно представлен количественным значением коэффициента вариации, без учета которого интерпретация данных теряет практический смысл.

В табл. 2 представлены экспериментальные значения прочности на 28-е сутки и осадка конуса свежеприготовленной бетонной смеси – колонки, содержащие ссылку *эксп.* Также в табл. 2 представлены значения осадки конуса и прочности, полученные по результатам построения модели на экспериментальных данных. Цветовой референс ячеек будет обсужден далее. Следует обратить внимание на составы №5 и №12 – это фактически один и тот же состав, выполненный два раза в различные дни, который, тем не менее, хорошо показывает необходимость учета при обработке экспериментальных данных коэффициента вариации. Осадку конуса состава №5 при повторе уменьшилась с

ТАБЛИЦА 1. АНАЛИЗ РАССЕВА ИНЕРТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Щебень гранитный								
Размер сит, мм	25	20	12,5	5	Дно	Нас. Пл., гр/см <sup>3</sup>	Ист. Пл., гр/см <sup>3</sup>	
содержание, %	0	14	79,5	6,0	0,5	1,44	2,65	
Песок								
Размер сит, мм	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	Дно	Нас. Пл., гр/см <sup>3</sup>	Ист. Пл., гр/см <sup>3</sup>
содержание, %	0,7	3,3	26,5	44,7	23,0	1,8	1,58	2,65

ТАБЛИЦА 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ ПЛАН

№	Щ, кг/м <sup>3</sup>	П, кг/м <sup>3</sup>	Ц, кг/м <sup>3</sup>	ШЛ, кг/м <sup>3</sup>	В, л/м <sup>3</sup>	ОК, см (эксп)	R <sub>28</sub> , МПа (эксп)	ОК, см (модель)	R <sub>28</sub> , МПа (модель)
1	1144	902	212	38	145	0,1	32,8	2,6	30,0
2	1098	866	319	56	135	0,2	54,5	2,9	49,2
3	1022	806	425	75	145	0,5	70,1	5,2	67,1
4	1068	842	319	56	155	3,5	46,0	5,1	46,7
5	1083	854	319	56	145	8,0	44,9	3,9	48,6
6	1173	737	319	56	155	6,0	53,3	6,7	50,0
7	925	986	319	56	155	2,0	47,9	2,5	45,5
8	1085	855	375	0	145	8,0	42,4	1,6	50,7
9	1082	853	281	94	145	8,5	44,3	5,6	47,2
10	1080	852	244	131	145	10,5	40,6	7,2	45,3
11	1129	891	212	38	155	1,5	29,8	3,6	29,2
12	1083	854	319	56	145	1,0	52,8	3,9	48,6
13	1053	831	319	56	165	7,0	47,9	5,9	47,4

8,0 до 1,0 см, прочность возросла с 44,9 до 52,8 МПа. Полученные данные нельзя отбрасывать ввиду их большой разницы, ссылаясь на «человеческий фактор», поскольку все этапы работы выполнялись в соответствии с регламентом необходимых рекомендаций соответствующих государственных стандартов (ГОСТ). Интересно отметить, как прослеживается влияние фактора  $r$  на прочность – составы №4 и 6-7 отличаются между собой долей песка и щебня. Последний представляет собой гранитную породу, образующую прочный каркас, способный увеличить прочность бетона, что явно отражено в данных на примере состава №6, в котором доля крупной фракции доминирует, и, соответственно, его прочность выше прочности составов с меньшей долей щебня.

Этот эффект не всегда явно себя проявляет – на гравийном щебне более слабых пород эффект прироста прочности за счет повышения его доли проявляет себя только при накоплении определенного объема статистических данных.

В экспериментальных данных табл.2 существует еще один интересный момент, который стандартными методами, используемыми в большинстве случаев на практике в испытательной строительной лаборатории, никак не обработается и поставит

технолога в противоречивую ситуацию. Если сравнить составы №4 и №13, которые выполнены в различные дни, обнаружится, что при близком значении щебня и песка (разница между ними пренебрежимо мала) и одном и том же количестве цемента и шлака, прочность с увеличением воды со 155 л/м<sup>3</sup> до 165 л/м<sup>3</sup> также увеличивается. Увеличивается и осадка конуса, что ожидаемо, однако ситуация с прочностью, на первый взгляд, противоречит известному соотношению Боломея-Скрамтаева, утверждающему, что прочность с ростом В/Ц должна уменьшаться. Противоречие само собой исчезает, если учесть коэффициент вариации – его 5-6% значение приводит к заключению о том, что среднее значение прочности состава №4 будет примерно равным 46,7 МПа, с возможными отклонениями в большую или меньшую сторону в диапазоне вплоть до 7 МПа. Следовательно, близкие по расходам материалов составы, при этом реализованные в различные дни, больше управляются законами теории вероятности, чем соотношениями типа Боломея-Скрамтаева. На практике это необходимо всегда учитывать при интерпретации экспериментальных данных, и модель, которая обрабатывает эти данные, должна ориентироваться в первую очередь на средние значения интересующих свойств бетона/бетонной смеси, а все выво-

ТАБЛИЦА 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ ПЛАН

№	Щ, кг/м <sup>3</sup>	П, кг/м <sup>3</sup>	Ц, кг/м <sup>3</sup>	Шл, кг/м <sup>3</sup>	В, л/м <sup>3</sup>	R <sub>28</sub> , МПа (эксп)	R <sub>28</sub> , МПа (модель)
1	1046	825	318	56	170	48,4	47,0
2	1031	813	319	56	180	43,8	46,5
3	985	777	425	75	170	66,1	65,6
4	1148	722	319	56	170	48,5	48,9
5	906	965	319	56	170	45,5	44,4

ды необходимо делать с учетом диапазона потенциальных отклонений фактических значений от средней величины.

Для оценки предсказательной способности прочности полученной модели для подвижных смесей (расход воды 170-180 л/м<sup>3</sup>) были сгенерированы произвольные 5 составов при различных соотношениях между материалами (см. табл. 3) и произведен расчет прочности. Далее эти составы были реализованы в лаборатории и выполнены соответствующие измерения прочности на 28-е сутки. Как видно из табл. 3, сравнение предсказательного расчета и экспериментальных значений имеет отличное согласие между собой.

В последних двух столбцах табл. 2 представлены результаты обработки экспериментальных данных и дана оценка средних значений экспериментально наблюдаемых величин. Подкрашенные зеленым цветом ячейки отражают отклонения между экспериментальными и средними значениями в пределах 10%, для осадки конуса – отклонения, не превышающие 3 см. Ячейки с желто-оранжевым оттенком – отклонения для прочности в пределах 10-15%, для осадки конуса – от 3 до 5 см. Соответственно ячейки с красным оттенком фона – отклонения для прочности в пределах 15-20% и для осадки конуса – свыше 5 см. Отметим, что состав №8 по своему фактическому экспериментальному значению прочности укладывается в диапазон прогнозиру-

емых отклонений от средних значений (определяемых по модели) в пределах 3σ (σ – среднеквадратическое отклонение), определяемых по коэффициенту вариации 5-6%, хотя и находится на границе этого диапазона.

### Оптимизация состава. Оценка экономического эффекта от вовлечения шлака в состав бетона

Для оценки экономического эффекта от вовлечения шлака в состав бетона зафиксируем стоимость используемых материалов, актуальную на состояние август-сентябрь 2023 года для московского региона: щебень гранитный – 3000 руб/т, песок – 650 руб/т, цемент – 7900 руб/т, ТМШ – 4000 руб/т, пластифицирующая добавка – 80 руб/кг. Для оценки экономического эффекта от шлака воспользуемся представлением тернарных диаграмм, получаемых по результатам обработки экспериментальных данных табл. 2 – рис. 2. Оценку экономической эффективности будем проводить по следующей методике. Во-первых, необходимо зафиксировать базовый состав без шлака – определить его свойства, осадку конуса и прочность, а также себестоимость. Во-вторых, зафиксировать параметр, отвечающий за расход шлака на объем бетонной смеси – например, это может быть массовая доля шлака относительно цемента –  $k = Шл/(Шл+Ц)$ . Далее необходимо в составах с заданной долей шлака  $k$  найти состав, имеющий свойства, аналогичные свойствам базового состава без шлака. После этого, имея два состава с одинаковыми свойствами, можно сравнивать их себестоимость и делать выводы.

В соответствии с вышесказанным, в качестве базового состава выберем такой – щебень – 1029 кг/м<sup>3</sup>, песок – 842 кг/м<sup>3</sup>, цемент – 350 кг/м<sup>3</sup>, вода – 180 кг/м<sup>3</sup>. Себестоимость единицы объема бетонной смеси такого состава будет составлять 6517 руб/м<sup>3</sup> (расход пластифицирующей добавки – 0,42% от массы вяжущего). Осадка конуса бетонной смеси и прочность бетона на 28-е сутки равны 5 см и 44,6 МПа, соответственно. Далее при  $k = 0,1$  (10% шлака по массе от смеси цемент+шлак) состав с аналогичными свойствами при таком же соотношении между песком и щебнем будет следующий – щебень – 1034 кг/м<sup>3</sup>, песок – 846 кг/м<sup>3</sup>, цемент – 322 кг/м<sup>3</sup>, шлак – 36 кг/м<sup>3</sup>, вода – 173 кг/м<sup>3</sup>. Добавление шлака уменьшает

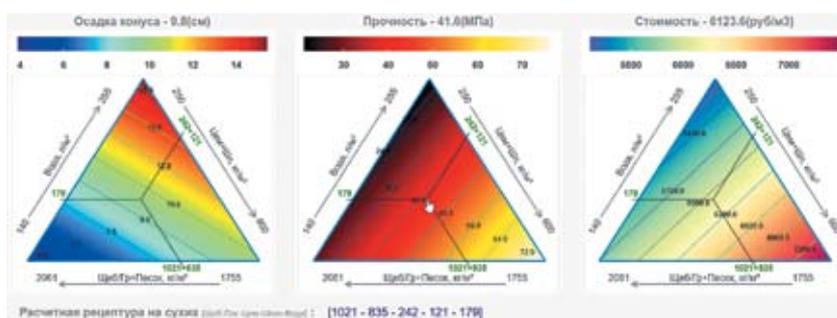


Рис. 2. Тернарные диаграммы, используемые для подбора состава бетона с заданным комплексом свойств и для решения проблемы оптимизации состава бетона. Слева направо – осадка конуса, прочность на 28-е сутки, себестоимость по используемым материалам.

водопотребность смеси, что позволяет снизить расход воды, и, как следствие, уменьшить расход цемента. Водоцементное отношение в базовом варианте состава – 0,5143, а в составе со шлаком – 0,5373. Несмотря на увеличение водоцементного отношения, прочность бетона сохраняется, по всей видимости, благодаря активности самого шлака. При этом себестоимость нового состава – 6460 руб/м<sup>3</sup> – меньше на почти 60 рублей от базового. Увеличивая  $k$  до 0,3, мы приходим к составу щебень – 1063 кг/м<sup>3</sup>, песок – 870 кг/м<sup>3</sup>, цемент – 256 кг/м<sup>3</sup>, шлак – 110 кг/м<sup>3</sup>, вода – 149 кг/м<sup>3</sup>. Отметим значительное сокращение водопотребности смеси, а также уменьшение расхода цемента почти на 100 кг/м<sup>3</sup> при сохранении прочностных характеристик бетона. Результирующая себестоимость последнего состава равна 6340 руб/м<sup>3</sup> – ожидаемый экономический эффект относительно базового состава составляет величину 177 руб/м<sup>3</sup>. Это величина существенно превышает аналогичный эффект от использования пластифицирующих добавок. Так, для производства со средним месячным объемом выпуска бетонных смесей ~ 10 000 м<sup>3</sup> экономический эффект составит порядка 15-20 млн. руб/год.

Интересно оценить при каком соотношении между стоимостью цемента и шлака экономический эффект от последнего будет нивелироваться. Такую оценку можно легко сделать, проанализировав базовый состав и состав с  $k=0,3$  – при стоимости цемента ~ 6000 руб/т, себестоимость бетонной смеси без шлака сравнивается с себестоимостью смеси со шлаком. Таким образом, драйвером вовлечения шлака в состав бетона является в первую очередь соотношение между стоимостью цемента и шлака – например, в период 2018-2020 стоимость цемента была ниже 6000 руб/т, поэтому экономический интерес к использованию шлака в составах бетона не был настолько актуален, как это становится при рыночных реалиях 2023 года.

## Заключение

Прогресс в методах обработки экспериментальных данных и вычислительных возможностей позволяет поставить вопрос об определении и исследовании полномерной (во всем пространстве составов) структуры поверхности отклика свойств бетона. Успешно построенную модель можно использовать либо как практический, инженерный инструмент для решения задач поиска составов бетона с заданными свойствами и/или комплексной оптимизации составов бетона, либо как метод анализа влияния различных факторов на свойства бетона. В данной работе построена модель для изучения осадки конуса и прочности бетонов, содержащих шлак как один из сырьевых материалов, способный частично заменить некоторое количество цемента. Анализ себестоимости единицы объема бетонной смеси показывает, что при определенном соотношении между стоимостями цемента и шлака, использование последнего имеет потенциал значительного ее снижения – 150 до 200 руб/м<sup>3</sup>.

## Библиографический список

1. ГОСТ 25192-2012. Бетоны. Классификация и общие технические требования.
2. ГОСТ 7473-2010. Смесей бетонные. Технические условия.
3. ГОСТ 26633-2015. Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия.
4. Queiro N.V., Hafika R.T., Shyu W, Goel T., Vaidyanathan R., Tucker P.K., Surrogate-based analysis and optimization // *Progress in Aerospace Sciences*, 41, 2005, 1-28 p.
5. Винарский М.С., Лурье М.В., Планирование эксперимента в технологических исследованиях. – Киев: Техника, 1975. – 168 с.
6. Дрейпер Н., Смит Г., Прикладной регрессионный анализ. Множественная регрессия. – Изд-во Диалектика, 2017. – 912 с.
7. Р.О. Резаев, А.А. Дмитриев, Д.В. Чернявский, Применение вероятностных подходов для построения моделей «состав-свойство». – *Бетон и железобетон*, 4-5, 2022, с. 25-37.

**ВЫСТАВКА ОТДЕЛОЧНЫХ  
И СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ,  
ИНЖЕНЕРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ  
И АРХИТЕКТУРНЫХ ПРОЕКТОВ**

**28 февраля –  
2 марта 2024**

 **YugBuild**

Краснодар  
ВКК «Экспоград Юг»

**14**  
разделов  
экспозиции

**190**  
участников

**9 535\***  
посетителей

12+

\*Статистика приведена  
по выставке YugBuild 2022 года

Организатор



+7 (861) 200-12-34  
yugbuild@mvk.ru

**Забронировать  
стенд**

**[www.yugbuild.com](http://www.yugbuild.com)**



# ЗАМЕДЛИТЕЛИ ТВЕРДЕНИЯ В ЗАКЛАДКАХ НА ОСНОВЕ МИНЕРАЛИЗОВАННЫХ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТНЫХ СИСТЕМ

**Н.Х. БЕЛОУС**, канд. хим. наук, ст. научный сотрудник, **С.П. РОДЦЕВИЧ**, научный сотрудник, **В.В. ШЕВЧУК**, доктор хим. наук, член-корреспондент НАН Беларуси, зав. отделом, **О.В. ЛУКША**, канд. хим. наук, зав. лабораторией, **Н.П. КРУТЬКО**, доктор хим. наук, зав. отделом, Государственное научное учреждение «Институт общей и неорганической химии Национальной Академии наук Беларуси», Минск, Республика Беларусь, **А.С. СТРОМСКИЙ**, руководитель направления ООО «ПроТек Inginiring», РФ.

*Ключевые слова: минерализованные портландцементные системы, твердение, закладочные смеси, жидкости затворения, техногенные продукты, рассолы, замедлители твердения, месторождения минеральных солей, прочность при одноосном сжатии*

*Keywords: mineralized Portland cement systems, hardening, filling mixtures, mixing fluids, man-made products, brines, hardness retarders, mineral salt deposits, uniaxial compression strength*



Представлены результаты изучения свойств твердеющих закладочных смесей на основе минерализованных портландцементных систем, которые предназначены для заполнения выработанных пространств разработанных солевых месторождений. Смеси содержат ~ 90-95% техногенных продуктов в виде активных и инертных заполнителей, таких как твердые ангидритогипсовые и галитовые отходы, а также жидкостей затворения – бишофитовых или галитовых рассолов. Оптимизированы составы малоцементных закладок и исследовано влияние содержания портландцемента, вида и содержания замедлителей твердения, жидко-твердого соотношения на их технологические свойства.

The results of studying the properties of hardening filler mixtures based on mineralized Portland cement systems, which are designed to fill the developed spaces of salt deposits, are presented. Mixtures contain ~ 90-95% of technogenic products in the form of active and inert aggregates such as solid anhydrite gypsum and halite waste, as well as mixing liquids – bi-shofite or halite brines. The compositions of low-cement bookmarks are optimized and the influence of the content of Portland cement, the type and content of hardening retarders, their liquid-solid ratio on their technological properties is investigated.

В связи с появлением новых технологий добычи солей и наращиванием их мощностей, весьма актуальны вопросы размещения, складирования и утилизации отходов солевых разработок. Один из путей решения проблемы – использование их в качестве активных, инертных заполнителей и жидкостей затворения твердеющих материалов, которые закладывают в выработанные пространства шахт [1, 2]. Закладка не только позволяет утилизировать отходы разработки в большом количестве (~90-95%), но и обеспечивает устойчивость массивов, безопасность нахождения на них техники и персонала, поддерживает породы, позволяет управлять горным давлением, повышать степень извлечения руды и сохранять водоносный горизонт [3]. Применение классических портландцементных (ПЦ) материалов, полученных при затворении цемента водой, в условиях солевых отложений не обеспечивает герметичность пространств, приводит к растворению солей стенок выработок, кавернообразованию и формированию заполненных соевыми растворами зазоров с большим содержанием жидкой фазы, в которых не происходит отверждения. Для того, чтобы снизить степень растворения солей стенок используют либо дорогостоящие вяжущие, в которых в качестве жидкостей затворения (ЖЗ) применяют насыщенные солевые растворы – рассолы (пример, магниевые вяжущие), либо более дешевые и доступные минерализованные портландцементные (МПЦ) составы, ЖЗ которых также содержат близкие к насыщению растворы солей [4]. Их применение является наиболее простым и эффективным способом «качественного» цементирования солевых выработок. Кроме этого, преимуществом материалов является возможность ускорить твердение закладок при отрицательных температурах и получить незамерзающие составы, пригодные к применению в многолетнемерзлых породах.

Основными регулируемыми технологическими параметрами закладочных смесей (ЗС) являются их хорошая прокачиваемость по трубопроводам, длительные сроки (начало и конец) схватывания, связность и однородность структур, высокая дальность растекания и полнота заполнения выработок [1, 3], при этом стоимость ЗС, как правило, должна быть сопоставима с себестоимостью добываемой соли. Отвержденный закладочный материал (ЗМ) дол-

жен формировать однородно-структурные массивы с регулируемыми прочностными и деформационными характеристиками, то есть обладать определенной прочностью при одноосном сжатии, минимальными коэффициентами компрессии и усадкой при твердении, которые регулируются жидко-твердым соотношением (Ж/Т), содержанием в нем ПЦ и техногенных заполнителей [1, 3].

Механизм влияния солевых затворителей на твердение ПЦ в настоящее время изучен мало, но известно [4], что использование минерализованных растворов с содержанием соли от 10 до 50 г/л, а тем более рассолов с высокой степенью минерализации оказывает существенное влияние на интенсивность твердения и сроки схватывания составов, степень влияния определяется в том числе природой и концентрацией конкретного затворителя [4].

*Целью* данной работы являлась разработка эффективных, удовлетворяющих требованиям к закладочным материалам малоцементных составов на основе минерализованных портландцементных систем, содержащих замедлители твердения, а в качестве заполнителей и жидкостей затворения – твердые и жидкие отходы калийно-магниевого солевой разработки.

### **Методика эксперимента**

Наиболее частым способом оптимизации составов ЗС считают выбор типа и соотношения заполнителей и ПЦ, а для варьирования прочностью закладки в разном возрасте исследуют закономерности ее изменения в зависимости от расхода ПЦ и Ж/Т. Наиболее важными параметрами при изучении свойств ЗС является возможность транспортирования их по трубопроводам в выработанное пространство и полнота его заполнения. Решение данных вопросов гарантирует получение массивов, отвечающих требованиям безопасной отработки месторождений.

ЗС – однородные, как правило, мелкодисперсные (основная масса частиц имеет дисперсность  $\leq 0,14$  мм) капиллярно-пористые системы, которые отличаются от строительных бетонов высоким Ж/Т соотношением и небольшим содержанием вяжущего (~5-10%) [1, 3]. В них присутствует мало ПЦ, нет традиционных крупных частиц (щебень, гравий) и содержится большое количество мелких заполнителей, в связи

с чем ЗС характеризуются высокой текучестью и пластичностью, позволяющими транспортировать смеси на большие расстояния и качественно заливать пространства выработок.

При выполнении работы использовались:

– *портландцемент ПЦ 500 Д0*, ГОСТ 10178-85 (ОАО БЦЗ, г. Костюковичи, Могилевская обл., РБ), начало схватывания – 15 мин, конец – 480 мин, НГЦТ – 30,5%, плотность зерен – 3300-3450 кг/м<sup>3</sup>, удельная поверхность – 3500-3800 см<sup>2</sup>/г;

– *портландцемент песчаный ПЦП 500*, СТБ 2115-2010 (ОАО «Красносельскстройматериалы», г. Красносельск, Гродненская обл., РБ). ПЦ получен совместным помолом клинкера, кварцевого песка (ГОСТ 8736) и гипсового камня – щебня (ГОСТ 4013), начало его схватывания – 49 мин, конец – 240 мин, НГЦТ – 28,5%, плотность зерен – 3100-3200 кг/м<sup>3</sup>, удельная поверхность – 3000-3200 см<sup>2</sup>/г; массовая доля оксида магния – 5%, оксида кальция – 2%, щелочных оксидов – 1%;

– *заполнители – отходы галита* (ОГ), содержащие 83,4% NaCl, имеющие следующий химический состав: Na<sup>+</sup> – 31,8%, K<sup>+</sup> – 1,6%, Mg<sup>2+</sup> – 1,72%, Ca<sup>2+</sup> – 0,08%, SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> – 6,78%, Cl<sup>-1</sup> – 52,2 %;

– *ангидритогипсовые отходы* (АГО) переработки полигалитовой руды состава: K<sup>+</sup> – 0,19%, Mg<sup>2+</sup> – 2,17%, Ca<sup>2+</sup> – 20,48%, Na<sup>+</sup> – 0,34%, SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> – 64,88%, Cl<sup>-1</sup> – 0,52%. Массовое соотношение АГО: ОГ было постоянным и составляло – 2,2:1. Предварительно перед смешиванием с остальными компонентами для воспроизводимости результатов проводился контроль влажности и объемной насыпной массы отходов по ГОСТ 9758-2012, а также тонкости их помола ситовым анализом (сито с сеткой №008).

– *ускоренное структурообразование МПЦ* и необходимость длительной доставки ЗС к месту закладки предполагало введение замедлителей твердения (ЗТ). Оптимальная концентрация ЗТ была выбрана опытным путем и варьировалась в интервале 0,2-2,9% от твердой фазы ЗМ. В качестве ЗТ апробированы отсеянные на сите (сетка №008) реактивы и отходы производств:

• Лигносульфонаты технические (ЛСТ), ТУ 2455-028-00279580-2014;

• Винная кислота (ВК), ГОСТ 5817;

• Борная кислота (БК), ГОСТ 18704;

• Бура, тетраборат натрия (ТБН), Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>, ГОСТ 4199;

• Триполифосфат натрия (ТПФН), Na<sub>5</sub>P<sub>3</sub>O<sub>10</sub>, ГОСТ 13493;

• Сахароза, ГОСТ 33222;

• Глюкоза, ГОСТ Р 70295;

• Карбамид, мочевины (М), ГОСТ 2081;

• Кормовая сахарная патока, меласса (КП), ГОСТ 30561;

• Крахмал (К) картофельный, ГОСТ Р 53876;

• Молочная сыворотка (МС), ГОСТ 34352.

– полное приготовление ЗС осуществлялось при смешивании ОГ, ПЦ, АГО и ЗТ и последующем затворении смесей жидкими отходами разработки: бишофитовым щелоком (БЩ) (30%-ный раствор состава: MgCl<sub>2</sub> – 34,54%, MgSO<sub>4</sub> – 2,35%, NaCl – 0,25%, KCl – 0,95%) плотностью 1,35 г/см<sup>3</sup> или жидким галитовым отходом (ЖГО) (24%-ный раствор галита) плотностью 1,2 г/см<sup>3</sup>. Предполагается поступление в выработанное пространство готовых к применению ЗС, включающих в себя все необходимые компоненты.

Параметром, контролируемым при приготовлении ЗС, является их плотность, которая зависит от Ж/Т. Плотность ЗС (ρ, г/см<sup>3</sup>) определяют по ГОСТ 5802, контролируют также внешнее состояние смесей, их сроки схватывания с помощью прибора Вика по ГОСТ 310.3 и ГОСТ 23789, растекаемость (Р) по Сутгарду в соответствии с ГОСТ 23789-79 (погрешность метода составляла ±2,5%). Формируют образцы-кубики по ГОСТ 10180 в металлических, разъемных формах, которые хранят при 16-20°C в течение 2-3 суток, затем вынимают из форм, маркируют и до момента испытаний выдерживают при температуре 20±2°C и относительной влажности воздуха – 20-30% (такие условия реализуются в выработанных пространствах месторождений). После этого по ГОСТ 10180 определяют прочность при одноосном сжатии (σ<sub>сж</sub>, МПа) и среднюю плотность (D, г/см<sup>3</sup>) цементного камня по ГОСТ 2211. Закладка может набирать прочность длительное время (до года и более), но наиболее интенсивный ее рост наблюдается в первые три месяца. Для контроля ее качества испытания на прочность при одноосном сжатии в работе проводили в процессе твердения ЗС через 7, 14 и 28 суток. Разрушенные образцы использовали для исследований качественного и полуколичественного

фазового состава материалов, рентгенофазовый анализ (РФА) проводили на дифрактометре ДРОН-2, методом порошковой дифрактометрии. Запись дифрактограмм (ДГ) проводилась в условиях непрерывной съемки с использованием рентгеновского излучения  $\text{CuK}\alpha$  с длиной волны 0,15405 нм, при напряжении рентгеновской трубки 40 кВ, анодном токе – 40 мА.

### Результаты и их обсуждение

Механизм твердения МПЦ-систем очень сложен, состоит из множества параллельно и последовательно протекающих реакций, которые начинаются сразу после затворения цементного клинкера ЖЗ. В процессе растворения ПЦ происходит его гидратация, при которой первыми гидратными новообразованиями являются этtringит и гидроксид кальция. Несмотря на то, что переход минералов клинкера в гидроксидную форму происходит на фоне повышенной концентрации солей, начиная с момента подвода растворителя и заканчивая формированием поликристаллической структуры камня, последовательность гидратации, коагуляции и кристаллизации ПЦ при затворении соевыми ЖЗ, по сравнению с их классическими составами, остается неизменной [4]. Образующиеся кристаллы со временем срачиваются между собой, результатом чего является формирование кристаллического сростка, что совпадает по времени с окончанием схватывания цемента. Затем камень уплотняется за счет продолжающихся реакций взаимодействия ПЦ с минерализованным раствором, частичного обезвоживания и дальнейшей кристаллизации. Значительным преимуществом МПЦ является улучшение их реологических свойств и повышение пластичности и подвижности минерализованного теста по сравнению с классическим. В целом, гидратация минералов в МПЦ протекает с образованием гидросиликатов, гидросульфоалюминатов и гидроалюминатов кальция. Поскольку в начальный период в тесте поддерживается избыток ионов кальция, часть гидроалюминатов кальция в присутствии хлоридов переходит в моносульфатную форму гидроалюмината, кристаллизу-

ющуюся одновременно с этtringитом [4, 9], затем на фоне солевых растворов образуются двойные соли гидратных и хлоридных компонентов. Это обуславливает ускоренное структурообразование, сокращение времени существования коагуляционных структур и снижение сроков схватывания МПЦ, а интенсивность процессов определяется видом и степенью минерализации ЖЗ. При использовании различных солевых растворов она различна [4]. В табл. 1 приведен сравнительный анализ свойств отвержденного МПЦ-теста на основе цементов ПЦ 500ДО и ПЦП 500, не содержащих заполнителей и добавок, затворенных водой, бишофитовым щелоком и жидким галитовым отходом. Составы, затворенные водой, характеризовались началом схватывания – 0,5-1 ч, окончанием – 5-8,5 ч, плотностью цементного теста – 1,92-1,94 г/см<sup>3</sup>, цементного камня – 1,7-1,8 г/см<sup>3</sup>, прочностью при одноосном сжатии ( $\alpha_{сж}$ ) в 28-суточном возрасте – 30-40 МПа (табл. 1, обр. 1 и 4). Поскольку на практике применяют большее Ж/Т теста, чем в тесте нормальной густоты, которое из-за жесткости, используется редко, сроки его схватывания отличались в сторону увеличения от указанных в паспорте.

Затворение ПЦ ЖГО сопровождалось необходимостью увеличения Ж/Т, ускорением твердения на ранней стадии (нач. схват. – 0,17-0,33 ч) и повышением плотности растворных смесей (1,95-2 г/см<sup>3</sup>) и цементного камня (1,87-1,97 г/см<sup>3</sup>) (см. табл. 1, обр. 3, 6). При этом фиксировался рост времени окончания схватывания до 8-9 ч и увеличение  $\alpha_{сж}$  в 28-суточном возрасте до 32-57 МПа.

При использовании в качестве ЖЗ высококонцентрированного БЩ, в результате пониженной концентрации гидроксила и повышенной ионной силы цементного раствора, гидратация резко ускорялась, результатом являлось очень быстрое осаждение частиц, сокращение времени формирования коагуляционной структуры и сроков начала схватывания (начало – 0,02 ч, конец – 0,04 ч), то есть происходило нарушенное структурообразование МПЦ. При этом сформировать образцы-кубики из теста не представлялось возможным (табл. 1, обр. 2 и 5). Согласно

ТАБЛИЦА 1. СВОЙСТВА ПЦ-ТЕСТА, ЗАТВОРЕННОГО БИШОФИТОВЫМ ЩЕЛОКОМ И ЖИДКИМ ГАЛИТОВЫМ ОТХОДОМ

№ п/п	Вид и содержание ПЦ, %	Вид и содержание ЖЗ	Ж/Т	Плотности, г/см <sup>3</sup>		Сроки схватывания, ч		Прочность при одноосном сжатии, МПа, сут			R, см	Примечание
				Тесто, $\rho$	камень, D	начало	конец	7	14	28		
1	70,9 ПЦП 500	29,1 H <sub>2</sub> O	0,41	1,92	1,7	1,0	5,0	22	28	30	18	-
2	66,7 ПЦП 500	33,3 БЩ	0,5	-	-	0,02	0,04	-	-	-	-	Сроки схватывания не позволяют сформировать 3М
3	66,7 ПЦП 500	33,3 ЖГО	0,5	1,95	1,87	0,33	8,0	22	29	32	19	-
4	69,9 ПЦ500ДО	30,1 H <sub>2</sub> O	0,43	1,94	1,8	0,5	8,5	35	38	40	18	-
5	66,7 ПЦ500ДО	33,3 БЩ	0,5	-	-	0,02	0,04	-	-	-	-	Сроки схватывания не позволяют сформировать 3М
6	66,7 ПЦ500 ДО	33,3 ЖГО	0,5	2,0	1,97	0,17	9	29	48	57	20	-

[5] БЩ является ЖЗ, наиболее эффективно ускоряющей твердение ПЦ в первые сутки (силикатные составляющие реагируют с ним моментально), однако на более поздних стадиях, в результате резких деформационных изменений, разрушающих структуру, наблюдается интенсивный сброс прочности на 30-40%. После обменной реакции магния с ионами кальция в МПЦ проявляется значимая роль катиона щелока, который с алюминийсодержащими составляющими ПЦ и продуктами их гидратации, также формирует двойные соли [4]. Исследования работ [4, 5] свидетельствуют о том, что для минералов ПЦ алита, белита и алюмоферрита БЩ является наиболее агрессивным агентом, исключение составляет лишь трехкальциевый алюминат – СзА.

Между тем, нами была выявлена целесообразность утилизации в качестве ЖЗ именно данного отхода солевой разработки – бишофитового щелока. Вывод о повышенной стойкости алюмината в  $MgCl_2$  и, соответственно, ПЦ с более высоким содержанием алюминатов, к которым может быть отнесен и ПЦ 500 Д0, как и небольшое его количество в ЗС и повышенная степень заполнения (~90%) техногенными

заполнителями, регулирующими прочность и деформационные изменения систем, позволяют предположить, что применение БЩ в дальнейшем обеспечит нормальное твердение материалов с постоянным ростом прочности в течение длительного времени [4].

При варьировании Ж/Т, содержания ПЦ в МПЦ была исследована интенсивность структурообразования и набора прочности ЗС. Получены высоконаполненные, малоцементные составы, содержащие в качестве заполнителя смесь твердых ОГ и АГО, а ЖЗ – жидкий отход – БЩ. Интенсивное структурообразование ЗС и необходимость их длительной доставки к месту закладки предполагало также дополнительное введение в твердую фазу или в ЖЗ замедлителей твердения (ЗТ) [6]. В табл. 2 приведены результаты изучения свойств материалов, затворенных БЩ и содержащих большое количество твердой фазы (Ж/Т – 1:3,9) при варьировании вида ЗТ.

Механизм действия ЗТ в классических ПЦ заключается в образовании труднорастворимых защитных адсорбционных пленок на поверхности зерен цемента и продуктов твердения, препятствующих контактирова-

**ТАБЛИЦА 2. СОСТАВЫ И СВОЙСТВА ЗС, ЗАТВОРЕННЫХ БЩ (Ж/Т -1:3,9) С РАЗЛИЧНЫМИ ВИДАМИ ЗАМЕДЛИТЕЛЕЙ ТВЕРДЕНИЯ**

№ п/п	Состав твердой фазы, %			Плотность, г / см <sup>3</sup>		Сроки схватывания, ч		Прочность при сжатии, МПа, сут			R, см
	ПЦ	АГО +ОГ	ЗТ	ЗС	ЗМ	Нач.	Кон.	7	14	28	
1	10,5 ПЦ500ДО	89,5	-	1,55	1,52	0,08	8	4,5	4,8	5,0	18
2	10,2 ПЦ500ДО	89,3	0,5 ЛСТ	1,48	1,39	0,25	25	2,9	2,9	2,9	20
3	9,1 ПЦ500ДО	89,4	1,5 ТБН	1,87	1,78	5,5	28	3,8	3,8	4,0	22
4	9,1 ПЦ500ДО	89,4	1,5 глюкоза	1,83	1,77	0,58	9	2,9	2,9	3,8	18
5	9,1 ПЦ500ДО	89,4	1,5 БК	1,85	1,78	3,3	22	4,8	4,8	5,7	22
6	9,1 ПЦ500ДО	89,4	1,5 сахароза	1,80	1,79	0,08	2	2,8	2,8	3,8	18
7	9,2 ПЦ500ДО	89,8	1,0 БК	1,84	1,81	2	3	4,8	4,8	6,7	22
8	9,2 ПЦ500ДО	90,6	0,2 сахароза	1,84	1,73	0,13	3	2,9	3,8	3,8	18
9	9,2 ПЦ500ДО	89,9	0,9 ТБН	1,86	1,77	2	4	3,8	5,7	8,6	22
10	9,2 ПЦ500ДО	90,3	0,5 ТБН	1,86	1,77	0,5	2,3	3,8	5,7	9,0	22
11	9,0 ПЦ 500ДО	88,1	2,9 МС	1,75	1,73	0,08	8	2,9	6,7	6,7	18
12	9,2 ПЦ 500ДО	90,3	0,5 КП	1,77	1,75	0,08	8	2,9	3,8	3,8	20
13	9,2 ПЦ 500ДО	89,9	0,9 КП	1,69	1,66	0,08	8	3,8	3,8	4,8	22
14	9,6 ПЦ 500ДО	89,4	1,0 М	1,72	1,70	0,17	8	2,9	4,8	5,7	18
15	9,6 ПЦ 500ДО	89,4	1,0 К	1,65	1,6	0,05	3	2,9	4,8	6	18
16	9,6 ПЦ 500ДО	89,4	1,0 ТПФН	1,75	1,74	0,17	4	3,8	4,8	4,8	22
17	9,6 ПЦ 500ДО	89,4	1,0 ВК	1,64	1,61	0,08	5	3,8	6,8	7	22
18	12,0 ПЦП 500	88,0	-	1,85	1,8	0,08	8	4,8	5	7,7	20
19	13,3 ПЦП 500	86,1	0,6 ЛСТ	1,52	1,5	0,42	8	-	2,9	2,9	20
20	12,1 ПЦП 500	85,8	1,6 БК+0,5 ЛСТ	1,78	1,76	2,5	8	3,8	4,8	4,8	22
21	8,1 ПЦП 500	90,8	1,1 ЛСТ	1,61	1,47	0,9	9	1,9	1,9	1,9	18
22	9,9 ПЦП 500	89,5	0,6 ЛСТ	1,60	1,48	0,5	9	1,9	2,9	2,9	20

нию их между собой и с ЖЗ, что тормозит гидратацию и гидролиз клинкерных минералов в раннем периоде твердения, замедляет коагуляцию гидратных новообразований, способствует длительному сохранению подвижности смесей, снижает прочность коагуляционных структур и образование зародышей кристаллизации [6-8]. Пленки существуют как в виде вязких слоев молекул ПАВ, экранирующих твердую фазу, образующихся при введении сахаров, их производных, крахмала, кормовой сахарной патоки, технических лигносульфонатов [6-8], так и непроницаемых труднорастворимых фазовых слоев, формирующихся при взаимодействии ЗТ с реакционноспособными атомами клинкера и продуктами твердения с образованием внутрикомплексных хелатных соединений (наблюдается при введении борной, винной кислот и их солей). Возможны комбинации механизмов, определяющиеся видом ЗТ, рН ЗС, содержанием индивидуальных составляющих в ПЦ,  $\zeta$  – потенциалом ПЦ и новообразований, условиями твердения систем. Согласно классификации [8] эффективность замедления варьируется от средней (углеводы – моно или полисахариды, лигносульфонаты, бораты, фосфаты, борная кислота) до высокой (винная кислота, тартраты).

По результатам полуколичественного РФА нами установлено (рис. 1, а), что в МПЦ с различными видами ЗТ, характеризующихся небольшим количеством БЩ (Ж/Т – 1:3,9) через 3-4 месяца после затворения, помимо исходных кристаллических фаз галита – 3-10%, ангидрита – 13% и двуводного сульфата кальция – 27%, на ДГ обнаруживались положения рефлексов, характерные для гидроксисиликатов (рис. 1а, обр. 1, 2) – пломбирита ( $\text{Ca}_5\text{Si}_6\text{O}_{16}(\text{OH})_2\cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ) – 8%, клинотоберморита ( $\text{Ca}_5\text{Si}_6(\text{O},\text{OH},\text{F})_{18}\cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) – 8-12%, женнита ( $\text{Ca}_9\text{H}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}(\text{OH})_8\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) – 3%, гидроалюмосиликатов кальция – морденита ( $\text{CaAl}_2\text{Si}_{10}\text{O}_{24}\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) – 6%, ковлезита ( $\text{CaAl}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) – 5%, присутствуют также пики карбонатов: параалюмогидроксиалюмината – 6% и соединений магния – хлорартинита, карбоната гидроксихлорида магния – 1%, гидроксихлорида магния – 1-4%, помимо этого обнаруживается до 13-32% хлорида калия (рис. 1а, обр. 1-3). Сравнительно высокое содержание ангидрита (до 13%), вероятно, обусловлено дефицитом гидратной воды при используемых Ж/Т.

Предопределить и объяснить интенсивность замедляющего эффекта добавок ЗТ в каждой конкретной исследуемой системе очень сложно, тем более, что их поведение в МПЦ не изучено. По этой причине вид ЗТ и его содержание подбираются экспериментально в пределах известных апробированных дозировок [8]. Важным фактором является также то, что в присутствии минерализованных ЖЗ в ПЦ-системах может возникать конкурирующая адсорбция хлорид-ионов с диссоциирующими ионами ЗТ. Известно, что интенсивнее взаимодействуют с составляющими ПЦ добавки, образующие более труднорастворимые соли, быстрее кристаллизующиеся впоследствии за счет большего перенасыщения. В исследуемых составах (табл. 2, рис. 2) в качестве ЗТ были использованы дисахарид, не содержащий свободного гликозидного гидроксильного (сахароза) и моносахарид с альдегидной группой (глюкоза), которые согласно [6] в ПЦ-среде формируют неустойчивые комплексы сахаратов кальция. По степени замедления в классических ПЦ согласно [5, 6], сахароза более эффективна, чем глюкоза. Однако в МПЦ замедляющий эффект последней (табл. 2, обр. 4) превышает эффективность сахарозы (обр. 6, 8), что можно объяснить спецификой состава ЖЗ, дефицитом воды и неудовлетворительными условиями протекания гидратации и гидролиза клинкерных материалов. То же можно сказать и по поводу известных, промышленно используемых добавок ЗТ: кормовой патоки (КП) (мелассы) (обр. 12, 13), молочной сыворотки (МС) (обр. 11) и лигносульфоната технического (ЛСТ), которые не проявляют себя в ЗС, как на основе ПЦ 500ДО, так и песчанистого цемента ПЦП 500 (обр. 2, 19, 21, 22). В минерализованных средах в качестве ЗТ также не работает и винная кислота (ВК), которая обычно интенсивно понижает растворимость исходных минералов вяжущего (обр. 17) и проявляет согласно [6, 8] превосходный замедляющий эффект в классических ПЦ (рис. 2).

Наиболее существенное регулирование сроков схватывания ЗС на основе обоих ПЦ при приемлемом уровне прочности в широком интервале дозировок (ингибирующее действие проявляется при содержаниях 0,5-1,6% от содержания твердой фазы ЗМ) наблюдалось при использовании борной кислоты (БК) и тетрабората натрия (ТБН), вводимых в виде порошка в твердую часть

ЗМ (табл. 2 обр. 3, 5, 7, 9, 10, 20, рис. 2). Замедляющее действие боратных соединений авторы [9] объясняют интенсификацией растворения и гидролиза силикатов, значительным повышением в начальный период гидратации в их присутствии концентрации ионов кальция и гидроксильных групп в жидкой фазе цементного теста, увеличением рН среды, формированием устойчивых гидроксильных боратных комплексов и образованием на поверхности твердых фаз прочных непроницаемых пленок (табл. 2). ЗС с ТБН и БК характеризуются в минерализованных системах также хорошим пластифицирующим эффектом (Р конуса по Суттарду составляет 22 см) (табл. 2), а плотности полученных закладок достаточно высоки (для ЗС – 1,85-1,87 г/см<sup>3</sup>, ЗМ – 1,77-1,81 г/см<sup>3</sup>). Дополнительный положительный эффект добавок при их оптимальном содержании проявляется не только в росте сроков схватывания, вызванных уменьшением количества гидроксида кальция и повышением гидратных продуктов твердения, но и в росте прочности ЗС и снижении склонности структур к трещинообразованию [6, 8]. Надо заметить, что получение ЗМ с низким содержанием дисперсионной

среды и Ж/Т формирует кристаллизационные структуры материалов с низкой контракцией и усадочными деформациями. Результатом является получение при содержании ПЦ (8,1-10,5%) (табл. 2) достаточно прочных (8-9 МПа) ЗМ, которые через 28 сут твердения характеризуются низкими деформационными изменениями.

Как показали наши исследования, при увеличении дозировки ТБН от 0,5 до 1,5% (табл. 2, обр. 3, 9, 10) время начала схватывания возрастает от 0,5 до 5,5 ч, плотность ЗС почти не изменяется (1,86-1,87 г/см<sup>3</sup>), плотность ЗМ колеблется от 1,71 до 1,77 г/см<sup>3</sup>. Однако их  $\sigma_{сж}$  в 28-суточном возрасте, связанная с уменьшением общего количества гидратных фаз, при росте содержания добавки снижается от 9 до 4 МПа.

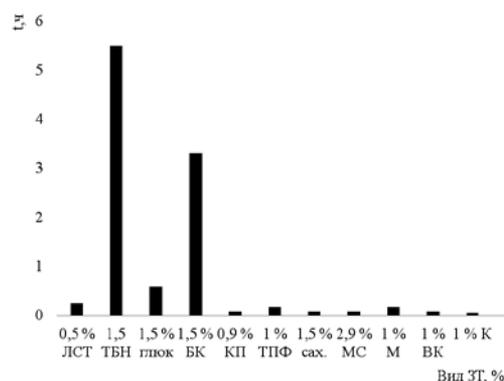
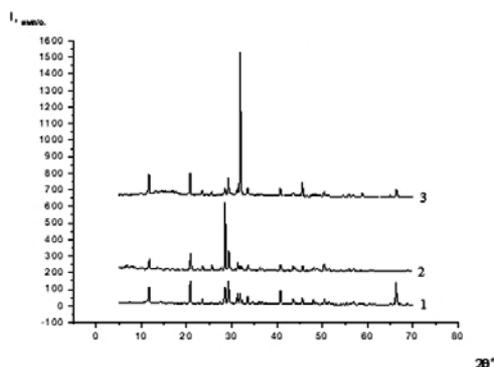


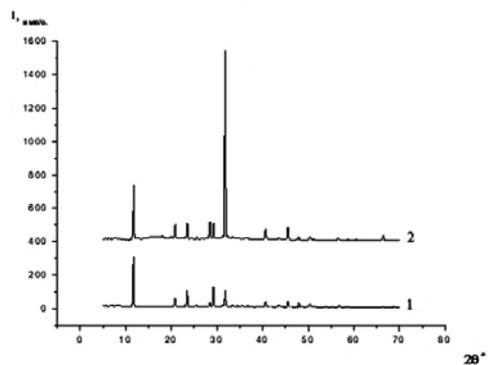
Рис. 2. Влияние вида ЗТ на начало схватывания закладок на основе ПЦ 500 ДО (~9%) при Ж/Т– 1:3,9

Полученные при указанном Ж/Т материалы демонстрируют себя, как типичные материалы хрупкого разрушения, для которых не характерен при испытании на сжатие бочкообразный характер деформации [1, 3, 10].

Поскольку известно [4, 8, 9], что эффективность ЗТ тем выше, чем больше концентрация гидроксида кальция в жидкой фазе, и, соответственно, ниже скорость гидролиза клинкерных составляющих. Степень замедления и дозировка боратных добавок определяются не столько видом, составом ПЦ и ЖЗ, но и в большой степени Ж/Т и содержанием ПЦ в исследуемых системах. Проведена вариация вида и содержания ЗТ в присутствии избытка БЩ при высоких Ж/Т (1:2,3), а также изучено влияние содержания ПЦ на начало схватывания, плотность и прочностные свойства ЗМ. Для составов с повышенным Ж/Т характерна гигроскопичность, обусловленная избытком БЩ. Даже при хранении в условиях относительной влажности воздуха ~20-30%, они сохраняют



а



б

Рис. 1. Дифрактограммы (ДГ) образцов ЗС, содержащих 8-9% ПЦ 500ДО через 4 мес. твердения: а – содержат 1,5% ТБН (1), 0,5% ЛСТ (2), 1,5 % БК (3), Ж/Т – 1:3,9, б – 1,5% ТБН (1) и 1,5% БК (2), Ж/Т 1:2,3

высокую пластичность и могут быть подвержены активной контракции (изменению объема цементного теста), превращаясь при влажности 60-80% в аморфную массу. Значения контракции ЗС с избытком БЩ согласно [7], из-за активного образования и перекристаллизации высоководных гидроксихлоридов кальция и карбонатов магния выше, чем при затворении водой или ЖГО, более чем в 10 раз. При этом среди комплексных новообразований МПЦ наибольшую опасность представляет гидросульфалюминат кальция, существенно увеличивающийся в объеме при твердении и способствующий разрушению ЗС. На ДГ ЗС на основе ПЦ 500 ДО с Ж/Т – 1:2,3 (рис. 16) присутствуют лишь пики, характерные для галита – 65%, ангидрита – 4%, полуводного – 1% и двуводного сульфата кальция – 24%, при этом продукты их твердения (гидраты гидроксисиликатов, алюминатов кальция или магния) не фиксируются, так как избыток БЩ сплошной, плотной пленкой покрывает значительные участки гидратных новообразований, создавая сложности с идентификацией минералов с помощью рентгенофазового анализа (РФА).

По литературным данным [4], при повышенном содержании БЩ может существенно разрушаться внутренняя структура МПЦ, а поскольку кристаллизация этрингита в контактной зоне происходит более интенсивно, чем в объеме цементного камня, также снижаться прочность сцепления с соляными породами. При этом время начала схватывания уменьшается до нескольких минут, это может приводить на практике к росту продавочного давления, гидроразрыву пластов и недоподъему растворов [1, 3]. Необходимо отметить, что введение в них ЗТ уже зарекомендовавших себя в МПЦ системах с большим содержанием твердой фазы (табл. 2, рис. 2), может оказаться менее эффективным. И действительно, как показал эксперимент (рис. 3), при Ж/Т – 1:2,3 в ЗС на основе М500ДО эффективность введения боросодержащих ЗТ значительно снижается.

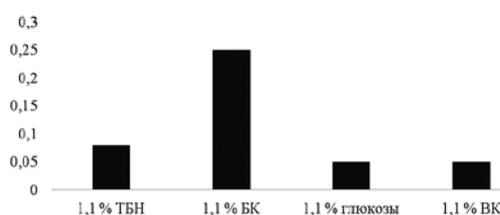


Рис. 3. Влияние вида добавки ЗТ на начало схватывания ЗС на основе ПЦ 500 ДО (~9%) при Ж/Т – 1: 2,3

При использовании 1,1% буры время начала схватывания ЗМ с Ж/Т – 1:2,3 существенно не возрастает, а добавление даже 1,1%  $H_3BO_3$  приводит к росту  $t_{нач}$  лишь до 15 минут (рис. 3). Не оказывают существенного влияния на начало схватывания и добавки глюкозы и ВК. В этой системе в ЗС формируется высокоусадочная кристаллизационная структура с высокой контракцией, для которой характерен при испытании прочности при одноосном сжатии пластический, вязкий, бочкообразный характер разрушения образцов с высокими коэффициентами сжатия. Образцы вязкого разрушения, как правило, характеризуются меньшими пределами прочности при одноосном сжатии. В настоящее время ведутся споры о преимуществах хрупкого или вязкого разрушения ЗМ с точки зрения безопасности проведения горных работ и наименьшего воздействия на закладочный массив [1, 3]. Известно, что хрупкое разрушение при малых деформациях может приводить к отслоениям массива, в то время, как менее прочное, но пластичное позволяет выдерживать большие деформационные нагрузки (в данном случае к энергии упругой деформации добавляются затраты на пластическую). В каждом конкретном случае необходимо делать выбор: использовать материалы хрупкого разрушения с более высокой прочностью при сжатии или вязкого – с меньшей  $\sigma_{сж}$ , но выдерживающей большие нагрузки [1, 3].

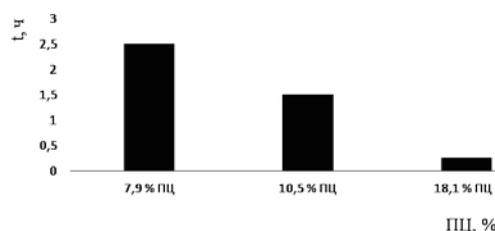


Рис. 4. Влияние содержания ПЦ 500 ДО на время начала схватывания ЗМ, содержащих 1% БК (Ж/Т – 1:3,9)

Основные технологические характеристики ЗМ (подвижность, сроки схватывания, плотность, прочность при сжатии, пластичность) регулируются не только Ж/Т и содержанием ЗТ, но и количеством ПЦ в системах (рис.4). Как показано на рис. 4, с ростом содержания ПЦ от 8 до 18% в ЗС на основе ПЦ 500 ДО (ЗТ – 1 масс. % БК) при одинаковом Ж/Т, время начала схватывания уменьшается пропорционально росту содержания ПЦ.

Для повышения прочности ПЦ-закладок казалось бы логично снизить их Ж/Т

либо повысить расход ПЦ при постоянном количественном и качественном составе заполнителей. При этом, естественно, необходимо сохранить подвижность ЗС, обеспечивающую их транспортабельность. В то время, как установлено нами, рост содержания ПЦ в ЗС однозначно способствует увеличению плотности ЗС и ЗМ, он изменяет их прочность при одноосном сжатии более сложным образом (рис. 5). В данном случае, вероятно, можно говорить о нормальном или нарушенном структурообразовании, контракционных явлениях и усадочных деформациях, выраженных в сроках схватывания ЗС и приводящих к изменениям пористой структуры МПЦ-систем. С большой долей вероятности, благодаря присутствию насыщенного раствора хлорида магния, можно говорить также о частичной активизации неиндифферентных заполнителей ЗС: ОГ и АГО, качество которых, вероятно, влияет на прочность ЗМ, что может сопровождаться, несмотря на отсутствие в них вяжущих свойств, набором прочности материалов в 28-суточном возрасте при содержании 5% ПЦ (рис. 5).

Таким образом, изучен процесс твердения минерализованных систем на основе портландцемента, затворенного бишофитовым щелоком — жидким отходом солевой разработки. Получены высоконаполненные ангидритогипсовыми и галитовыми отходами (содержание — 90-95%) закладочные составы, удовлетворяющие требованиям к материалам данного функционального назначения. Ускоренное структурообразование, снижение сроков начала схватывания, а также необходимость длительной доставки ЗС к месту закладки предполагает введение в них замедлителей твердения, среди которых наибольшую эффективность проявили боросодержащие добавки: борная кислота и тетраборат натрия. Являясь эффективными замедлителями минерализованных портландцементных составов, они пластифицируют и структурируют закладочные смеси, повышают их подвижность, плотность и прочность при одноосном сжатии. В работе показано, что технологические свойства закладок определяются совокупностью факторов: видом и содержанием портландцемента, замедлителей твердения, жидко-твердым соотношением смесей. При их оптимизации, с учетом комплексного воздействия, могут быть получены материалы, характеризующиеся при небольшом расходе

цемента (до 5 масс. %), высокой жизнеспособностью, связностью, однородностью структуры, регулируемой плотностью и прочностью при одноосном сжатии.

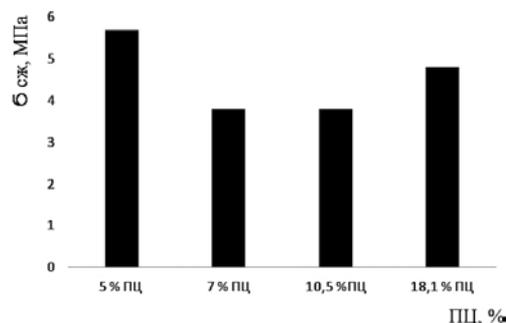


Рис. 5. Влияние содержания ПЦ 500 ДО на 28-суточную прочность при одноосном сжатии ЗМ, содержащих 1% БК (Ж/Т- 1:3,9)

#### Библиографический список

1. Кузьменко А.М., Петлованный М.В., Усатый В.Ю. Твердеющая закладка при обработке рудных крутых залежей в сложных горно-геологических условиях. Днепропетровск: НГУ, 2004, — 140 с.
2. Гаркушин П.К. Исследования и выбор составов твердеющей закладки для калийных рудников Прикарпатья: дисс... канд.техн.наук Ленинград: Ленингр. горный ин-т им. Г. В. Плеханова, 1972, — 179 с.
3. Битимбаев М.Ж., Крупник Л.А., Шапошник Ю.Н. Теория и практика закладочных работ при разработке месторождений полезных ископаемых. Алма-Аты: АВУЗ Казахстан, 2012, — 624 с.
4. Бакшуттов В.С. Минерализованные тампонажные растворы для цементирования скважин в сложных условиях. М., 1986, — 272 с.
5. Ружинский С.А. Ускорители схватывания и твердения в технологии бетонов // Журнал популярное бетоноведение, № 1, 2005, — 53 с.
6. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика. М.: Стройиздат, 1998, — 748 с.
7. Козлова В.К., Карпова Ю.В., Вольф А.В. Оценка эффективности добавок, замедляющих схватывание цементного теста // Ползуновский вестник, № 2, 2006, с. 230-233.
8. Овчинников В.П., Аксенова Н.А., Овчинников П.В. Физико-химические процессы твердения, работа в скважине и коррозия цементного камня. Тюмень: Издательско-полиграфический центр Экспресс, 2007, — 368 с.
9. Красовский П.С. Физико-химические основы формирования структуры цементных бетонов, Хабаровск: Издательство ДВГУПС, 2013, — 204 с.
10. Методические рекомендации по контролю качества закладочных смесей / Апатиты: Горный Институт, Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья, 1990, — 89 с.

# 100+

## TECHNO BUILD

X Международный  
строительный форум  
и выставка

[forum-100.ru](http://forum-100.ru)

3-6 октября 2023  
Екатеринбург



стать экспонентом

**18 720**  
посетителей

**322**  
экспонента

**688**  
спикеров

**207**  
секций

**21**  
страна

\*показатели 2022 года



Кузьмина Вера Павловна

# СТЕПЕНИ СРОДСТВА ТОНКОДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ СОВМЕСТНОЙ МЕХАНОАКТИВАЦИИ.

## Рабочие тезисы к вопросу о нанотехнологиях

**В.П. КУЗЬМИНА**, канд. техн. наук, академик АРИТПБ, генеральный директор ООО «Колорит-Механохимия» (Москва), технический эксперт Союза производителей сухих строительных смесей



В статье обсуждаются результаты опытно-промышленной предподготовки компонентов вещественного состава премиксов для сухих строительных смесей (ССС) способом механоактивации для расширения ассортимента и повышении качества сухих смесей. Предлагаемые премиксы участвуют на химическом уровне в процессе отверждения ССС после затворения водой. Производство ССС с применением механоактивированных премиксов является инновационным направлением развития производства.

In article there are considered results of trial experience of preconditioning of components of premixes composition for dry building mixes by a mechanically activating way for expansion of assortment and improvement of quality of dry building mixes (DBM). The offered premixes participate at a chemical level in hardening process of dry building mixes after mixing cement with water. The manufacture of mechanical activated premixes is an innovative direction of development of manufacture.

Разработка критериев средства тонкодисперсных материалов для совместной механоактивации полупродуктов вещественного состава строительных агломератов. На основе анализа их энергетического состояния после механоактивации сделаны выводы о критериях средства различных тонкодисперсных материалов органического и неорганического происхождения и создание энергосберегающих технологических решений при создании строительных агломератов.

Значительный вклад в развитие работ по совместной механоактивации полупродуктов для строительных технологий внесли отечественные ученые: Аввакумов Е.Г., Болдырев В.В., Кузьмина В.П., Баженов Ю.М., Гусев Б.В., Бикбау М.Я. и многие другие, а также их зарубежные коллеги, в числе которых Thiessen H., Heinicke G., Steinike U. (Германия), Kubo T. (Япония), Tkacova K. (Чехия), Balaz P. (Словакия), Welham N.J. (Канада), E.M., Lin I.J. (Израиль) и другие.

Из основных методов исследования активированных материалов (РСА, ДТА, ИК спектроскопия, ЯМР, ЭПР) для оценки степени механического воздействия наиболее перспективен метод РСА, который позволяет определить ряд информативных характеристик внутренних структурных нарушений, а также изменение параметров кристаллической решетки минералов и кристаллов, размеры ОКР и величины микродеформаций.

Необходима обоснованность и достоверность научных положений о факторах средства полупродуктов для создания строительных конгломератов, а именно:

- Для гармоничного и эффективного ведения процесса необходимо вводить в совместную реакцию механоактивации компоненты сырьевой смеси с одинаковой пространственной решеткой (первый фактор средства);
- Энергетическое средство (второй фактор) основано на строении электронных уровней и подуровней.
- Вибрационное средство (третий фактор) обусловлено устойчивостью структуры кристалла к вибрационному разрушению, т.е. энергией разрушения в ЭВ.

Достоверность полученных результатов подтверждена многолетним опытом работ по созданию строительных конгломератов и комплексом физико-химических методов

исследований, свойств представленных продуктов, полученных для строительства.

Мысли об использовании отдельных сверхмелких частиц для создания нужных предметов и материалов приходили в голову, как средневековым алхимикам, так и выдающимся ученым 17-18 веков, например М.В. Ломоносову (кандидатская диссертация) и французу П. Гассенди. Русский писатель Н.С. Лесков в своем знаменитом произведении о тульском механике Левше описывает практически классический пример нанотехнологии производства «механической блохи». При этом имеется загадочное совпадение – для наблюдения «наногвоздей» в подковах блохи по Лескову требовалось увеличение в 5 миллионов раз, то есть как раз предел возможностей современных атомно-силовых микроскопов, являющихся одним из основных средств исследования наноструктурных материалов. В современном научно-методическом плане на возможность создания новых материалов путем сборки малоразмерных объектов (атомов, молекул или их групп) указал нобелевский лауреат Р. Фейнман в 1959 г.

Термин «нанотехнология» впервые предложил японец Н. Танигучи в 1974 г. На возможность создания материалов с размерами зерен менее 100 нм, которые должны обладать многими интересными и полезными дополнительными свойствами по сравнению с традиционными микроструктурными материалами, указал немецкий ученый Г. Глейтер в 1981 г.

Он же и независимо от него отечественный ученый И.Д. Морохов ввели в научную литературу представления о нанокристаллах. Позднее Г. Глейтер ввел в научный обиход также термины нанокристаллические материалы, наноструктурные, нанофазные, нанокомпозитные и т. д.

В настоящее время интерес к новому классу материалов в области как фундаментальной и прикладной науки, так и промышленности и бизнеса постоянно увеличивается. Это обусловлено такими причинами, как:

1. Применение наноматериалов в технологии механоактивации, например, для создания трехмерной структуры пескобетона;
2. Стремление к миниатюризации изделий;
3. Уникальными свойствами материалов в наноструктурном состоянии;

4. Необходимостью разработки и внедрения новых материалов с качественно и количественно новыми свойствами;

5. Развитие новых технологических приемов и методов, базирующихся на принципах самосборки и самоорганизации;

6. Практическое внедрение современных приборов исследования и контроля наноматериалов (зондовая микроскопия, рентгеновские методы, нанотвердость).

Развитие фундаментальных и прикладных представлений о наноматериалах и нанотехнологиях в строительстве уже в ближайшие годы может привести к кардинальным изменениям во многих сферах человеческой деятельности: в материаловедении, энергетике, электронике, информатике, машиностроении, медицине, сельском хозяйстве, экологии.

Наряду с компьютерно-информационными технологиями, биотехнологиями, механоактивации и нанотехнологии являются фундаментом научно-технической революции в XXI веке.

В России осознание ключевой роли, которую уже в недалеком будущем будут играть результаты работ по нанотехнологиям и механоактивации, привело к разработке широкомасштабных программ по их развитию на основе государственной поддержки.

Разработку новых материалов и технологий их получения и обработки в настоящее время общепризнанно относят к т.н. «ключевым» или «критическим» аспектам основы экономической мощи и обороноспособности государства. Одним из приоритетных направлений развития современного материаловедения являются наноматериалы и нанотехнологии в сочетании с механоактивацией.

К наноматериалам условно относят дисперсные и массивные материалы, содержащие структурные элементы (зерна, кристаллиты, блоки, кластеры), геометрические размеры которых хотя бы в одном измерении не превышают 100 нм, и обладающие качественно новыми свойствами, функциональными и эксплуатационными характеристиками. К нанотехнологиям можно отнести технологии, обеспечивающие возможность контролируемым образом создавать и модифицировать наноматериалы, а также осуществлять их интеграцию в полноценно функционирующие системы большего масштаба.

К наноматериалам относится введение нанодобавок в строительные материалы для достижения новых строительных свойств.

Среди основных составляющих науки о наноматериалах и нанотехнологиях можно выделить следующие:

1). Фундаментальные исследования свойств материалов на наномасштабном уровне;

2). Развитие нанотехнологий как для целенаправленно-го создания наноматериалов, так и поиска и использования

природных объектов с наноструктурными элементами, таких как, например, шунгит или органическая сера, для создания готовых изделий с использованием наноматериалов. Интеграция наноматериалов и нанотехнологий в различные отрасли промышленности и науки;

3). Развитие средств и методов исследования структуры и свойств наноматериалов, а также методов контроля и аттестации изделий и полуфабрикатов для нанотехнологий.

Начало XXI века ознаменовалось революционным началом развития нанотехнологий и наноматериалов. Они с успехом используются в России и во всех развитых странах мира в наиболее значимых областях человеческой деятельности

Анализ роста инвестиций, количества публикаций по данной тематике и темпов внедрения фундаментальных и поисковых разработок позволяет сделать вывод о том, что в ближайшие 20 лет использование нанотехнологий и наноматериалов будет являться одним из определяющих факторов научного, экономического и оборонного развития государств. Некоторые эксперты даже предсказывают, что XXI века будет веком нанотехнологий (по аналогии с тем, как XIX век называли веком пара, а XX век — веком атома и компьютера).

Такие перспективы требуют оперативного внедрения в образовательные программы дисциплин, необходимых для подготовки специалистов, способных эффективно и на современном уровне решать фундаментальные и прикладные задачи в области наноматериалов, нанотехнологий, механоактивации в строительных технологиях.

#### **Библиографический список:**

1. Кузьмина В.П. К вопросу формирования трехмерной структуры бетона в присутствии нанодобавок. <https://viperson.ru/uploads/attachment/file/4606/jxjbjxjumljlljclll.pdf>
2. Кузьмина В.П. Сухие строительные смеси для ремонта бетонных конструкций. <https://viperson.ru/articles/vera-kuzmina-suhie-stroitelnye-smesi-dlya-remonta-betonnyh-konstruktsiy>
3. Кузьмина В.П. Механизмы воздействия нанодобавок на свойства вяжущих веществ и ССС на их основе. <https://viperson.ru/articles/vera-kuzmina-mehanizmy-vozdeystviya-nanodobavok-na-svoystva-vyazhushchih-veschestv-i-sss-na-ih-osnove>
4. Кузьмина В.П. Расширение заводов по производству гиперпрессованного кирпича линиями для механоактивации полупродуктов. <https://viperson.ru/articles/vera-kuzmina-rasshirenie-zavodov-po-proizvodstvu-giperpressovannogo-kirpicha-liniyami-dlya-mehanoaktivatsii-poluproduktov>
5. Кузьмина В.П. Виброцентробежные мельницы. Практика применения механоактивации полупродуктов для строительного производства. <https://viperson.ru/articles/vera-kuzmina-vibrocentrobezhnye-melnitsy-praktika-primeneniya-mehanoaktivatsii-poluproduktov-dlya-stroitel'nogo-proizvodstva>



**FACADES  
OF RUSSIA**  
CONGRESS



ФАСАДНАЯ **FA** АКАДЕМИЯ

**VIII**

# ФАСАДНЫЙ КОНГРЕСС FACADES OF RUSSIA 2023

12, 13, 14 сентября 2023  
Москва, Golden Ring Hotel \*\*\*\*\*

Добро пожаловать  
на 8-й Фасадный конгресс России

+7 495 374 8905  
info@buildingskin.ru  
buildingskin.info/congress/

Генеральный спонсор



Генеральный партнер



# ПОДПИСКА на издания ООО «КОМПОЗИТ XXI век» на 2024 год!



Вы можете подписаться на наши журналы на почте  
или в редакции: (495) 231-44-55, [stroymat.ru](http://stroymat.ru)

## Оформление подписки:

▶ Журнал «Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века», включая приложение «Кровельные и изоляционные материалы»

▶ На сайте Почты России: [www.podpiska.pochta.ru](http://www.podpiska.pochta.ru)  
**индекс П1925 - полугодие**  
**индекс П8263 - год**

▶ В каталоге Урал-Пресс: [www.ural-press.ru](http://www.ural-press.ru)  
**индекс 013925**

▶ Журнал «Технологии бетонов», включая приложение «Сухие строительные смеси»

▶ На сайте Почты России: [www.podpiska.pochta.ru](http://www.podpiska.pochta.ru)  
**индекс П1927 - полугодие**  
**индекс П8264 - год**

▶ В каталоге Урал-Пресс: [www.ural-press.ru](http://www.ural-press.ru)  
**индекс 013926**

**ОТКРЫТА**  
**ПОДПИСКА**  
[www.podpiska.pochta.ru](http://www.podpiska.pochta.ru)  
**2024 г.**  
**ПОЧТА**  
**РОССИИ**

НА САЙТЕ ИЗДАТЕЛЬСТВА

[www.stroymat.ru](http://www.stroymat.ru)

ПОДПИСКА НА ЭЛЕКТРОННЫЕ ВЕРСИИ ЖУРНАЛОВ

- В редакции: 8 (495) 231-44-55, [podpiska@stroymat.ru](mailto:podpiska@stroymat.ru)
- Агентство Урал-Пресс: [www.ural-press.ru](http://www.ural-press.ru)
- Агентство «Книга Сервис»: [rucont.ru](http://rucont.ru); [aks.ru](http://aks.ru); [pressa-rf.ru](http://pressa-rf.ru)

## Распространение журнала:

### ПО ПОДПИСКЕ

См. карту подписчиков наших журналов

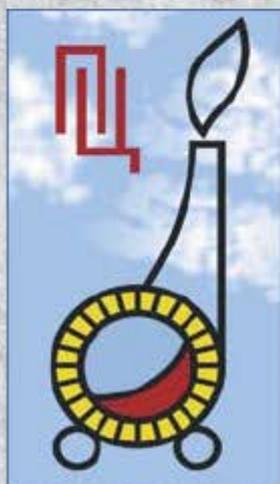
### ПО АДРЕСНОЙ РАССЫЛКЕ

- ▶ Администрация президента РФ
- ▶ Правительство России
- ▶ Совет Федерации
- ▶ Государственная дума (комитет по строительству и земельным отношениям)
- ▶ Министерство строительства и ЖКХ РФ
- ▶ Строительные и жилищно-коммунальные комплексы регионов России
- ▶ Министерство образования и науки РФ
- ▶ Мэрия г. Москвы
- ▶ Правительство и префектуры г. Москвы
- ▶ Союз архитекторов РФ
- ▶ Российская академия архитектуры и строительных наук
- ▶ Российская инженерная академия
- ▶ Международная академия инвестиций и экономики строительства
- ▶ Российское научно-техническое общество строителей – РНТО строителей
- ▶ Российское общество инженеров строительства – РОИС
- ▶ Российский союз строителей – РСС
- ▶ Ассоциация строителей России
- ▶ МГСУ и другие строительные вузы России
- ▶ Научно-исследовательские и проектные строительные организации
- ▶ Предприятия стройиндустрии
- ▶ Крупные строительные фирмы
- ▶ Потенциальные инвесторы в России и за рубежом

### НА ВЫСТАВКАХ И КОНФЕРЕНЦИЯХ

- ▶ Среди участников крупнейших строительных выставок в Москве, регионах России и странах ближнего и дальнего зарубежья
- ▶ Среди участников международных, региональных конференций и круглых столов в Москве, С.-Петербурге, Краснодаре и других городах

Журнал включен в базу данных Российского индекса научного цитирования (РИНЦ)



АО «ПОДОЛЬСК-ЦЕМЕНТ»

# ПРОИЗВОДСТВО СПЕЦЦЕМЕНТОВ

- ВГВ-М-60-1-50 (аналог Sekar 71)
- Глинозёмистое вяжущее ГВ-30-70, ГВ-40, ГВ-50, ГВ-60 (аналоги: Sekar 38 и Sekar 51)
- Сульфоалюминатное вяжущее быстротвердеющее СВБ-50 (аналоги: F220 и F300)
- Напрягающий цемент НЦ-20 32,5Н
- Смесь безусадочная быстротвердеющая ремонтная ССББР
- Смесь гидроизоляционная М600 и М700

