

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ[®] № 10



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ ИЗДАЕТСЯ С 1955 г. WWW.RIFSM.RU WWW.JOURNAL-CM.RU ОКТЯБРЬ 2021 г. (796)

PROGRESS GROUP



ГЛОБАЛЬНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ИНДУСТРИИ СБОРНОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОНА

- Автоматизированные индивидуальные линии циркуляции паллет
- Оборудование для производства арматурных элементов и сетки
- Кассетные формы, опрокидывающиеся столы, опалубочные системы
- Оборудование для преднапряженных элементов и тестовая линия
- Собственный завод стеновых панелей и перекрытий
- Программное обеспечение и комплексная система ERP

www.progress-group.info



KNAUF

РЕКЛАМА

НЕМЕЦКИЙ СТАНДАРТ. ЕДИНОЕ КАЧЕСТВО ДЛЯ ВСЕХ СТРАН

Высокие корпоративные принципы и традиции производства материалов КНАУФ — это залог качества в строительстве и ремонте!

 www.knauf.ru

ООО «КНАУФ ГИПС»

Учредитель: ООО РИФ «СТРОЙМАТЕРИАЛЫ»,
Адрес: 125319, г. Москва, ул. Черняховского,
д. 9, корп. 1, кв. 1
Издатель: ООО РИФ «СТРОЙМАТЕРИАЛЫ»
Адрес: 125319, г. Москва, ул. Черняховского,
д. 9, корп. 1, кв. 1
Свид. о регистрации ПИ № 77-1989
ISSN 0585-430X (Print) ISSN 2658-6991 (Online)
Входит в Перечень ВАК, РИНЦ,
Russian Science Citation Index
на платформе Web of Science
Адрес редакции: Россия, 127434, г. Москва,
Дмитровское ш., д. 9, стр. 3

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ® № 10

Основан в 1955 г.

(796) Октябрь 2021 г.

Тел.: (499) 976-22-08, (499) 976-20-36 mail@rifsm.ru; www.rifsm.ru; www.journal-cm.ru

Современные бетоны

- InterConPan-2021. Ежегодная конференция для специалистов
в области индустриального домостроения (Информация)..... 4**
- Установка для сварки арматурной сетки с гибочной системой (Информация)..... 11**
- Е.В. РУМЯНЦЕВ, А.Х. БАЙБУРИН, В.Г. СОЛОВЬЕВ, Р.М. АХМЕДЬЯНОВ, С.В. БЕССОНОВ
**Динамика набора прочности «холодных» самоуплотняющихся мелкозернистых бетонов
при зимнем бетонировании стыков 12**
- А.А. ПЕТРОВСКАЯ, А.Г. КАПТЮШИНА
Исследование свойств шлакощелочных вяжущих и бетонов на их основе 21

Гипсовые строительные материалы

- Е.Н. БОТКА
Рынок гипсовых строительных материалов России: как долго продлится рост?..... 25
- А.И. МАКЕЕВ, Е.М. ЧЕРНЫШОВ
Исследования гипсовых композитов для малоэтажного строительства..... 28
- В.Б. ПЕТРОПАВЛОВСКАЯ, М.Ю. ЗАВАДЬКО, Т.Б. НОВИЧЕНКОВА, К.С. ПЕТРОПАВЛОВСКИЙ
Облегченные гипсовые составы с пористыми наполнителями 37
- X Международная научно-практическая конференция
«Повышение эффективности производства и применения
гипсовых материалов и изделий» (Информация) 44**
- М.Д. БАТОВА, Ю.А. СЕМЁНОВА, А.Ф. ГОРДИНА, Г.И. ЯКОВЛЕВ,
А.Ф. БУРЬЯНОВ, А.Э. СТИВЕНС, Е.В. БЕГУНОВА
Структура и свойства гипсовых композиций с минеральными дисперсными добавками..... 49
- М.Г. БРЮЯКО, И.В. БЕССОНОВ, Э.А. ГОРБУНОВА, И.С. ГОВРЯКОВ
Сорбционные свойства модифицированного борщевика Сосновского..... 54
- Ю.Г. ЛОСЕВ, К.Ю. ЛОСЕВ
**Развитие малоэтажного жилищного строительства на основе строительных систем
с применением композиционных гипсобетонов..... 60**

Результаты научных исследований

- М.С. ГАРКАВИ, С.А. ДЕРГУНОВ, С.В. СЕРИКОВ
Формирование структуры композиционного цемента в процессе измельчения 65

Founder of the journal: «STROYMATERIALY»
Address: 1, 9 Bldg. 1, Chernyakhovskogo Street,
Moscow, 125319, Russian Federation
Publisher: «STROYMATERIALY»
Advertising-Publishing Firm, OOO
Address: 1, 9 Bldg. 1, Chernyakhovskogo Street,
Moscow, 125319, Russian Federation
Registration certificate PI № 77-1989
ISSN 0585-430X (Print) ISSN 2658-6991 (Online)
Included in the list of journals of the Higher
Attestation Commission (Russia), Russian Science
Citation Index on the platform Web of Science
Editorial address: 9/3 Dmitrovskoye Highway,
127434, Moscow, Russian Federation

Monthly scientific-technical and industrial journal

STROITEL'NYE MATERIALY®

№ 10

Founded in 1955 (796) October 2021

Tel.: (499) 976-22-08, (499) 976-20-36 mail@rifsm.ru; www.rifsm.ru; www.journal-cm.ru

Modern concretes

InterConPan-2021

The Annual Conference for Specialists in the Field of Industrial Housing Construction (Information) 4

Installation for Welding Reinforcement Mesh with a Bending System (Information) 11

E.V. RUMYANTSEV, A.Kh. BAYBURIN, V.G. SOLOV'EV, R.M. AHMED'YANOV, S.V. BESSONOV

Dynamics of Strength Gain of "Cold" Self-Compacting Fine-Grained Concretes during
Winter Concreting of Joints 12

A.A. PETROVSKAYA, A.G. KAPTYUSHINA

Research in the Properties of Slag-Alkaline Binders and Concretes Based on Them 21

Gypsum building materials

E.N. BOTKA

Gypsum Building Materials Market in Russia: How Long Will the Growth Last? 25

A.I. MAKEEV, E.M. CHERNYSHOV

Studies of Gypsum Composites for Low-Rise Construction 28

V.B. PETROPAVLOVSKAYA, M.Y. ZAVADKO, T.B. NOVICHENKOVA, K.S. PETROPAVLOVSKII

Lightweight Gypsum Compounds with Porous Fillers 37

X International Scientific and Practical Conference "Improving production efficiency
and the use of Gypsum Materials and Products" (Information) 44

M.D. BATOVA, Yu.A. SEMENOVA, A.F. GORDINA, G.I. YAKOVLEV,
A.F. BURYANOV, A.E. STEVENS, E.V. BEGUNOVA

Structure and Properties of Gypsum Compositions with Mineral Dispersed Additives 49

M.G. BRUYAKO, I.V. BESSONOV, E.A. GORBUNOVA, I.S. GOVRYAKOV

Sorption Properties of Modified Sosnovsky's Hogweed 54

Yu.G. LOSEV, K.Yu. LOSEV

Development of Low-Rise Housing Construction Based on Building Systems
Using Composite Gypsum Concretes 60

Results of scientific research

M.S. GARKAVI, S.A. DERGUNOV, S.V. SERIKOV

Formation of the Structure of Composite Cement in the Grinding Process 65

Редакционный совет

Главный редактор:

ЮМАШЕВА Е.И.,

инженер-химик-технолог, почетный строитель России

Председатель редакционного совета:

РЕСИН В.И.,

д-р экон. наук, профессор, академик РААСН (Москва)

АЙЗЕНШТАДТ А.М.,

д-р хим. наук, профессор (Архангельск)

АСКАДСКИЙ А.А.,

д-р хим. наук, профессор (Москва)

БУРЬЯНОВ А.Ф.,

д-р техн. наук, директор Российской гипсовой ассоциации (Москва)

ВЕРЕЩАГИН В.И.,

д-р техн. наук, профессор (Томск)

ГОРИН В.М.,

канд. техн. наук, президент Союза производителей керамзита и керамзитобетона (Самара)

ЕРОФЕЕВ В.Т.,

д-р техн. наук, профессор, академик РААСН (Саранск)

КОРОЛЕВ Е.В.,

д-р техн. наук, профессор (Санкт-Петербург)

КОТЛЯР В.Д.,

д-р техн. наук, профессор (Ростов-на-Дону)

КРИВЕНКО П.В.,

д-р техн. наук, профессор (Украина)

ЛЕОНОВИЧ С.Н.,

д-р техн. наук, профессор (Беларусь)

ЛЕСОВИК В.С.,

д-р техн. наук, профессор, член-корреспондент РААСН (Белгород)

МУРТАЗАЕВ С.-А.Ю.,

д-р техн. наук, профессор (Грозный)

НЕДОСЕКО И.В.,

д-р техн. наук (Уфа)

ПИЧУГИН А.П.,

д-р техн. наук, профессор (Новосибирск)

ПУХАРЕНКО Ю.В.,

д-р техн. наук, профессор, член-корреспондент РААСН (Санкт-Петербург)

ТРАВУШ В.И.,

д-р техн. наук, академик РААСН (Москва)

ФЕДОСОВ С.В.,

д-р техн. наук, профессор, академик РААСН (Иваново)

ФИШЕР Х.-Б.,

доктор-инженер (Германия)

ХОЗИН В.Г.,

д-р техн. наук, профессор (Казань)

ЧЕРНЫШОВ Е.М.,

д-р техн. наук, профессор, академик РААСН (Воронеж)

ШЕБЛ С.М.,

д-р наук, профессор (Египет)

ШЛЕГЕЛЬ И.Ф.,

канд. техн. наук (Омск)

ШТАКЕЛЬБЕРГ Д.И.,

д-р техн. наук, профессор (Израиль)

ЯКОВЛЕВ Г.И.,

д-р техн. наук, профессор (Ижевск)

Ю ЖЯНГМЯО,

д-р философии (Китай, Гуанчжоу)

Editorial Board

Editor-in-chief

YUMASHEVA E.,

engineer-chemist-technologist, Honorary Builder of Russia

Chairman of Editorial Board

RESIN V.,

Doctor of Science (Economy), Professor (Moscow)

AYZENSHTADT A.,

Doctor of Sciences (Chemistry), Professor (Arkhangelsk)

ASKADSKIY A.,

Doctor of Science (Chemistry), Professor (Moscow)

BURYANOV A.,

Doctor of Science (Engineering), Director of the Russian Association of gypsum (Moscow)

VERESHCHAGIN V.,

Doctor of Science (Engineering), Professor (Tomsk)

GORIN V.,

Candidate of Science (Engineering), President of the Union of Haydite and Haydite Concrete Producers (Samara)

EROFEEV V.,

Doctor of Science (Engineering), Professor, Academician of RAACS (Saratov)

KOROLEV E.,

Doctor of Science (Engineering), Professor (St. Petersburg)

KOTLYAR V.,

Doctor of Science (Engineering), Professor (Rostov-on-Don)

KRIVENKO P.,

Doctor of Science (Engineering), Professor (Ukraine)

LEONOVICH S.,

Doctor of Science (Engineering), Professor (Belarus, Minsk)

LESOVIK V.,

Doctor of Science (Engineering), Corresponding Member of RAACS (Belgorod)

MURTAZAEV S.-A.,

Doctor of Science (Engineering), Professor (Grozniy)

NEDOSEKO I.,

Doctor of Science (Engineering) (Ufa, Bashkortostan)

PICHUGIN A.,

Doctor of Science (Engineering), Professor, Member of the Russian Academy of Natural Science (Novosibirsk)

PUKHARENKO Yu.,

Doctor of Science (Engineering), Professor (St. Petersburg)

TRAVUSH V.,

Doctor of Science (Engineering), academician of RAACS (Moscow)

FEDOSOV S.,

Doctor of Science (Engineering), Professor, Academician of RAACS (Ivanovo)

FISHER H.-B.,

Doctor-Engineer (Germany, Weimar)

KHOZIN V.,

Doctor of Science (Engineering), Professor (Kazan)

CHERNYSHOV E.,

Doctor of Science (Engineering), Professor, Academician of RAACS (Voronezh)

SHEBL S.M.,

Doctor of Science, Professor (Egypt)

SHLEGEL I.,

Candidate of Science (Engineering), OOO «INTA-Stroy» (Omsk)

SHTACKELBERG D.,

Doctor of Science (Engineering), Professor (Israel)

YAKOVLEV G.,

Doctor of Science (Engineering), Professor (Izhevsk)

YU JIANGMIAO,

PhD / Associate Professor (China, Guangzhou)

InterConPan-2021

Ежегодная конференция для специалистов в области индустриального домостроения состоялась в Москве

InterConPan-2021

The Annual Conference for Specialists in the Field of Industrial Housing Construction was Held in Moscow

28–30 июня 2021 г. в Москве состоялась XI Международная научно-практическая конференция «InterConPan-2021: индустриальное домостроение для комплексного развития территорий», которую традиционно организуют АО «ЦНИИЭП жилища» (Москва) и объединенная редакция журналов «Строительные материалы»® и «Жилищное строительство» (Москва) при поддержке Комитета Торгово-промышленной палаты РФ по предпринимательству в сфере строительства. Постоянный спонсор конференции – PROGRESS GROUP (Германия). Компания Allbau Software GmbH (Германия) – постоянный партнер мероприятия. Партнером InterConPan-2021 выступила фирма Sommer (Германия). В мероприятии приняли участие более 120 специалистов строительно-инвестиционных компаний, домостроительных предприятий и проектных организаций, представители машиностроительных и инженеринговых компаний, поставщики программного обеспечения, ученые вузов и научно-исследовательских институтов.

On June 28-30, 2021, the XI International Scientific and Practical Conference «InterConPan-2021: industrial housing construction for integrated development of territories», which is traditionally organized by JSC «TSNIEPzhilishcha» (Moscow) and the joint editorial board of the magazines «Construction Materials» © and «Housing Construction» (Moscow) with the support of the Committee of the Chamber of Commerce and Industry of the Russian Federation on entrepreneurship in construction, was held in Moscow. The permanent sponsor of the Conference is PROGRESS GROUP (Germany). Allbau Software GmbH Co. (Germany) is a permanent partner of the event. Sommer Co. (Germany) was The InterComPan-2021 partner. Over 120 specialists of construction and investment companies, house-building enterprises and design organizations, representatives of machine-building and engineering companies, software suppliers, scientists from universities and research institutes took part in the event.

Согласно данным Росстата, итоговый показатель ввода жилья в 2020 г. на территории России – 82,2 млн м² (<https://minstroyrf.gov.ru/press/obem-vvoda-zhilya-2020-goda-prevzoshel-itogovuyu-pokazatel-2019-goda/>). На результате 2020 г. сказался простой и ограничения, вызванные пандемией коронавирусной инфекции. В общем объеме ввода многоквартирные дома составляют 42,4 млн м², а индивидуальное жилищное строительство – 39,8 млн м². Нарастивать темпы строительства и двигаться к реализации плана по строительству 1 млрд м² современного и качественного жилья к 2030 г. можно только с помощью индустриального домостроения. Для этого необходимо наращивать базу заводов КПД и ДСК. Эта мысль уже 11 лет является своеобразным девизом конференции. Извест-

но, что в РФ имеется дефицит промышленных мощностей индустриального домостроения: необходимо построить или реконструировать около 260 заводов. Конференция InterConPan более 10 лет является площадкой для представления новых проектов реконструкции заводов, оборудования для этих целей и, конечно, проектов новых заводов индустриального производства готовых домокомплектов.

Участники конференции InterConPan-2021 заслушали и обсудили более двадцати актуальных докладов, касающихся градостроительных задач в сфере комплексной застройки индустриальными домами, строительства малоэтажного жилья из заводских домокомплектов, модернизации существующих заводов и новых тенденций в производстве сборного





железобетона. Вопросы повышения производительности заводов КПД, технологий высокоэффективного производства железобетонных изделий, повышения скорости монтажа, а также использования инновационных материалов и добавок обсуждались специалистами в ходе конференции.

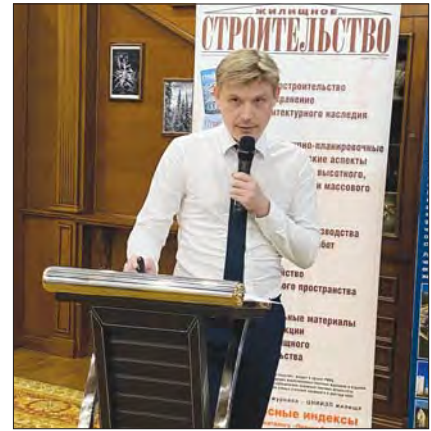
В России около 44% многоквартирных домов старше пятидесяти лет. И число непригодных для проживания квартир растет с каждым днем. Поэтому в конце 2020 г. принят закон о комплексном развитии территорий (КРТ). Он позволит ускорить расселение жителей из аварийного и ветхого жилья в новостройки, а также сделать городскую среду комфортной. В рамках национального проекта «Жилье и городская среда» к 2030 г. необходимо обеспечить улучшение жилищных условий не менее чем 5 млн семей ежегодно и увеличение объема жилищного строительства не менее чем до 120 млн м² в год. Также стоит задача повысить индекс качества городской среды в полтора раза. Чтобы выйти на необходимые показатели, до 2030 г. должно быть построено более 1 млрд м² жилья, т. е. 26% от общего объема всего жилищного фонда в России.



Большой интерес вызвал доклад о реализации закона о реновации (2017 г.) в Москве – программа правительства Москвы, направленная на улучшение жилищных условий жителей, снос ветхого малоэтажного жилого фонда, построенного в 1957–1968 гг., и новое комплексное освоение освободившихся территорий. Программа рассчитана на 15 лет, в нее войдет более 5 тыс. домов.

Комплексное развитие территорий бывших промзон в рамках проекта «Индустриальные кварталы» позволит городу получить около 500 тыс. рабочих мест и почти 3 трлн р. в качестве поступлений в бюджет, а общий объем инвестиций в реализацию проектов составит более 7 трлн р. Проект «Индустриальные кварталы» позволяет вовлекать в оборот неиспользуемые, фактически заброшенные город-





ские территории. Промзоны занимают порядка 18,8 тыс. га, что составляет более 17% территории старой Москвы. С 2011 г. в Москве был утвержден 91 проект планировки территорий бывших промзон общей площадью около 4 тыс. га. Всего здесь было возведено 806 объектов недвижимости общей площадью 24 млн м². На этих территориях столичные власти вместе с инвесторами возведут 35 млн м² недвижимости, из которых 11 млн м² будет использовано под производственные объекты; 13 млн м² – под общественную, деловую и социальную застройку; еще 11 млн м² – под жилье, одну четвертую часть которого возведут по программе реновации.

Большой интерес в настоящее время вызывает технология модульного строительства. Как известно, основным преимуществом модульной технологии является серьезная экономия на сроках строительства: с домостроительного комбината на площадку привозят не панели, а уже собранные помещения, в том числе с уже выполненной разводкой сетей внутри квартиры. Участники InterConPan познакомились с этой технологией в 2016 г. при посещении ЗАО «ОБД» в Краснодаре (завод построен в 1974 г. и работает по сегодняшний день), а в 2018 г. – при посещении ООО «Выбор»ОБД» в Воронеже (<http://interconpan.ru/index.php/arkhiv-konferentsij>).

Панельное домостроение, не говоря уже о монолитном, по сравнению с модульными домами обеспечивает большую гибкость архитектурных и планировочных решений. Современные технологии вполне позволяют добиться необходимой вариативности и в модульных домах. Использование исключительно prefab-конструкций позволяет строить здания даже в 30 этажей. Эта технология к 2030 г. может занять до 25% первичного рынка жилья в стране. Всего десять новых заводов могут обеспечить этот объем. Необходимо только, чтобы радиус доставки контролировался. Очень важным во внедрении prefab-технологий может стать сокращение адми-





нистративных процедур в строительстве. Известно, что существует пилотный проект по модульному строительству в рамках программы реновации в Москве. Сейчас в РФ строится несколько таких предприятий.

Обсуждались вопросы BIM-проектирования, способного объединить 3D-технологии, выдачу документации, данные для графопостроителя и сеткосварочной машины, а также данные о комплектующих изделиях в 1С. Известно, что в Москве начались практические испытания по переводу проектов строящихся зданий жилого и нежилого назначения на российскую облачную платформу автоматизации строительных процессов Ehop. Система позволяет автоматизировать взаимодействие всех участников процесса, от заказчика до субподрядчика. Она содержит модуль для самостоятельного выстраивания бизнес-процессов; модуль согласования проектной и рабочей документации с выпуском ее в производство работ; модуль приема и сдачи исполнительной технической документации; модуль календарно-сетевого планирования, мониторинга и ведения строительных задач. Также ведутся работы по расширению функционала и интеграции трехмерных информационных моделей. Завершить тестирование пилотных проектов планируется до конца 2021 г., а в случае положительного результата в 2022 г. перевести на цифровой документооборот все проекты Департамента строительства города Москвы.





Выездная сессия в ЖК «Некрасовка», расположенный на юго-востоке Москвы, в районе с развитой социальной, коммерческой и транспортной инфраструктурой, организована для знакомства с примером комплексного развития территорий с помощью индустриального домостроения. Район находится в 8–10 мин ходьбы от новой станции метро «Некрасовка», поэтому до центра Москвы можно добраться за 30 мин. В комплексе уже построено и заселено несколько жилых кварталов, работают детские сады, школы, магазины, объекты бытового обслуживания, выполнено комплексное благоустройство территории. Участники InterConPap-2021 совершили пешеходную экскурсию

по 13-му кварталу ЖК «Некрасовка», расположенному в непосредственной близости от озера Черное. В период с 2013 г. на территории ЖК «Некрасовка» было построено семь жилых кварталов, а это 71 жилой корпус общей площадью 1,45 млн м². Полностью комплекс рассчитан на 17 162 квартиры. При строительстве использовалось сразу несколько известных серий Первого ДСК: П 44Т, П-44Т-25, П 44К, ДомРИК и ДомНАД, современная серия «Прогресс». При посещении 14-го квартала коллеги смогли посетить сданные корпуса серии «Прогресс». Они оценили внешний облик домов, фасады, отделку входных групп, благоустройство прилегающих территорий.





В рамках выездной сессии 29 июня 2021 г. участники InterConPan-2021 посетили Ростокинский завод ЖБК, входящий в ООО «Первый ДСК». Участники увидели новое высокотехнологичное оборудование, которое позволит существенно расширить ассортимент выпускаемой продукции и реализовать индивидуальные архитектурно-планировочные решения жилых домов индустриальным методом. С запуском новых линий предприятие сможет выпускать более 300 тыс. м² жилья в год. Внедрение новых технологий существенно расширило возможности для проектировщиков в плане архитектурного и

цветового решения фасадов, что позволяет оформлять кварталы города в индивидуальном стиле и создавать еще более оригинальный, современный и привлекательный архитектурный облик Москвы и Подмосковья, сохраняя при этом доступность жилья для населения. Оборудование подобрано с условием соблюдения принципа разумной достаточности, когда необходимо было при установке нового оборудования обеспечить рабочие места. Участники InterConPan-2021 осмотрели готовую продукцию на складе, отметив высокое качество поверхности панелей.





Выездная сессия 30 июня 2021 г. прошла в Музее высотного строительства «Москва-Сити». На экскурсии по высотному комплексу коллегам напомнили, что главным идеологом ММЦД «Москва-Сити» является архитектор Б. Тхор. Еще в 1991 г. его коллектив создал концепцию будущего бизнес-центра и концепцию преобразования промзоны Пресненской набережной, где располагались каменоломни. Вся площадь будущей застройки была разделена архитекторами на 20 участков. Планировалось, что центром застройки станет большой зеленый парк, под которым расположится транспортная развязка и парковка. А все здания расположатся вокруг парка в форме подковы, спирально увеличиваясь по высоте, и у каждого должен был быть свой архитектор, который вкладывал бы в проект свои собственные идеи о современном жилье. Но из-за недостатка инвестиций на месте парка был построен торговый центр «Афимолл», а от некоторых объектов пришлось отказаться. Первым объектом «Москва-Сити» стала отнюдь не башня-небоскреб, а мост «Багратион». Он связал между собой берега Москвы-реки. Первым зданием комплекса «Москва-Сити» является сданная в 2001 г. «Башня 2000», соединенная с вестибюлем «Багратиона». Она единственная из всего комплекса возвышается на правом берегу Москвы-реки и не претендует на звание небоскреба. Вслед за ней стали постепенно сдаваться и другие башни: Евразия, Эволюция, Федерация, Меркурий, Neva Towers, офисно-деловой комплекс (ОКО), комплексы «Империя», «Город Столиц», «Башня на набережной», IQ-квартал и остальные. В настоящее время ММЦД «Москва-Сити» – зона деловой активности, где объединены бизнес, апартаменты для проживания, гостиницы, досуговые учреждения. Это крупный транспортный узел. Участники InterConPan-2021 смогли с высоты 56-го этажа полюбоваться панорамными видами Москвы, найти места точечной застройки и оценить их с высоты птичьего полета, а также совершить VR-полет над Москвой, что добавило необычных ощущений к этой экскурсии.

Выездные сессии и экскурсии становятся местом профессиональных дискуссий и более тесного знакомства профессионалов. И конечно, гарантируют успех!

Оставайтесь с нами! Ждем встречи в следующем году!



Установка для сварки арматурной сетки с гибочной системой

С момента основания семейная компания ВВС в Нидерландах являлась лидером в инновационном автоматизированном производстве сборных металлоконструкций. В целях оснащения производства и расширения современного машинного парка компания ВВС выбрала самое функциональное оборудование для гибки арматурной сетки и изготовления каркасов M-System Evolution компании progress Maschinen & Automation. Особое внимание при принятии этого решения уделялось тому факту, что различные арматурные формы каркасов можно сгибать из арматурной сетки и сваривать простым и эффективным образом. Новая установ-

ка для сварки арматурной сетки с встроенной балочной системой гибки позволяет компании ВВС сохранять максимальную оперативность благодаря быстрой замене диаметров проволоки 8, 10, 12 и 16 мм. Прутки нарезаются непосредственно из бухты, после чего они в автоматическом режиме передаются на сварку. Максимальная длина продольных прутков в этой установке составляет 10 м, а поперечных – 4 м. С помощью безрастровой сварки и автоматической маркировки эта установка способна с точностью до миллиметра гнуть арматурную сетку и каркасы любой формы – возможности практически безграничны.

Более подробно с этой технологией можно ознакомиться по ссылке <https://www.b-b-c.nl/actueel/3D-wapeningsmachine>



progress

Maschinen & Automation

PROGRESS GROUP

progress Maschinen & Automation AG
Julius-Durst-Straße 100
39042 Brixen, Italien
T +39 0472 979100
info@progress-m.com
www.progress-m.com



Buitenweistraat 2
3372 BC Hardinxveld-Giessendam
Bedrijvenstraat 8
4283 JH Giessen
<https://www.b-b-c.nl/>



Интегрированная система балочной гибки и быстрый переход на другой диаметр проволоки обеспечивают максимальную функциональность установки

Е.В. РУМЯНЦЕВ¹, гл. конструктор департамента продукта (jekarum@yandex.ru);
 А.Х. БАЙБУРИН², д-р техн. наук (abayburin@mail.ru); В.Г. СОЛОВЬЕВ³, канд. техн. наук (s_vadim_g@mail.ru);
 Р.М. АХМЕДЬЯНОВ⁴, канд. техн. наук (arm20051@yandex.ru), С.В. БЕССОНОВ⁴, инженер (sveb1990@inbox.ru)

¹ ООО «ПИК-Проект» (123242, г. Москва, ул. Баррикадная, 19, стр. 1)

² Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет) (454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 76)

³ Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (129337, г. Москва, Ярославское ш., 26)

⁴ ООО «Уральский научно-исследовательский институт строительных материалов» (ООО «УралНИИСтром») (454047, г. Челябинск, ул. Сталеваров, 5, корп. 2)

Динамика набора прочности «холодных» самоуплотняющихся мелкозернистых бетонов при зимнем бетонировании стыков

Представленная работа является продолжением исследований конструктивно-технологических параметров качества самоуплотняющихся мелкозернистых бетонных смесей (СУМБС) и бетонов (СУМБ), изготовленных из сухих строительных смесей (ССС), предназначенных для зимнего бетонирования стыков сборных железобетонных конструкций. Модификация свойств цементных бетонов с помощью комплексных полифункциональных добавок позволяет получать их заданные свойства, в том числе непрерывное твердение бетонов в условиях отрицательной температуры. Применение таких «холодных» бетонов для бетонирования стыков позволяет обеспечивать непрерывность монтажа крупнопанельных зданий. Основными параметрами технологии зимнего бетонирования с применением «холодных» бетонов являются высокая ранняя прочность и проектный темп набора прочности бетона заделки при отрицательной температуре. Проведенное комплексное экспериментальное исследование динамики набора прочности «холодных» СУМБ позволяет восполнить недостаточный объем исследований по данному направлению. Для исследования использованы СУМБ изготовленные из цементных СССР трех производителей, твердеющих при отрицательной температуре. Выполнена оценка влияния раннего замораживания на прочность бетона при сжатии в раннем возрасте, получены зависимости набора прочности «холодных» бетонов после 28-суточного выдерживания при начальной, средней и минимальной отрицательной температуре укладки смесей. Полученные результаты исследования значительно расширяют область применения «холодных» бетонов и могут быть использованы для разработки технологической документации по применению «холодных» СУМБ изготовленных из цементных СССР, а также при подготовке нормативно-технических документов по технологии бетонирования стыковых соединений сборных железобетонных конструкций при отрицательной температуре.

Ключевые слова: самоуплотняющиеся мелкозернистые бетоны, раннее замораживание, динамика набора прочности, зимнее бетонирование.

Для цитирования: Румянцев Е.В., Байбурин А.Х., Соловьев В.Г., Ахмедьянов Р.М., Бессонов С.В. Динамика набора прочности «холодных» самоуплотняющихся мелкозернистых бетонов при зимнем бетонировании стыков // *Строительные материалы*. 2021. № 10. С. 12–20. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-796-10-12-20>

E.V. RUMYANTSEV¹, Chief Designer of Product Department (jekarum@yandex.ru);

A.Kh. BAYBURIN², Doctor of Sciences (Engineering) (abayburin@mail.ru); V.G. SOLOV'EV³, Candidate of Sciences (Engineering) (s_vadim_g@mail.ru);

R.M. AHMED'YANOV⁴, Candidate of Sciences (Engineering) (arm20051@yandex.ru), S.V. BESSONOV⁴, Engineer (sveb1990@inbox.ru)

¹ "PIK-Proekt" LLC (19, bldg. 1, Barrikadnaya Street, Moscow, 123242, Russian Federation)

² National Research South Ural State University (76, Lenina Avenue, Chelyabinsk, 454080, Russian Federation)

³ National Research Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslavl'skoye Highway, Moscow, 129337, Russian Federation)

⁴ «Ural Research Institute of Construction Materials» LLC (5/2, Stalevarov Street, Chelyabinsk, 454047, Russian Federation)

Dynamics of Strength Gain of "Cold" Self-Compacting Fine-Grained Concretes during Winter Concreting of Joints

This work presented is a continuation of research of the structural and technological parameters of the quality of self-compacting fine-grained fresh concrete (SCFGFC) based on dry construction mixes (DCM) and concretes on their base (SCFGHC) during winter concreting of joints of precast reinforced concretes structures. Modification of the properties of cement concretes with the help of complex polyfunctional additives makes it possible to obtain the desired properties, including continuous hardening of concretes under negative temperatures. The use of such "cold" concretes for concreting joints makes it possible to ensure the continuity of the installation of large-panel buildings. The main parameters of the winter concreting technology with the use of "cold" concretes are high early strength and the design rate of growth of the in-situ concrete at negative temperatures. The carried out complex experimental study of the dynamics of strength gain of "cold" SCFGHC makes it possible to make up for the insufficient volume of research in this topics. For the study, SCFGHC based on dry mixes from three manufactures on cement binders, hardening at low temperatures are used. The assessment of the influence of early freezing on the compressive strength of concrete at an early age was carried out, the dependences of the strength set of "cold" concretes of 28 days of aging at the initial, average and minimal negative temperatures of laying the fresh concrete were obtained. The obtained results of the study significantly expand the field of application of "cold" concretes, can be used for the development of technological documentation for the use of "cold" SCFGHC based on cement dry mixes, as well as for the preparation of codes and technical documents on the technology of concreting joints of precast reinforced concrete structures at negative temperatures.

Keywords: self-compacting fine-grained concretes, early freezing, dynamics of strength gain, winter concreting.

For citation: Rumyantsev E.V., Bayburin A.Kh., Solov'ev V.G., Ahmed'yanov R.M., Bessonov S.V. Dynamics of strength gain of "cold" self-compacting fine-grained concretes during winter concreting of joints. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2021. No. 10, pp. 12–20. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-796-10-12-20>

Наряду с температурой бетона, продолжительностью технологических процессов, показателями качества бетонных смесей [1] прочность бетона на различных этапах выдерживания железобетонных конструкций является основным параметром технологии зимнего бетонирования [2]. В свою очередь, ранняя прочность бетона, а также динамика ее последующего набора являются важными конструктивно-технологическими факторами, обеспечивающими заданный темп монтажа сборных конструкций в технологии зимнего бетонирования стыков железобетонных изделий (ЖБИ). Возможность обеспечить проектный темп роста прочности бетона в стыках ЖБИ определяет непрерывность производства работ основного процесса – монтажа сборных конструкций. При игнорировании этого фактора могут возникать простои производства, связанные с технологическими перерывами, необходимыми для достижения бетоном заданной прочности.

Актуальным направлением исследований в технологии бетонов является расширение возможностей интенсификации твердения и формирования структуры бетонов в условиях отрицательной температуры путем модификации их свойств с помощью химических, минеральных (нано- и микронаполнителей) и многокомпонентных (полифункциональных) добавок, а также применение различных типов цементных вяжущих с особыми свойствами [3–13]. Не исключается возможность введения в составы бетонов противоморозных добавок, как правило, бесхлоридных солей щелочных и щелочно-земельных металлов.

Вопросам динамики набора прочности при структурообразовании и твердении традиционных цементных вибрированных бетонов, модифицированных противоморозными добавками, при отрицательной температуре уделяется значительное внимание как в отечественных [14–19 и многих др.], так и в зарубежных [20, 21 и др.] исследованиях. Критерии эффективности действия противоморозных добавок установлены в ГОСТ 24211–2008 «Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия». Согласно стандарту, определены понятия «холодного» бетона, постоянно твердеющего при отрицательной температуре, и «теплого» бетона, изготовленного из бетонной смеси с противоморозной

добавкой, обеспечивающей незамерзание смеси при отрицательной температуре на время укладки до начала обогрева забетонированной конструкции. СП 435.1325800.2018 «Конструкции бетонные и железобетонные монолитные. Правила производства и приемки работ» устанавливает определение «холодного» бетона как бетона, «твердение которого при отрицательной температуре обеспечивается за счет введения противоморозных добавок, предотвращающих замерзание воды в течение всего периода твердения». В современных условиях под «холодными» бетонами следует подразумевать составы, модифицированные комплексом добавок различного действия, а не только наличием противоморозных добавок, предотвращающих замерзание воды в бетоне при твердении в условиях низкой температуры.

Развитие технологий с использованием современных бетонных смесей, основанных на их самоуплотняющихся свойствах и высоких эксплуатационных качествах, приводит к их широкому применению в строительной практике [6, 22–26], в том числе и в условиях зимнего бетонирования [27–30]. Очевидно, что модификация свойств СУБС современными комплексными добавками, плотная упаковка составляющих, пониженное водоцементное (В/Ц) отношение и другие факторы значительно влияют на их особенности твердения и структурообразования, поэтому опираться на ранее проведенные исследования не представляется возможным. Задача расширения и систематизации результатов исследований особенностей структурообразования СУБ в условиях замораживания и последующего твердения, включая ряд последних работ [28–31], особенно актуальна и важна для строительной отрасли.

Материалы и методы исследования

В качестве материалов для исследования использовались ССС на цементных вяжущих трех различных производителей для «холодных» СУМБ. Затворение ССС производилось водой по ГОСТ 23732–2011 «Вода для бетонов и строительных растворов». Проектное количество воды принималось по паспорту ССС в соответствии с рекомендованным значением В/Т согласно виду смеси и условиям ее укладки. Обозначение смесей выполнялось условно «Смесь № 1.1(-15)»,

Начальные условия и режимы приготовления бетонных смесей для контрольных образцов
Initial conditions and modes of concrete mixtures for reference specimens

Наименование образца (минимальная паспортная температура укладки, °С)	В/Т	T _{сс} , °С	T _в , °С	Продолжительность перемешивания, мин	
Смесь № 1.1(-15)	0,1	+5	+5	17	
Смесь № 1.2(-20)					
Смесь № 1.3(-25)					
Смесь № 2.1(-15)	0,11			14	
Смесь № 2.2(-20)					23
Смесь № 3.1(-25)					

Примечание. T_{сс} – температура выдерживания ССС; T_в – температура воды.

где 1.1 – уникальный номер образца смеси (первая цифра указывает на производителя, вторая – на вид смеси); (-15) – рекомендованная производителем минимальная отрицательная температура укладки смеси, °С.

Изготовление стандартных контрольных образцов бетона и испытание прочности бетона при сжатии осуществлялись по ГОСТ 10180–2012 «Методы определения прочности по контрольным образцам». В качестве стандартных образцов принимались кубы размером 100×100×100 мм. Дополнительно, учитывая наибольшую крупность зерен заполнителя ССС не более 5 мм в объеме не более 5%, для предварительной оценки прочности при сжатии бетона определялась в соответствии с методикой по ГОСТ 310.4–81 «Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии» без использования масштабных коэффициентов на образцах-балочках размерами 40×40×160 мм.

Из условий подобия проектной технологии приготовления бетонных смесей ССС и вода затворения предварительно выдерживались до начальных условий, заданных программой испытаний (см. таблицу).

Формовка всех образцов выполнялась без принудительного уплотнения и вибрации.

Образцы выдерживались в условиях, близких к эксплуатационным, в трех отрицательных температурных диапазонах: начальном (-5 – -10°С); среднем (-5 – -15°С) и минимальном (-15 – -25°С) диапазоне укладки смеси соответственно. Твердение в нормальных условиях (н.у.) выполнялось в камере нормального твердения при температуре +20±2°С и при относительной влажности воздуха 95±5%.

На этапе предварительного эксперимента для выбора номенклатуры смесей влияние раннего замораживания на прочность при сжатии первой партии образцов оценивалось на контрольных образцах-балочках размером 40×40×160 мм при различных условиях твердения:

1.1. Выдержка при отрицательной температуре (средние значения начального отрицательного температурного диапазона укладки принимались согласно программе испытаний) в течение 24 ч (1 сут) в морозильной камере для испытания образцов в замороженном состоянии.

1.2. Извлечение из морозильной камеры и последующий разогрев образцов до температуры поверхности +5°С на воздухе для испытания образцов в размороженном состоянии.

1.3. Проведение термической обработки размороженных образцов по режиму 2+3+6+3 ч: выдержка при температуре +20°С;

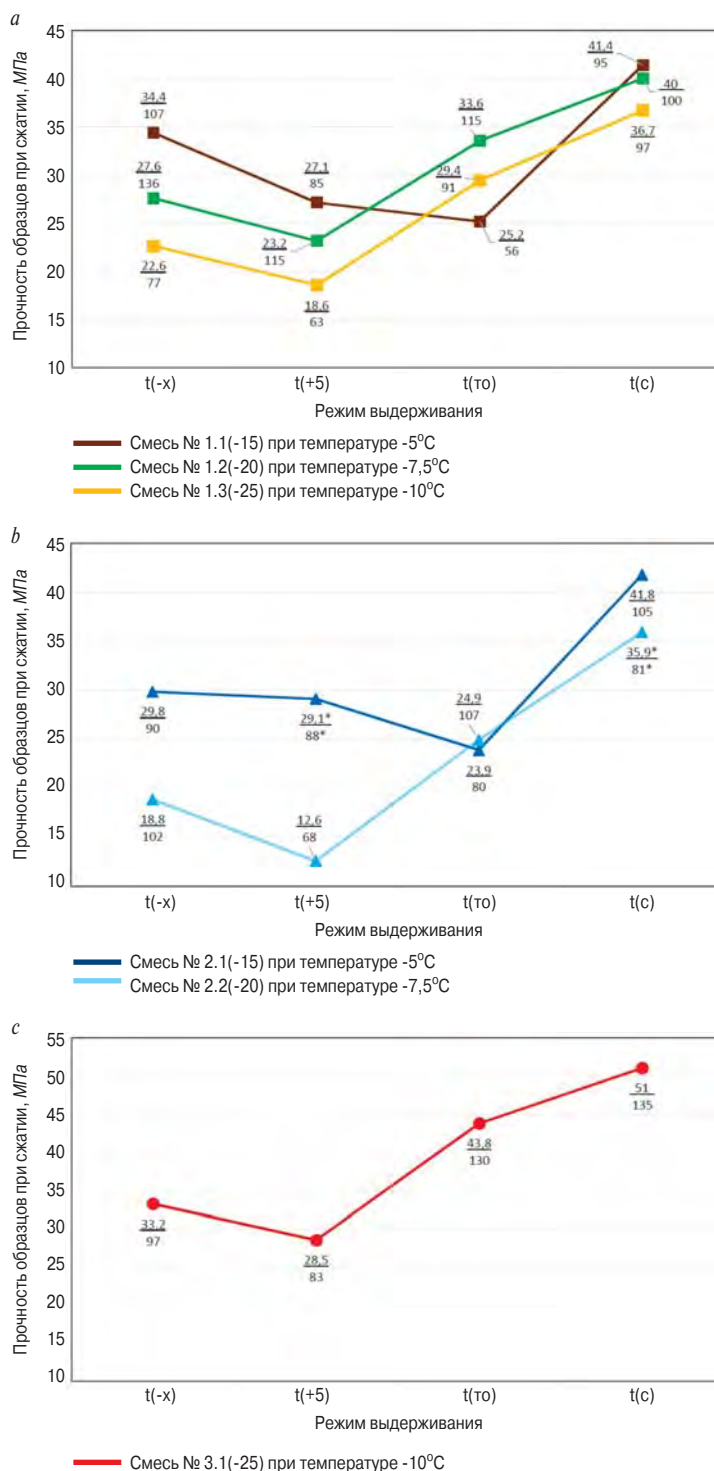


Рис. 1. Влияние раннего замораживания на прочность «холодного» СУМБ группы смесей № 1 (а); группы смесей № 2 (б); смеси № 3 (с).

Примечание. Над чертой указана прочность в МПа, под чертой – прочность в % от соответствующей прочности после твердения в нормальных условиях в течение 24 ч, тепловой обработки, сушки; образцы со знаком «*» подлежали выбраковке при превышении коэффициента вариации более 12%; t(-x) – твердение образцов в морозильной камере при отрицательной температуре; t(+5) – разогрев образцов до температуры поверхности +5°С; t(to) – термообработка образцов по режиму 2+3+6+3; t(c) – сушка образцов

Fig. 1. Influence of early freezing on the strength of the «cold» SCC of the group of mixtures No. 1 (a); group of mixtures No. 2 (b); mixture No. 3 (c);

Note. Above the line is strength in MPa, below the line is the strength in % of the corresponding strength after hardening under normal conditions during 24 hours, heat treatment, drying; samples marked with «*» sign were subject to rejection if the coefficient of variation exceeded more than 12%; t(-x) – hardening of samples in a freezer at a negative temperature; t(+5) – heating of samples to the surface temperature of +5°С; t(ht) – heat treatment of the samples according to the mode 2+3+6+3; t(d) – drying of samples

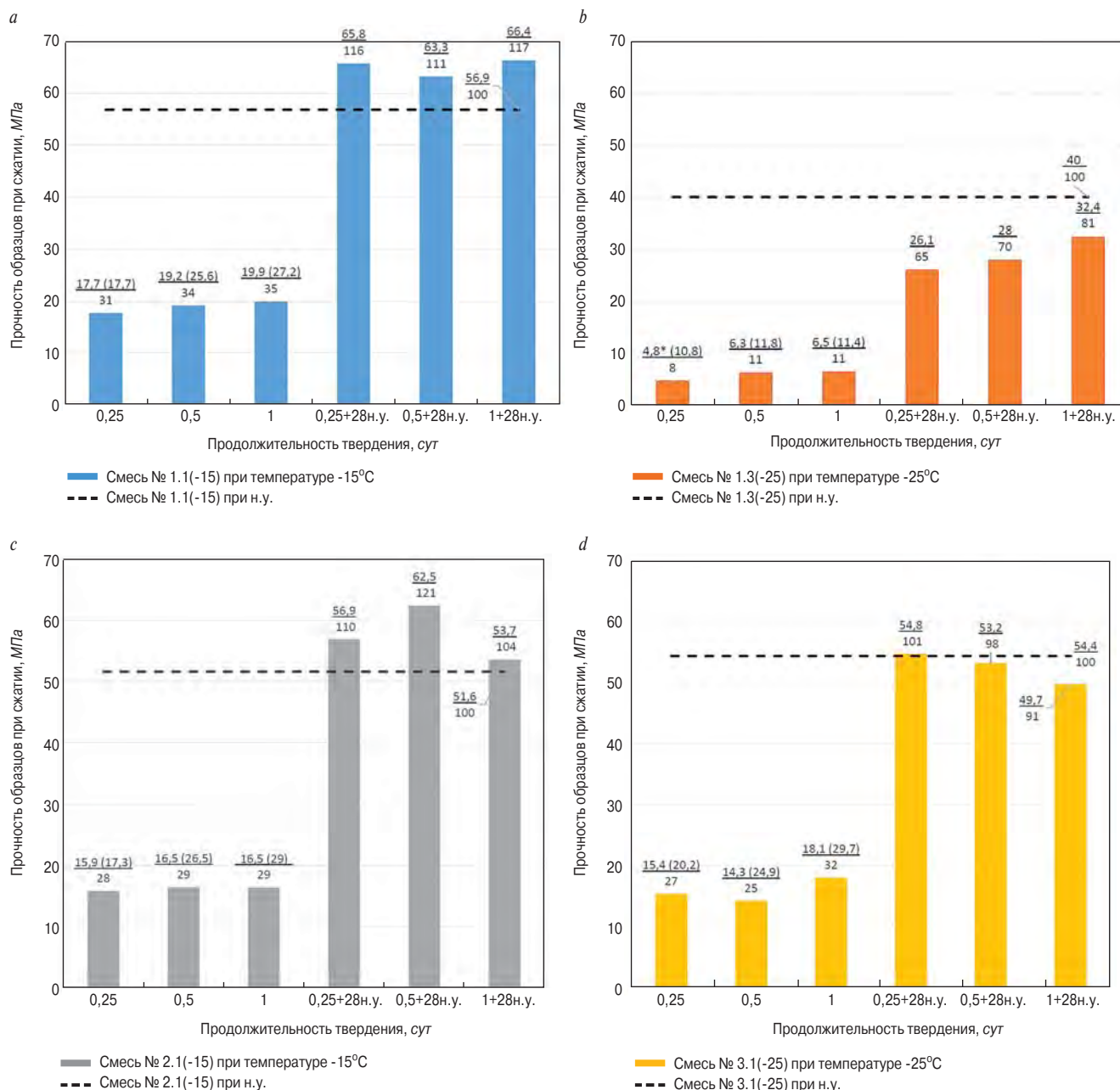


Рис. 2. Влияние замораживания на раннюю прочность «холодного» СУМБ при минимальной температуре укладки: группы смесей № 1 (а), (b); смеси № 2 (с); смеси № 3 (d).

Примечание. Над чертой указана прочность в МПа; в скобках – прочность замороженных образцов, МПа; под чертой – прочность в % от прочности после 28 сут твердения в нормальных условиях; образцы со знаком «*» подлежали выбраковке при превышении коэффициента вариации более 12%; 0,25, 0,5, 1 – продолжительность твердения (в сутках) образцов в морозильной камере при отрицательной температуре; 0,25+28н.у., 0,5+28н.у., 1+28н.у. – продолжительность твердения образцов (в сутках) в морозильной камере при отрицательной температуре и последующем 28-сут твердении в нормальных условиях.

Fig. 2. Influence of freezing on the early strength of the “cold” SCC at the minimum laying temperature: group of mixtures No. 1 (a), (b); group of mixtures No. 2 (c); mixture No. 3 (d)

Note. Strength in MPa is indicated above the line; in brackets – strength of frozen samples, MPa; under the line – strength in % of strength after 28 days hardening under normal conditional; Samples with the “*” sign were subject to rejection if the coefficient of variation exceeded more than 12%; 0,25, 0,5, 1 – the duration of hardening, days, in a freezer at a negative temperature; 0,25+28NC, 0,5+28NC, 1+28NC – the duration of hardening, days, in a freezer at a negative temperature and the next 28 days hardening under normal conditions

разогрев до температуры +85°C; изотермическая выдержка при температуре +85°C; остывание в камере до температуры +20°C для испытания образцов после термообработки.

1.4. Последующее высушивание образцов после термообработки в сушильном шкафу при температуре +105°C до постоянной массы в течение 24 ч для испытания образцов после сушки.

Для сравнительной оценки полученных результатов выполнялось определение прочности при сжатии второй партии контрольных образцов-балочек после твердения в камере нормального твердения; последующей термической обработки по режиму 24+3+6+3 ч при температуре изотермической выдержки +85°C; последующей сушки до постоянной массы по режиму 4.

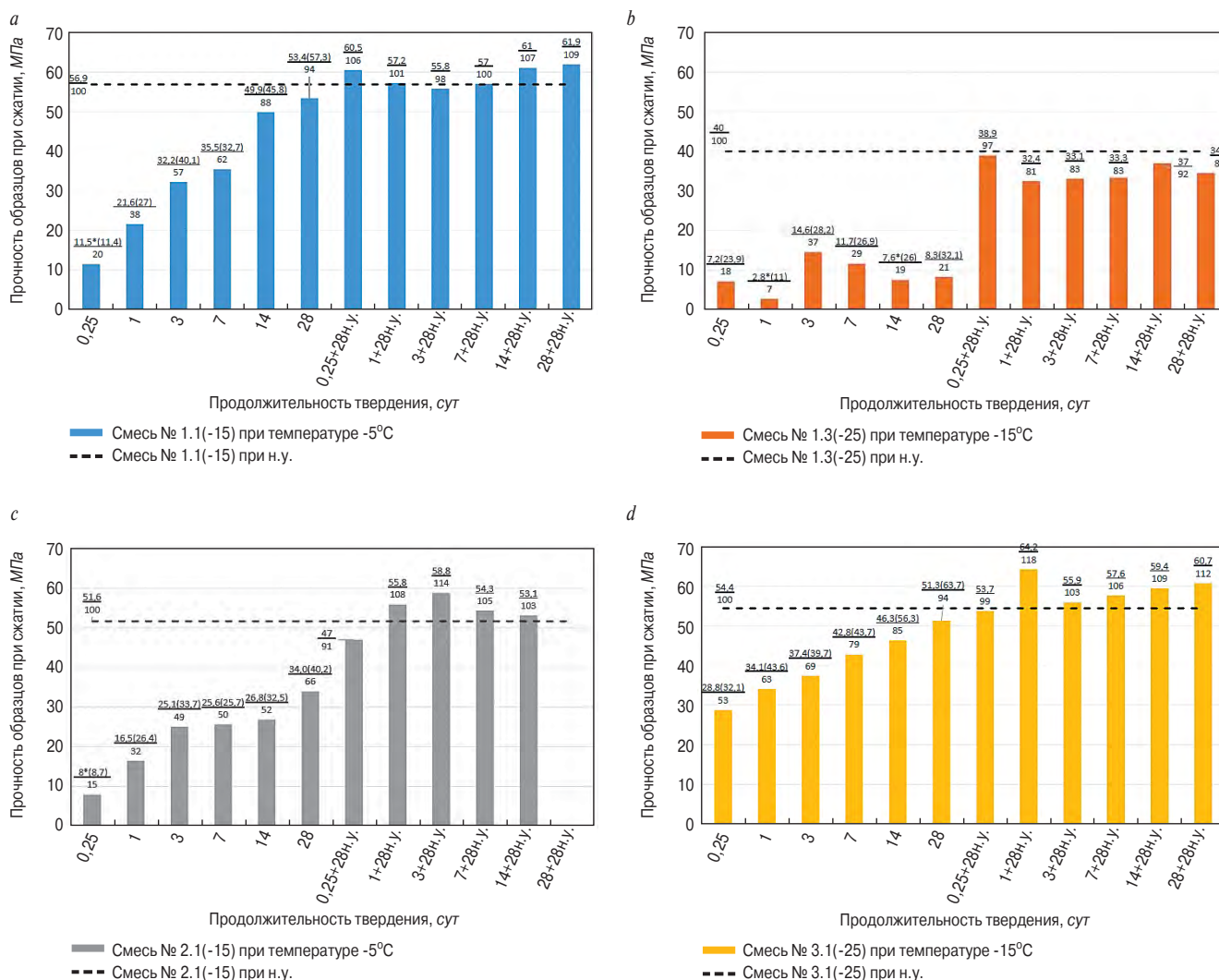


Рис. 3. Влияние замораживания на прочность «холодного» СУМБ при средней температуре укладки: группы смесей № 1 (а), (b); смеси № 2 (c); смеси № 3 (d).

Примечание. Над чертой указана прочность в МПа; в скобках – прочность замороженных образцов, МПа; под чертой – прочность в % от прочности после 28 сут твердения в нормальных условиях; образцы со знаком «*» подлежали выбраковке при превышении коэффициента вариации более 12%; 0,25, 1, 3, 7, 14, 28 – продолжительность твердения (в сутках) образцов в морозильной камере при отрицательной температуре; 0,25+28н.у., 1+28н.у., 3+28н.у., 7+28н.у., 14+28н.у., 28+28н.у. – продолжительность твердения образцов (в сутках) в морозильной камере при отрицательной температуре и последующем 28-сут твердении в нормальных условиях

Fig. 3. The influence of freezing on the early strength of the “cold” SCC at an average temperature of laying: group of mixtures No. 1 (a), (b); group of mixtures No. 2 (c); mixture No. 3 (d)

Note. Strength in MPa is indicated above the line; in brackets – strength of frozen samples, MPa; under the line – strength in % of strength after 28 days hardening under normal conditions; Samples with the “*” sign were subject to rejection if the coefficient of variation exceeded more than 12%; 0,25, 1, 3, 7, 14, 28 – the duration of hardening, days, in a freezer at a negative temperature; 0,25+28NC, 1+28NC, 3+28NC, 7+28NC, 14+28NC, 28+28NC – the duration of hardening, days, in a freezer at a negative temperature and the next 28 days, hardening under normal conditions

Результаты определения прочности бетона при сжатии первой партии контрольных образцов-балочек, замороженных при средних значениях начального диапазона отрицательной температуры укладки бетонной смеси, последующей термической обработки и сушки и их сравнение со второй партией, принятой за 100%, представлены на рис. 1.

В результате испытаний двух партий образцов получены данные для предварительной оценки влияния раннего суточного замораживания на кинетику твердения «холодных» СУМБ. Анализ результатов предварительного эксперимента хорошо коррелируется с известными зависимостями формирования структуры бетона при раннем замораживании и

последующем оттаивании [14, 32], в том числе СУБ [31]. Ранняя прочность размороженных образцов до температуры поверхности +5°C после суточного твердения при начальном диапазоне отрицательной температуры составила от 12,6 до 29,1 МПа, что позволяет обеспечивать раннее нагружение таких бетонов. Впоследствии происходит устойчивый набор прочности до значений 95–135% в сравнении с образцами, твердевшими после суточной выдержки в нормальных условиях. Конечная прочность образцов составила от 35,9 до 51 МПа. Возможный спад прочности образцов смесей № 1.1(-15) – рис. 1, а и № 2.1(-15) – рис. 1, b может быть связан с деструктивными процессами термообработки цементного

камня несформированной структуры, содержащего низкоосновные алюминаты кальция.

Малые размеры контрольных образцов, выбранные начальные отрицательные температурные диапазоны от -5°C до -10°C при замораживании, применение последующей термообработки и сушки образцов не в полной мере соответствуют реальным режимам твердения бетона в исследуемой технологии. Это не позволяет выявить основные закономерности динамики их твердения при минимальных и средних значениях отрицательной температуры, темпах последующего набора прочности, оценить возможные потери прочности при деструктивных процессах при длительном замораживании и т. п.

Для устранения ограничений предварительного эксперимента было проведено комплексное исследование динамики набора прочности «холодных» СУМБ при минимальных и средних значениях отрицательной температуры твердения образцов. В качестве контрольных образцов принимались кубы с размером грани 100 мм, условия для изготовления образцов принимались по таблице.

Отдельная группа образцов (третья партия) твердела после выдержки при минимальной отрицательной температуре укладки согласно области применения, указанной в паспорте ССС в течение 6 (0,25); 12 (0,5) и 24 ч (1 сут) соответственно с последующей выдержкой в нормальных условиях в течение 28 сут. Кубиковая прочность при сжатии замороженного бетона определялась после извлечения образцов из морозильной камеры, последующего разогрева образцов до температуры поверхности $+5^{\circ}\text{C}$ на воздухе, последующей выдержки 28 сут в камере нормального твердения. Отдельная серия образцов выдерживалась в камере нормального твердения в течение 28 сут для получения прочности образцов в нормальных условиях твердения (серия принята за 100% в сравнительном анализе).

Группа образцов (четвертая партия) твердела после выдержки при средней отрицательной температуре укладки согласно области применения, указанной в паспорте ССС, в течение 6 (0,25); 24 ч (1 сут); 3; 7; 14; 28 сут соответственно с последующей выдержкой в нормальных условиях в течение 28 сут.

Результаты определения кубиковой прочности бетона при сжатии контрольных образцов, замороженных при минимальных (третья партия) и средних (четвертая партия) значениях отрицательной температуры укладки бетонной смеси, разогрева и последующего твердения в нормальных условиях представлены на рис. 2 и 3 соответственно.

Обсуждение результатов

Необходимо отметить, что смесь № 1.3(-25) не соответствовала предъявляемым требованиям к «холодным» бетонам согласно паспорту. В результате деструктивных процессов раннего замораживания до минимальной и средней отрицательной температуры укладки при последующем 28-суточном нормальном твердении бетон имел до 20% дефицита прочности

при сжатии по сравнению с твердением в нормальных условиях. Это сопровождалось высокой (в 2–3 раза большей) прочностью замороженных образцов относительно размороженных. Величина ранней прочности образцов также оказалась незначительной и составила: для 6–12 ч – 4,8–6,3 МПа (при -25°C) и 7,2 МПа (при -25°C); для 1 сут – 2,8–3,7 МПа, что представляется меньше величины критической прочности, равной 8 МПа (20% от $R_{28\text{н.у.}}$) по данным [31]. Поэтому результаты испытания смеси № 1.3(-25) были исключены из последующего обсуждения.

Анализируя полученные результаты, можно сделать следующие выводы и выявить определенные закономерности:

1. Несмотря на наличие противоморозных добавок, при замораживании в бетонных образцах происходит фазовый переход несвязанной воды в лед. Это сопровождается увеличением прочности образцов относительно твердения в нормальных условиях в раннем возрасте (до 3 сут) с последующей потерей прочности при размораживании. Превышение прочности замороженных образцов относительно размороженных в раннем возрасте составило от 4,8 МПа (при 6 ч) до 13,8 МПа (при 24 ч). При увеличении продолжительности замораживания происходит плавное снижение приращения прочности замороженных образцов.

2. При раннем замораживании образцов до минимальной температуры в течение 1 сут и последующего нормального твердения не происходит значительной потери прочности образцов (не более 9% относительно образцов за 28 сут нормального твердения), а в ряде случаев происходит прирост их прочности по отношению к нормально твердеющим образцам до 21%. Это объясняется [31] усилением и ускорением процесса гидратации цемента после оттаивания. Данный эффект ослабляется (прирост прочности не более 12%) при продолжительном выдерживании в условиях средней отрицательной температуры, поэтому к его учету необходимо относиться с осторожностью, оценивая влияние длительного воздействия отрицательной температуры на конечную прочность бетонов.

3. При твердении в условиях средней отрицательной температуры происходит непрерывный устойчивый набор прочности «холодного» бетона до значений 66–94 % от $R_{28\text{н.у.}}$ (34–51,3 МПа), что значительно (в 2–3 раза) выше основного показателя эффективности противоморозных добавок для «холодных» бетонов, принятого в ГОСТ 24211–2008 «Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия» не менее 30% от проектной прочности в возрасте 28 сут.

Выводы

В результате комплексного экспериментального исследования набора прочности «холодных» СУМБ получены высокие значения ранней прочности, что позволяет обеспечивать раннее нагружение таких бетонов. Конечная прочность образцов составила от

53,3 до 64,2 МПа, что полностью соответствует проектному классу бетона заделки стыков В30–В40 с определенным запасом. Высокая ранняя прочность бетона, устойчивая динамика набора прочности исследуемых бетонов при отрицательной температуре позволяют сделать основной вывод об отсутствии спада прочности в результате замораживания бетона и значительном потенциале применения «холодных» бетонов на основе ССС. Применение «холодных» СУБ в технологии зимнего беспрогревного бетонирования стыков безусловно обеспечивает технологические условия непрерывного монтажа сборных конструкций. Результаты исследования позволяют устранить ограничения, существенно расширить область применения и повысить энергоэффективность беспрогревных методов зимнего бетонирования.

Учитывая полученные результаты, следует назначать минимальные значения кубиковой прочности бетона при сжатии через 6–8 ч – 8 МПа, для 24 ч – 15 МПа при минимальной температуре укладки с целью раннего входного контроля качества «холодных» бетонов. При этом прочность при сжатии образцов, выдерживаемых в течение 28 сут в нормаль-

ных условиях после оттаивания, должна быть не ниже проектной. Для оценки динамики набора прочности при твердении в отрицательных температурных условиях рекомендуется использовать среднее значение температурного диапазона, указываемого производителем смеси.

Представляется обоснованным испытание прочности «холодных» бетонов (особенно в раннем возрасте) при сжатии сопровождать термограммами твердения контрольных образцов (в центре образца и/или на его поверхности) и окружающей среды для сопоставления условий твердения бетона в реальных стыках ЖБИ, например в процессе их температурного мониторинга [33]. Анализ температурных условий твердения бетона в контрольных образцах и стыках позволит повысить надежность их приемочного контроля качества.

Дальнейшие исследования могут быть направлены на оценку влияния раннего замораживания на прочность холодных швов бетонирования на границе «старого» и «нового» бетона с использованием «холодных» СУМБ при зимнем бетонировании стыков сборных конструкций.

Список литературы

1. Румянцев Е.В., Байбурун А.Х., Соловьев В.Г., Ахмедьянов Р.М., Бессонов С.В. Технологические параметры качества самоуплотняющихся мелкозернистых бетонных смесей для зимнего бетонирования стыков // *Строительные материалы*. 2021. № 5. С. 4–14. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-791-5-4-14>
2. Головнев С.Г. Технология зимнего бетонирования. Оптимизация параметров и выбор методов. Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 1999. 156 с.
3. Баженов Ю.М., Алимов В.В., Воронин В.В. Наномодифицированные высококачественные бетоны. М.: АСВ, 2017. 198 с.
4. Батраков В.Г. Модификаторы бетона: новые возможности и перспективы // *Строительные материалы*. 2006. № 10 (622). С. 4–7.
5. Бикбау М.Я., Нефедов А.С. Наномодифицированный цемент и бетон на его основе // *ALITinform*. 2020. № 2 (59). С. 2–13.
6. Каприелов С.С., Травуш В.И., Карпенко Н.И., Шейнфельд А.В., Кардумян Г.С., Киселева Ю.А., Пригоженко О.В. Модифицированные бетоны нового поколения в сооружениях ММДЦ «Москва-Сити» // *Строительные материалы*. 2006. № 10 (622). С. 13–17.
7. Красновский Б.М., Долгополов Н.Н., Загреков В.В., Суханов В.А., Лореттова Р.Н. Твердение бетонов на ВНВ при отрицательных температурах // *Бетон и железобетон*. 1991. № 2. С. 17–18.
8. Несветаев Г.В. Эффективность применения суперпластификаторов в бетонах // *Строительные материалы*. 2006. № 10 (622). С. 23–25.

References

1. Rumyantsev E.V., Bayburin A.Kh., Solov'ev V.G., Ahmed'yanov R.M., Bessonov S.V. Technological parameters of the quality of self-compacting fine-grained fresh concrete for winter concreting. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2021. No. 5, pp. 4–14. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-791-5-4-14>
2. Golovnev S.G. Tekhnologiya zimnego betonirovaniya. Optimizatsiya parametrov i vybor metodov [The winter concreting technology. Optimization of parameters and choice of methods]. Chelyabinsk: Publishing House of SUSU. 1999. 156 p.
3. Bazhenov Yu.M., Alimov V.V., Voronin V.V. Nanomodificirovannye vysokokachestvennye betony [Nanomodified high-performance concrete]. Moscow: ASV. 2017. 198 p.
4. Batrakov V.G. Concrete modifiers: new possibilities and prospects. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2006. No. 10 (622), pp. 4–7. (In Russian).
5. Bikbau M.Ya., Nefedov A.S. Nanomodified cement and concrete based on it. *ALITinform*. 2020. No. 2 (59), pp. 2–13. (In Russian).
6. Kapriyelov S.S., Travush V.I., Karpenko N.I., Scheinfeld A.V., Kardumyan G.S., Kiseleva Yu.A., Prigozhenko O.V. Modified concrete of a new generation in the structures of MMDC “Moscow-City”. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2006. No. 10 (622), pp. 13–17. (In Russian).
7. Krasnovsky B.M., Dolgoplov N.N., Zagrekov V.V., Sukhanov V.A., Lorettova R.N. Hardening of concrete at GNV at negative temperatures. *Beton i zhelezobeton* [Concrete and reinforced concrete]. 1991. No. 2, pp. 17–18. (In Russian).

9. Сорокин Ю.В., Калашников О.О., Фаликман В.Р. Строительно-технические свойства особо высокопрочных быстротвердеющих бетонов. *80-летие НИИЖБ им. А.А. Гвоздева: Сборник научных статей*. М., 2007. С. 178–194.
10. Ущеров-Маршак А.В. Добавки в бетон: прогресс и проблемы // *Строительные материалы*. 2006. № 10 (622). С. 8–12.
11. Фаликман В.Р. Бетоны заданной функциональности – «Умные бетоны». *Материалы конференции ICCX*. Санкт-Петербург. 3–6 декабря 2019. С. 52–63.
12. Юань Ю., Лин В., Пе Т. Высококачественный цементный бетон с улучшенными свойствами. М.: АСВ, 2014. 448 с.
13. Han B., Ding D, Wang J., Ou J. Nano-engineered cementitious composites. principles and practices. Singapore: Springer Nature Singapore Pte Ltd. 2019. 731 p. DOI: 10.1007/978-981-13-7078-6
14. Миронов С.А., Лагойда А.В. Бетоны, твердеющие на морозе. М.: Стройиздат, 1974. 264 с.
15. Тараканов О.В., Белякова Е.А., Горшков В.И. Противоморозные добавки на основе суперпластификаторов, минеральных и ускоряющих модификаторов // *Региональная архитектура и строительство*. 2014. № 1. С. 53–58.
16. Изотов В.С., Соколова Ю.А. Химические добавки для модификации бетона: Монография. Казань: Палеотип, 2006. 244 с.
17. Андреева А.В., Буренина О.Н., Давыдова Н.Н., Даваасенгэ С.С., Саввинова М.Е. Структурные изменения мелкозернистого бетона, твердеющего при отрицательной температуре окружающего воздуха // *Приволжский научный вестник*. 2015. № 12–1 (52). С. 24–26.
18. Кононова О.В., Минаков Ю.А., Грязина М.В., Иванов Н.А., Черепов В.Д. Исследование кинетики твердения бетонов и растворов с противоморозными добавками после воздействия отрицательных температур // *Фундаментальные исследования*. 2014. № 8. С. 1309–1312.
19. Шатов А.Н. Особенности выбора модификатора бетона для зимних условий бетонирования // *Бетон и железобетон*. 2016. № 1. С. 25–28.
20. Kothari A., Habermehl-Cwirzen K., Hedlunt H., Cwirzen A. A Review of the mechanical properties and durability of ecological concretes in a cold climate in comparison to standard ordinary Portland cement-based concrete // *Materials*. 2020. No. 13 (16). Vol. 3467, pp. 1–32. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma13163467>
21. Dar A.R. Influence of cold temperature on performance of concrete in J&K. *Comparison studies: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. Vol. 561. 012020. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/561/1/012020>
22. Okamura M., Ouchi H. Self-compacting high performance concrete. *Progress in Structural Engineering and Materials*. 1998. Vol. 1. Iss. 4, pp. 378–383. DOI: <https://doi.org/10.1002/pse.2260010406>
8. Nesvetaev G.V. Effectiveness of superplasticizers application in concrete. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2006. No. 10 (622), pp. 23–25. (In Russian).
9. Sorokin Yu.V., Kalashnikov O.O., Falikman V.R. Construction and technical properties of especially high-strength fast-hardening concrete: *80th anniversary of the A.A. Gvozdev NIIZhB. Proceedings of scientific articles*. Moscow. 2007, pp. 178–194. (In Russian).
10. Usharov-Marshak A.V. Additives in concrete: progress and problems. *Stroitel'nye Materialy*. [Construction materials]. 2006. No. 10 (622), pp. 8–12. (In Russian).
11. Falikman V.R. High performance concrete – “Smart concrete”. *Materials of the conference ICCX*. St. Petersburg. December 3–6, 2019, pp. 52–63. (In Russian).
12. Yuan Yu., Lin V., Pe T. Vysokokachestvenniy cementniy beton s uluchshennymi svoystvami [High-performance cement concrete with improved properties] Moscow: ASV. 2014. 448 p.
13. Han B., Ding D, Wang J., Ou J. Nano-engineered cementitious composites. principles and practices. Singapore: Springer Nature Singapore Pte Ltd. 2019. 731 p. DOI: 10.1007/978-981-13-7078-6
14. Mironov S.A., Lagoyda A.V. Betony, tverdeyushchie na moroze [Concrete, hardening in the cold]. Moscow. Stroyizdat. 1974. 264 p.
15. Tarakanov O.V., Belyakova E.A., Gorshkov V.I. Anti-frost additives based on superplasticizers, mineral and accelerating modifiers. *Regional'naya arkhitektura i stroitel'stvo*. 2014. No. 1, pp. 53–58. (In Russian).
16. Isotov V.S., Sokolova Yu.A. Khimicheskie dobavki dlya modifikatsii betona: monografiya [Chemical additives for modifying concrete: monograph]. Kazan: Paleotype Publishing House. 2006. 244 p.
17. Andreeva A.V., Burenina O.N., Davydova N.N., Davaasenge S.S., Savvinova M.E. Structural changes of fine-grained concrete hardening at negative ambient temperature. *Privolzhskii nauchnyi vestnik*. 2015. No. 12–1 (52), pp. 24–26. (In Russian).
18. Kononova O.V., Minakov Yu.A., Gryazina M.V., Ivanov N.A., Cherepov V.D. Study of the kinetics of hardening of concrete and solutions with anti-frost additives after exposure to negative temperatures. *Fundamental'nye issledovaniya*. 2014. No. 8, pp. 1309–1312. (In Russian).
19. Shatov A.N. Features of selection of concrete modifier for winter concreting conditions. *Beton i zhelezobeton* [Concrete and reinforced concrete]. 2016. No. 1, pp. 25–28. (In Russian).
20. Kothari A., Habermehl-Cwirzen K., Hedlunt H., Cwirzen A. A Review of the mechanical properties and durability of ecological concretes in a cold climate in comparison to standard ordinary Portland cement-based concrete. *Materials*. 2020. No. 13 (16). Vol. 3467, pp. 1–32. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma13163467>
21. Dar A.R. Influence of cold temperature on performance of concrete in J&K. *Comparison studies: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. Vol. 561. 012020. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/561/1/012020>

23. Self-Compacting Concrete: *Proceedings of the First International RILEM Symposium*. Edited by A. Skarendahl and O. Petersson. RILEM Publication S.A.R.L., Stockholm, Sweden. 1999. 578 p.
24. Батудаева А.В., Кардумян Г.С., Каприелов С.С. Высокопрочные модифицированные бетоны из самовыравнивающихся смесей // *Бетон и железобетон*. 2005. № 4. С. 14–18.
25. Несветаев Г.В. Технология самоуплотняющихся бетонов // *Строительные материалы*. 2008. № 3. С. 24–28.
26. Мозгалев К.М., Головнев С.Г. Самоуплотняющиеся бетоны: возможности применения и свойства // *Академический вестник УралНИИПроект РААСН*. 2011. № 4. С. 70–74.
27. Румянцев Е.В. Особенности технологии применения мелкозернистых бетонов на основе сухих строительных смесей в монолитных стыках крупнопанельных зданий: *Материалы конференции ICCX Россия*. Санкт-Петербург. 1–4 декабря 2020. С. 55–57.
28. Nehdy M., Elsayed M., Provost-Smith D. J. Investigation of grouted precast concrete wall connections at subfreezing conditions. *Material of Conference “Resilient infrastructure”*. London, GB. 2016, pp. 1–10. https://www.researchgate.net/publication/304115263_INVESTIGATION_OF_GROUTED_PRECAST_CONCRETE_WALL_CONNECTIONS_AT_SUBFREEZING_CONDITIONS#fullTextFileContent (Date of access 03.02.2021).
29. Мозгалев К.М., Головнев С.Г., Мозгалева Д.А. Эффективность применения самоуплотняющихся бетонов при возведении монолитных зданий в зимних условиях // *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Сер. Строительство и архитектура*. 2014. Т. 14. № 1. С. 33–37.
30. Минаков Ю.А., Кононова О.В., Анисимов С.Н., Грязина М.В. Управление кинетикой твердения бетона при отрицательных температурах // *Фундаментальные исследования*. 2013. № 4. С. 307–311.
31. Мозгалев К.М., Головнев С.Г. Особенности раннего замораживания самоуплотняющихся бетонов // *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Сер. Строительство и архитектура*. Вып. 15. № 38 (297). 2012. С. 43–45.
32. Шелехов И.Ю., Дорофеева Н.Л., Казакова А.Ю. Исследование термодинамических процессов в бетонной смеси, затвердевающей в зимних условиях // *Известия вузов. Строительство. Недвижимость*. 2021. Т. 11. № 1. С. 126–133. DOI: <http://dx.doi.org/10.21285/2227-2917-2021-1-126-133>
33. Румянцев Е.В., Видякин А.А., Байбурун А.Х. Температурный мониторинг монолитных стыков крупнопанельных зданий при зимнем бетонировании // *Бетон и железобетон*. 2020. № 1 (601). С. 42–48.
22. Okamura M., Ouchi H. Self-compacting high performance concrete. *Progress in Structural Engineering and Materials*. 1998. Vol. 1. Iss. 4, pp. 378–383. DOI: <https://doi.org/10.1002/pse.2260010406>
23. Self-Compacting Concrete: *Proceedings of the First International RILEM Symposium*. Edited by A. Skarendahl and O. Petersson. RILEM Publication S.A.R.L., Stockholm, Sweden. 1999. 578 p.
24. Batudaeva A.V., Kardumyan G.S., Kaprielov S.S. High-strength modified concrete from self-compacting mixtures. *Beton i zhelezobeton* [Concrete and reinforced concrete]. 2005. No. 4, pp. 14–18. (In Russian).
25. Nesvetaev G.V. Technology of self-compacting concrete. *Stroitel'nye Materialy* [Construction materials]. 2008. No. 3, pp. 24–28. (In Russian).
26. Mozgalev K.M., Golovnev S.G. The self-compacting concrete: possibilities of application and properties. *Akademicheskij vestnik UralNIIProekt RAASN*. 2011. No. 4, pp. 70–74. (In Russian).
27. Rumyantsev E.V. Features of the technology for the use of fine-grained concrete based on dry construction mixtures in-situ joints of large-panel buildings: *Materials of the ICCX Russia conference*. St. Petersburg. December 1–4, 2020, pp. 55–57. (In Russian).
28. Nehdy M., Elsayed M., Provost-Smith D. J. Investigation of grouted precast concrete wall connections at subfreezing conditions: *Material of Conference “Resilient infrastructure”*. London, GB. 2016, pp. 1–10. https://www.researchgate.net/publication/304115263_INVESTIGATION_OF_GROUTED_PRECAST_CONCRETE_WALL_CONNECTIONS_AT_SUBFREEZING_CONDITIONS#fullTextFileContent (Date of access 03.02.2021).
29. Mozgalev K.M., Golovnev S.G., Mozgaleva D.A. Efficiency of use of self-compacting concretes in the construction of monolithic buildings in winter conditions. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya “Stroitel'stvo i arhitektura”*. 2014. Vol. 14. No. 1, pp. 33–37. (In Russian).
30. Minakov Yu.A., Kononova O.V., Anisimov S.N., Gryazina M.V. Management of concrete hardening kinetics at negative temperatures. *Fundamental'nye issledovaniya*. 2013. No. 4, pp. 307–311. (In Russian).
31. Mozgalev K.M., Golovnev S.G. Features of early freezing of self-compacting concrete. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta, Seriya “Stroitel'stvo i arhitektura”*. 2012. Iss. 15. No. 38 (297), 2012, pp. 43–45. (In Russian).
32. Shelekhov I.Yu., Dorofeeva N.L., Kazakova A.Yu. Study of thermodynamic processes in a concrete mixture hardening in winter conditions. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'*. 2021. Vol. 11. No. 1, pp. 126–133. DOI: <http://dx.doi.org/10.21285/2227-2917-2021-1-126-133>. (In Russian).
33. Rumyantsev E.V., Vidyakin A.A., Bayburin A.Kh. Temperature monitoring of monolithic joints of large-panel buildings during winter concreting. *Beton i zhelezobeton* [Concrete and reinforced concrete]. 2020. No. 1 (601), pp. 42–48. (In Russian).

УДК 666.943

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-796-10-21-24>

А.А. ПЕТРОВСКАЯ, заведующая лабораторией (alena.45hatova@mail.ru)

А.Г. КАПТЮШИНА, канд. техн. наук (kaptushina@chsu.ru)

Череповецкий государственный университет (162600, г. Череповец, пр-т Луначарского, 5)

Исследование свойств шлакощелочных вяжущих и бетонов на их основе

Утилизация отходов доменного сталеплавильного производства была и остается актуальной проблемой. Существует возможность использования данного вида отходов при производстве бетонов для промышленного и гражданского строительства с целью экономии исходных компонентов. Приведены результаты исследований шлакощелочного вяжущего и бетона на его основе с использованием молотого доменного шлака и экспериментальные данные разработки вяжущего вещества на разных видах шлака. Проведены экспериментальные опыты при различной плотности щелочного раствора. В качестве щелочного компонента используется плав соды кальцинированной. Изложены рекомендации по приготовлению щелочного раствора. Рассмотрены свойства шлакощелочного вяжущего – схватывания и прочность. Исследованы свойства бетона на основе данного вида вяжущего, такие как подвижность, плотность бетонной смеси и прочность, водонепроницаемость бетона. В ходе проведенных исследований подобраны оптимальные составы вяжущего вещества и шлакощелочного бетона, класса по прочности В20 и класса по водонепроницаемости W6. Результаты исследований могут применяться при производстве строительных конструкций для промышленного и гражданского строительства, а также для дальнейшего исследования и модифицирования состава.

Ключевые слова: доменный гранулированный шлак, шлакощелочное вяжущее, шлакощелочной бетон, плав соды кальцинированной, сталеплавильный шлак.

Авторы статьи выражают благодарность д-ру техн. наук [В.С. Грызлову](#), оказывавшему научное консультирование при проведении исследований строительных композитов на основе шлаковых составляющих.

Для цитирования: Петровская А.А., Каптюшина А.Г. Исследование свойств шлакощелочных вяжущих и бетонов на их основе // *Строительные материалы*. 2021. № 10. С. 21–24. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-796-10-21-24>

A.A. PETROVSKAYA, Head of Laboratory (alena.45hatova@mail.ru),

A.G. KAPTYUSHINA, Candidate of Sciences (Engineering) (kaptushina@chsu.ru)

Cherepovets State University (5, Lunacharskogo Prospect, Cherepovets, 162600, Russian Federation)

Research in the Properties of Slag-Alkaline Binders and Concretes Based on Them

The disposal of waste from blast furnace steelmaking has been and remains an urgent problem. There is a possibility of using this type of waste when producing concretes for industrial and civil construction in order to save the initial components. The results of studies of a slag-alkaline binder and concrete based on it using ground blast furnace slag and experimental data on the development of a binder on different types of slag are presented. Experimental experiences were carried out at different densities of the alkaline solution. As an alkaline component, a soda ash fusion cake is used. Recommendations for the preparation of an alkaline solution are presented. The properties of the slag-alkaline binder, such as the setting time and strength, are considered. The properties of concrete based on this type of binder, such as mobility, density of the concrete mixture and strength, water resistance of concrete, are studied. In the course of the conducted studies, the optimal compositions of the binder and slag-alkaline concrete, strength class B20 and water resistance class W6 were selected. The results of the research can be used in the production of building structures for industrial and civil construction, as well as for further research and modification of the composition.

Keywords: blast furnace granulated slag, slag-alkaline binder, slag-alkaline concrete, soda ash fusion cake, steelmaking slag.

The authors of the article express their gratitude to [V.S. Gryzlov](#), Doctor of Sciences (Engineering), who provided scientific advice when conducting research on construction composites based on slag components.

For citation: Petrovskaya A.A., Kaptushina A.G. Research in the properties of slag-alkaline binders and concretes based on them. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2021. No. 10, pp. 21–24. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-796-10-21-24>

Одним из перспективных видов вяжущих являются шлакощелочные, применение которых взамен традиционных дает возможность экономить значительное количество цементного клинкера, топливно-энергетических ресурсов и денежных средств. Использование техногенного сырья позволяет заменить ресурсо- и энергоемкий цемент в тех изделиях и конструкциях, где его высокая прочность не требуется. А освобождение загрязненных урбанистических и сельскохозяйственных территорий от многотоннажных отходов обеспечивает решение актуальной проблемы экологической безопасности. Все эти крите-

рии являются базовыми в стратегии развития строительного комплекса РФ.

Организация производства безцементных шлакощелочных вяжущих, основными исходными материалами которых являются молотый гранулированный шлак и щелочной компонент, существенно расширяет сырьевую базу строительства [1]. Освоение этого вида вяжущего связано не только с заменой дорогостоящего цемента, но и с возможностью получения долговечных конструкций и изделий с более высокими эксплуатационными характеристиками.

Шлакощелочные вяжущие и бетоны на их основе характеризуются высокой прочностью в сухих и влажных условиях. Наряду с самостоятельным твердением они способны вступать в химическое взаимодействие с минералами глин и другими алюмосиликатами, присутствующими в заполнителях, что значительно расширяет сырьевую базу бетонов на основе шлакощелочных вяжущих.

Известно, что многолетний опыт применения бетонов на основе шлакощелочных вяжущих доказывает эффективность и высокие эксплуатационные качества данного вида вяжущего при строительстве сооружений специального назначения, а также при возведении жилых домов; шлакощелочные вяжущие обладают высокими физико-механическими характеристиками, такими как высокая плотность, стабильный и постоянный рост прочности, коррозионная устойчивость, стойкость к воздействию агрессивных сред, а также высокая морозостойкость; шлакощелочные бетоны можно отнести к разряду материалов со специальными свойствами (Рекомен-

дации по изготовлению шлакощелочных бетонов и изделий на их основе, НИИЖБ, 1986) и рекомендовать к использованию в специальных видах строительства [2–4].

Эксперименты по внедрению шлакощелочных бетонов при возведении зданий и сооружений начались в 1958 г., а опытное применение – в 1964 г. [2].

Шлакощелочные вяжущие, являющиеся основным компонентом шлакощелочных бетонов, представляют собой гидравлические вяжущие вещества, получаемые путем смешивания тонкомолотого гранулированного шлака с водными растворами щелочных компонентов.

Шлакощелочные вяжущие получили широкую известность благодаря исследованиям В.Д. Глуховского [2–5] и его учеников [6–9]. Существуют более современные исследования о применении шлаков при приготовлении вяжущих и производстве бетонов [10–13].

На данный момент кафедра строительства им. почетного профессора Череповецкого государственного университета, д-ра техн. наук В.С. Грызлова активно занимается исследованиями шлакобетонов [1, 14]. Проблема экологической безопасности важна для всего мирового сообщества. Реабилитация загрязненных отходами доменного сталеплавильного производства территорий является актуальной для РФ.

Цель работы – подбор состава шлакощелочного бетона класса не менее В20, пригодного для производства конструкций, предназначенных для жилищного строительства. В качестве исходных при-

**Таблица 1
Table 1**

**Расход щелочного компонента на 1 л воды
Consumption of alkaline component per 1 liter of water**

Плав соды кальцинированной, г	Плотность, г/см ³
143	1,05
167	1,12
200	1,15
250	1,2

**Таблица 2
Table 2**

**Результаты испытаний составов шлакощелочных вяжущих
Test results of slag-alkali binders compositions**

Вид шлака	Шлакощелочной раствор		Сроки схватывания		Прочность R _{сж} /R _{изг} , МПа Нормальное твердение			Прочность R _{сж} /R _{изг} , МПа Тепловлажностная обработка			
	Плотность, г/см ³	R/Ш	Начало, мин	Окончание, ч	7 сут	28 сут	Ориентировочная марка вяжущего	1 сут	7 сут	28 сут	Ориентировочная марка вяжущего
ПАО «Челябинский металлургический комбинат» (г. Челябинск), уд. пов. 430 м ² /кг	1,05	0,36	45	8	10,4/1,8	15,3/2,6	M15	22,3/3,1	24,4/3,81	31,1/4,42	M30
	1,12	0,36	45	8	10,8/1,8	15,6/2,8	M15	25,2/3,7	28,3/4,6	35,7/5,1	M35
	1,15	0,44	50	8	11/2,2	20,7/3,2	M20	29,1/4,5	32,3/4,7	41,4/6,4	M40
	1,2	0,44	50	8	19,6/2,9	31,3/4,97	M30	36/6,5	37,2/6,85	51,3/9,12	M50
ПАО «Северсталь» (г. Череповец), уд. пов. 320 м ² /кг	1,05	0,36	40	7,5	8,6/1,6	13,3/2,7	M10	12/3,6	14,1/4,7	20,6/5,1	M20
	1,12	0,36	40	7,5	9,7/1,8	13,9/3,1	M10	14,3/4,1	16,2	20,4/5,35	M20
	1,15	0,44	45	8	10,4/2,1	15,6/3,4	M15	17,8/4,4	19,6	25,4/5,83	M25
	1,2	0,44	45	8	13,6/2,8	20,5/4,1	M20	19,4/5,1	22,3	26,4/5,96	M25

Таблица 3
Table 3Результаты испытаний шлакощелочного бетона
Test results for slag-alkali concrete

Маркировка бетонной смеси ориентировочной марки	Подвижность бетонной смеси, см		Плотность бетонной смеси, кг/м ³		Прочность R _{сж} , МПа, при нормальном твердении, в возрасте				Прочность R _{сж} , МПа, после тепловлажностной обработки, в возрасте				Класс по водонепроницаемости
	В каждой партии	Среднее значение	В каждой партии	Среднее значение	7 сут	Среднее значение	28 сут	Среднее значение	1 сут	Среднее значение	28 сут	Среднее значение	
БСГ В20 W6	6	6 (ПЗ)	2420	2345	11,4	11,6	25,5	26,8	26,1	26,2	32,1	31,5	W6
	7		2210		10,2		26,9		25,4		32,8		
	6		2405		13,1		28		27,2		29,5		

меняли гранулированные шлаки ПАО «Челябинский металлургический комбинат» (г. Челябинск) и ПАО «Северсталь» (г. Череповец). Как щелочной компонент использовали плав соды кальцинированной ОАО «Щекиноазот» (Тульская обл.), представляющий собой куски неправильной формы различных размеров от светло-серого до светло-коричневого цвета.

Содощелочной плав предварительно измельчали и растворяли в оптимально подобранном количестве подогретой до 70–80°C воды в течение 20 мин. Плотность раствора (табл. 1) содощелочного плава измеряли ареометром с точностью до 0,01.

Принято растворошлаковое отношение (Р/Ш) 0,4–0,5. Исследовали два условия твердения: тепловлажностная обработка при температуре изотермической выдержки 80–85°C; нормальные условия твердения.

Образцы вяжущего готовили по стандартной методике и испытывали после нормального хранения в течение 7 и 28 сут, а также после тепловлажностной обработки в течение 1; 7; 28 сут. Результаты испытаний приведены в табл. 2.

Анализ полученных результатов позволяет сделать ряд выводов:

- на основе тонкомолотых гранулированных шлаков ПАО «Челябинский металлургический комбинат» (г. Челябинск) и ПАО «Северсталь» (г. Череповец) получено шлакощелочное вяжущее ориентировочно марок М10–М50;

- шлакощелочное вяжущее более высоких марок получено при соблюдении следующих технологических регламентов: тонкость помола до удельной поверхности 400–500 м²/кг; плотность шлакощелочного раствора 1,15–1,2 г/см³; растворошлаковое отношение (Р/Ш) – 0,44; тепловлажностная обработка при температуре изотермической выдержки 80–85°C.

При приготовлении бетонной смеси в качестве составляющих шлакощелочного вяжущего были приняты молотый шлак и раствор плава соды кальцинированной с плотностью 1,2 г/см³ (по результатам ранее проведенных испытаний шлакощелочных вяжущих на основе различных компонентов).

В качестве мелкого заполнителя был принят песок с модулем крупности 2,1; в качестве крупного заполнителя – щебень шлаковый (доменный) фракции 5–20 мм.

Все исходные компоненты были исследованы по необходимым параметрам для подбора состава бетона согласно ГОСТ 310.2–76 «Цементы. Методы определения тонкости помола», ГОСТ 8735–88 «Песок для строительных работ. Методы испытаний», ГОСТ 8269.0–97 «Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний».

Состав бетона подбирали согласно «Рекомендациям по изготовлению шлакощелочных бетонов и изделий на их основе». Расход компонентов на 1 м³ бетонной смеси: шлак молотый – 410 кг; песок (M_{кр}=2,1) – 560 кг; щебень доменный (фр. 5–20 мм) – 1037 кг; раствор щелочного компонента – 180 л.

Опытные образцы-кубы бетона со стороной ребра 100 мм были изготовлены для определения прочности при сжатии в возрасте 7 и 28 сут, а также после тепловлажностной обработки; для определения водонепроницаемости изготовлены образцы-кубы со стороной ребра 150 мм. Подвижность бетонной смеси определяли в соответствии с ГОСТ 10181–2014 «Смеси бетонные. Методы испытаний» (табл. 3).

Выводы

На основании результатов испытаний разработан состав шлакощелочного бетона класса В20 марки по водонепроницаемости W6. Бетонная смесь заданного состава имеет марку по подвижности ПЗ и плотность 2345 кг/м³.

Данный состав может быть использован для дальнейших исследований, направленных на:

- корректировку расхода шлака с целью повышения класса бетона по прочности;
- исследование возможности применения другого вида шлака или щелочного компонента;
- разработку технологической схемы производства шлакощелочного бетона;
- прогнозирование адаптационного периода шлакощелочного бетона [15].

Список литературы

1. Грызлов В.С. Избранные труды. Череповец: ЧГУ, 2013. 350 с.
2. Глуховский В.Д., Кривенко П.В., Румына Г.В., Герасимчук В.Л. Производство бетонов и конструкций на основе шлакощелочных вяжущих. Киев: Будівельник, 1988. 144 с.
3. Кривенко П.В., Пушкарева К.К. Долговечность шлакощелочного бетона. Киев: Будівельник, 1993. 224 с.
4. Глуховский В.Д., Пахомов В.А. Шлакощелочные цементы и бетоны. Киев: Будівельник, 1978. 184 с.
5. Щелочные и щелочно-земельные гидравлические вяжущие и бетоны / Под ред. В.Д. Глуховского. Киев: Вища школа, 1979. 232 с.
6. Рунова Р.Ф. Исследование автоклавных щелочно-щелочно-земельных материалов. Дис. ... канд. техн. наук. Киев. 1972. 164 с.
7. Ракша В.А. Исследование влияния химического состава шлаков на свойства шлакощелочных вяжущих и бетонов. Дис. ... канд. техн. наук. Киев. 1975. 174 с.
8. Румына Г.В. Исследование влияния глинистых минералов на свойства ШЩБ. Дис. ... канд. техн. наук. Киев. 1984. 272 с.
9. Гелевера А.Г. Быстротвердеющие и особобыстротвердеющие высокопрочные шлакощелочные вяжущие и бетоны на их основе. Дис. ... канд. техн. наук. Киев. 1986. 207 с.
10. Саламанова М.Ш., Муртазаев С.-А.Ю. Цементы щелочной активации: возможность снижения энергоемкости получения строительных композитов // *Строительные материалы*. 2019. № 7. С. 32–40. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-772-7-32-40>
11. Худовекова В.А., Гаркави М.С. Образование наносистем в процессе гидратации шлакощелочного вяжущего // *Строительные материалы*. 2015. № 2. С. 10–14. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2015-722-2-10-14>
12. Кузнецова Н.В., Дубровин А.И., Езерский В.А. Исследование влияния водоцементного отношения на прочность мелкозернистых бетонов с заполнителем из доменного гранулированного шлака // *Строительные материалы*. 2018. № 6. С. 20–23. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-760-6-20-23>
13. Фомина Е.В., Кудеярова Н.П., Тюкавкина В.В. Активация гидратации композиционного вяжущего на основе техногенного сырья // *Строительные материалы*. 2015. № 12. С. 61–64. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2015-732-12-61-64>
14. Комохов П.Г., Грызлов В.С. Структурная механика и теплофизика легкого бетона. Вологда: Вологодский научный центр, 1992. 321 с.
15. Чернявский В.Л. Адаптация бетона. Днепропетровск: Новая идеология, 2002. 116 с.

References

1. Gryzlov V.S. Izbrannye Trudy [Selected works]. Cherepovets: ChGU. 2013. 350 p.
2. Glukhovskiy V.D., Krivenko P.V., Romanina G.V., Gerasimchuk V.L. Proizvodstvo betonov i konstruktssii na osnove shlakoshchelochnykh vyazhushchikh [Production of concrete and structures based on slag-alkaline binders]. Kiev: Budivelnik. 1988. 144 p.
3. Krivenko P.V., Pushkareva K.K. Dolgovechnost' shlakoshchelochnogo betona. [Durability of slag alkali concrete]. Kiev: Budivelnik. 1993. 224 p.
4. Glukhovskiy V.D., Pakhomov V.A. Shlakoshchelochnye tsementy i betony [Slag-alkali cements and concretes]. Kiev: Budivelnik. 1978. 184 p.
5. Shchelochnye i shchelochnozemel'nye gidravlicheskie vyazhushchie i betony [Alkaline and alkaline earth hydraulic binders and concrete. Edited by V.D. Glukhovskiy]. Kiev: Vishcha shkola. 1979. 232 p.
6. Runova R.F. Research of autoclave alkaline-alkaline earth materials. Cand. Diss. (Engineering). Kiev. 1972. 164 p. (In Russian).
7. Raksha V.A. Investigation of the influence of the chemical composition of slags on the properties of slag-alkaline binders and concretes. Cand. Diss. (Engineering). Kiev. 1975. 174 p. (In Russian).
8. Rumanina G.V. Investigation of the influence of clay minerals on the properties of SHSHB. Cand. Diss. (Engineering). Kiev. 1984. 272 p. (In Russian).
9. Gelevera A.G. Fast-hardening and especially fast-hardening high-strength slag-alkaline binders and concretes based on them. Cand. Diss. (Engineering). Kiev. 1986. 207 p. (In Russian).
10. Salamanova M.Sh., Murtazaev S.-A.Yu. Cements of alkaline activation the possibility of reducing the energy intensity of building composites. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2019. No. 7, pp. 32–40. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-772-7-32-40>
11. Khudovekova V.A., Garkavi M.S. Formation of nanosystems in the process of hydration of a slag-alkaline binder. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2015. No. 2, pp. 10–14. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2015-722-2-10-14>
12. Kuznetsova N.V., Dubrovin A.I., Ezerskiy V.A. Investigation of the effect of water-cement ratio on the strength of fine-grained concrete with aggregate from granulated blast-furnace slag. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 6, pp. 20–23. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-760-6-20-23>
13. Fomina E.V., Kudeyarova N.P., Tyukavkina V.V. Activation of hydration of a composite binder based on technogenic raw materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2015. No. 12, pp. 61–64. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2015-732-12-61-64>
14. Komokhov P.G., Gryzlov V.S. Strukturnaya mekhanika i teplofizika legkogo betona [Structural mechanics and thermophysics of light concrete]. Vologda: Vologda Scientific Center, 1992. 321 p.
15. Chernyavskiy V. L. Adaptatsiya betona [Adaptation of concrete]. Dnepropetrovsk: Novaya Ideologiya. 2002. 116 p.

УДК 666.914.4

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-796-10-25-27>

Е.Н. БОТКА, генеральный директор (post@promstroyinform.ru)

Компания «Строительная информация» (191040, г. Санкт-Петербург, Лиговский пр., 73, оф. 320)

Рынок гипсовых строительных материалов России: как долго продлится рост?

Проведено исследование рынков гипсовых строительных материалов трех крупнейших групп: гипсовых сухих смесей (ССС), гипсокартона (ГКЛ), пазогребневых плит (ППП); проанализированы объемы и динамика их производства и потребления в 2019–2021 гг., сформулирован прогноз на 2021–2023 гг. В 2019 г. отмечен прирост на всех трех рассматриваемых рынках. Влияние пандемии на рынки гипсовых материалов оказалось умеренным: рынок СССР продемонстрировал небольшой рост, рынки ГКЛ и ППП – умеренный спад. По итогам девяти месяцев 2021 г. заметно увеличилось потребление ГКЛ, в еще большей степени – СССР, рынок плит показал нулевую динамику. Итоги полного года будут также позитивными. В ближайшей перспективе ожидается продолжение роста рассматриваемых рынков, но с меньшими темпами.

Ключевые слова: рынок строительных материалов на основе гипса, гипсокартон, пазогребневые плиты, сухие строительные смеси.

Для цитирования: Ботка Е.Н. Рынок гипсовых строительных материалов России: как долго продлится рост? // *Строительные материалы*. 2021. № 10. С. 25–27. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-796-10-25-27>

E.N. BOTKA, General Director (post@promstroyinform.ru)

"Stroitel'naya Informatsia" Co. (73, office 320, Ligovskiy Prospect, Saint-Petersburg, 191040, Russian Federation)

Gypsum Building Materials Market in Russia: How Long Will the Growth Last?

A study of the markets of gypsum building materials of the three largest groups: gypsum dry mixes (GDM), gypsum board (GB), groove-ridge slabs (GRS) was carried out, the volumes and dynamics of their production and consumption in 2019–2021 are analyzed, the forecast for 2021–2023 is formulated. In 2019, there was an increase in all three markets under consideration. The impact of the pandemic on the gypsum materials market turned out to be moderate: the GDM market showed a slight increase, GB and GRS markets – moderate decline. According to the results of 9 months of 2021, the consumption of GB has significantly increased, to an even greater extent – GDM, the market of plates showed zero dynamics. The results of the full year will also be positive. In the near future, the growth of the markets under consideration is expected to continue, but at a slower pace.

Keywords: market of building materials based on gypsum, gypsum board, groove-ridge slabs, dry building mixes.

For citation: Botka E.N. Gypsum building materials market in Russia: how long will the growth last?. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2021. No. 10, pp. 25–27. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-796-10-25-27>

Компания «Строительная информация» более пятнадцати лет внимательно наблюдает за рынками ряда строительных материалов, в том числе материалов на основе гипса. По сути, ведется негосударственная статистика этих рынков. В представленной работе проведен краткий анализ производства и потребления гипсовых строительных материалов по итогам 2020 г., шести–девяти месяцев 2021 г. и сформулирован осторожный прогноз на краткосрочную перспективу.

Для игроков рынка гипсовых строительных материалов 2019 г. оказался, пожалуй, наиболее успеш-

ным за семь лет. Впервые с 2013 г. произошел заметный рост производства и потребления гипсокартона (ГКЛ); рынок пазогребневых плит (ППП) вырос на 17% (самый высокий показатель с 2014 г.); выпуск гипсовых сухих строительных смесей (ССС) увеличился на 6%. Отметим, что в денежном эквиваленте указанные приросты были еще выше. Основным драйвером роста в 2019 г. послужила активность крупных и средних строительных компаний, «стахановскими темпами» достраивавших объекты. Отчасти, чтобы избежать одномоментного перехода на новые правила работы, отчасти – вслед за разо-

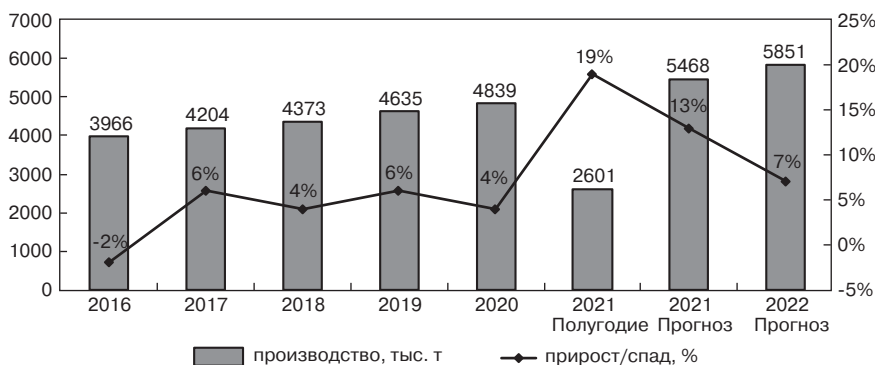


Рис. 1. Производство гипсовых ССС в России

Fig. 1. Production of gypsum dry mixes in Russia

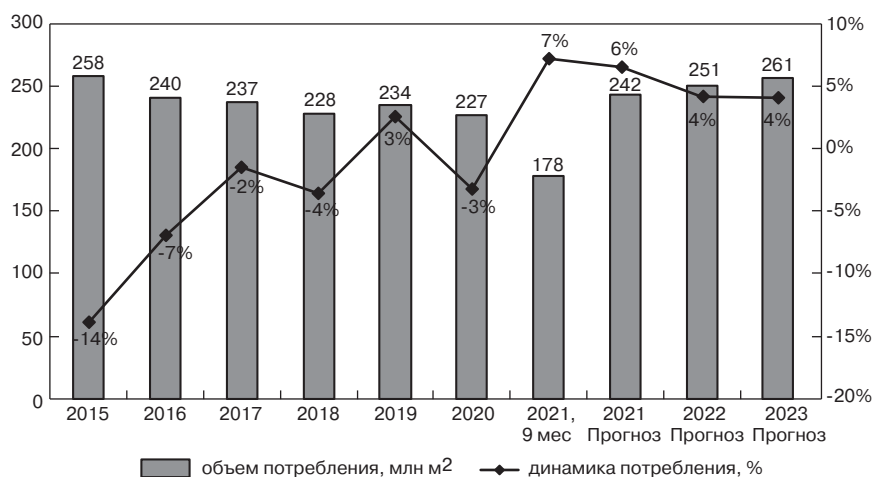


Рис. 2. Объемы и динамика потребления ГКЛ в России
Fig. 2. Volumes and dynamics of consumption of gypsum plasterboards in Russia

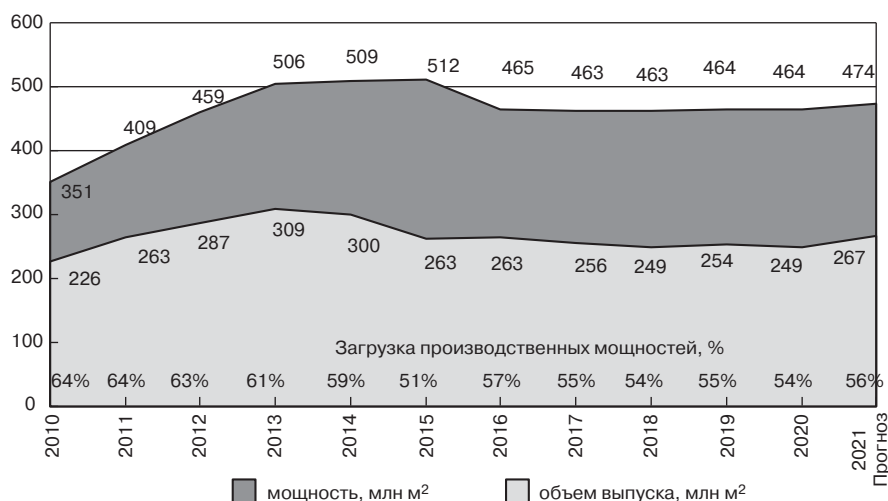


Рис. 3. Общая мощность, объем выпуска и загрузка производственных мощностей по выпуску ГКЛ в России
Fig. 3. Total capacity, production volume and utilization of production facilities for the production of gypsum board in Russia

гретым ожиданием подорожания жилья потребительским спросом (в части регионов).

В 2020 г. отрасль входила с ожиданиями дальнейшего роста. Первый квартал подтверждал эти ожидания (+6% по ГКЛ, +11% по ПГП и приблизительно такое же увеличение у производителей ССС). Но наступил сложный период мировой пандемии. На фоне карантинных в апреле рынок по всем материалам рухнул на 15–20%, в мае ситуация была еще хуже, по крайней мере в некоторых регионах. Особенно сильно просел рынок Москвы и области, где, в силу государственных приказов, были остановлены строительные объекты. Однако как только ограничения начали ослабевать, произошел быстрый «отскок» от минимальных показателей. Уже в июне динамика стала положительной не только к предыдущему месяцу, но и к июню 2019 г. Это отчасти спасло второй квартал. Например, по ГКЛ спад продаж составил 8%, по итогам полугодия в целом лишь 2%. Аналогичные результаты показал рынок гипсовых смесей.

За третий квартал прошлого года рынок гипсокартона прибавил 4% к аналогичному кварталу 2019 г., продажи гипсовых смесей выросли на 7%,

лишь плиты потеряли пару процентов. В конце года рынок смесей существенно вырос, тогда как гипсокартон и ПГП, напротив, продемонстрировали умеренный спад. Однако с учетом обстоятельств итоги 2020 г. для гипсовой отрасли сложно не признать позитивными – не слишком глубокий спад по листам и плитам, заметный рост по смесям.

Как и в 2019 г., основным драйвером спроса на гипсовые материалы в 2020 г. была «большая стройка»: благодаря льготной ипотеке и изменению структуры расходов населения разоглелся спрос на жилье.

Прогнозы на 2021 г. как автора, так и игроков рынка, несмотря на продолжающуюся пандемию, были позитивными и предусматривали рост спроса как на смеси, так и на листовые материалы. Но реальная ситуация оказалась лучше даже оптимистического варианта прогнозов (по крайней мере по ССС и гипсокартону).

Уже в первом квартале рынок гипсовых ССС прибавил 7% к достаточно высокому уровню аналогичного квартала 2020 г. На фоне низкой базы второго квартала прошлого года продажи этих материалов в апреле–июне взлетели на 29%, по итогам полугодия – на 19%.

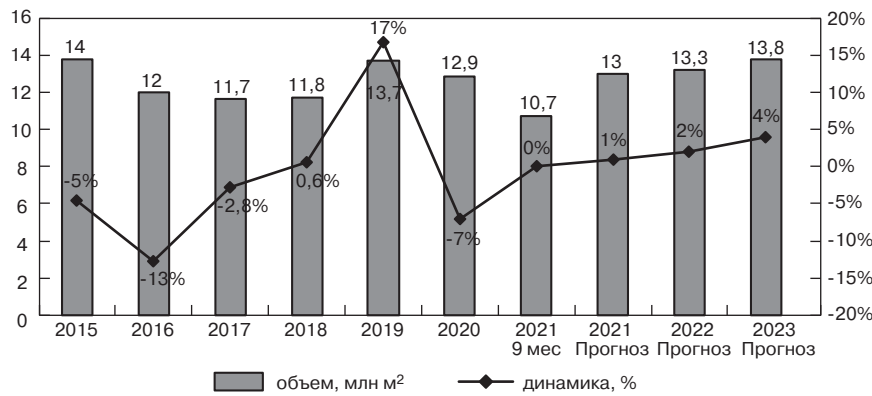


Рис. 4. Объем и динамика производства ПГП в России

Fig. 4. Volume and dynamics of production of tongue-and-groove slabs in Russia

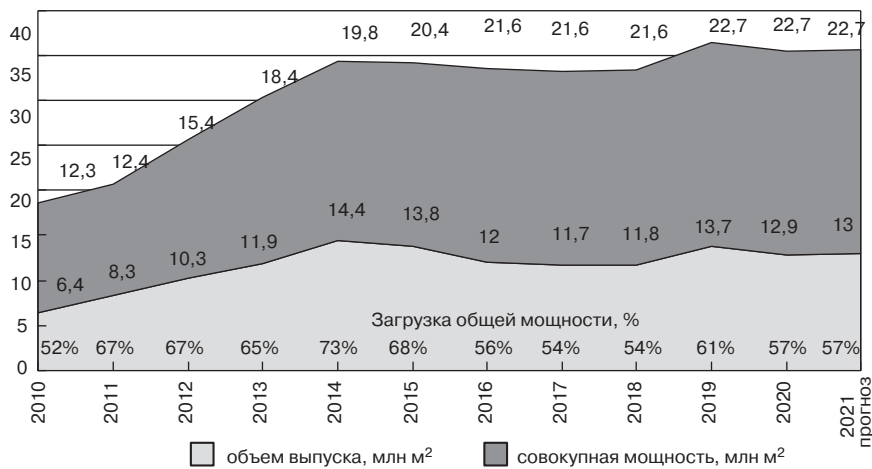


Рис. 5. Совокупная мощность заводов по производству ПГП, объемы выпуска ПГП и загрузка мощностей

Fig. 5. The total capacity of the factories for the production of tongue-and-groove plates, the volume of production of tongue-and-groove plates and capacity utilization

В третьем квартале темп ожидаемо снизился, но все равно остался, по предварительной оценке, двузначным (+14%). Как бы ни сложились ситуация на этом рынке в октябре–декабре, прогнозируется прирост по итогам 2021 г. больше чем на 10% (рис. 1).

Однако стоит полагать, что причин для сохранения таких активных темпов роста в 2022–2023 гг. как по смесям, так и по листовым материалам нет. Скорее всего, рост сохранится, но будет замедленным.

В начале года выпуск и потребление ГКЛ продемонстрировали небольшой спад. Но он длился недолго, уже во втором квартале продажи гипсокартона выросли на 15%, положительная динамика сохранилась и в третьем квартале. По итогам 2021 г. ожидается прирост 5–6% в натуральных показателях. Это хорошо для такого «проблемного» рынка, как ГКЛ; также прогнозируется сохранение прироста, хотя и на меньшую величину и в 2022 г. (рис. 2, 3).

По итогам трех кварталов вышел из спада рынок пазогребневых плит. На фоне очевидного подъема в жилищном строительстве, где в первую очередь используют эти материалы, спад продаж в первом полугодии выглядел странно. Вероятно, пазогребневые плиты проигрывают конкуренцию каким-либо другим материалам, используемым для перегородок. Прогноз на текущий год – по крайней мере отсут-

ствие спада (до +1%). Ожидается, что 2022 г. год для производителей плит окажется не хуже (рис. 4, 5).

В целом в плане физических объемов производства и продаж 2021 г. определенно складывается удачно для гипсовой отрасли. Даже если в четвертом квартале возникнут сложности, результаты, как минимум по смесям и гипсокартону, останутся лучшими почти за десять лет.

Следует отметить, что параллельно с ростом спроса происходил рост издержек. Заметно подорожали некоторые виды сырья, логистика. Периодически ощущался дефицит ряда компонентов. Несмотря на рост цен на гипсовые материалы, издержки у многих компаний выросли сильнее, рентабельность снизилась. Никуда не делась и проблема отрасли – значительные неиспользуемые мощности по выпуску ГКЛ и пазогребневых плит, что создает определенное давление на цены (рис. 3, 5).

В ближайшие два-три года, по мнению автора, ожидается продолжение роста рынка гипсовых строительных материалов. Наиболее вероятный вариант прогноза: прирост на 1–3% в год рынков листов и плит, на 5–7% – смесей. Но темпы 2021 г. по смесям и гипсокартону вряд ли повторятся в этот период, учитывая ожидаемую «скромную» макроэкономическую динамику.



Евгений Михайлович Чернышов

17.07.1936—03.10.2021

Несмотря на возраст, Евгений Михайлович Чернышов ушел неожиданно. Был полон сил, планов, готовил большую постановочную статью для нашего журнала; поездки и доклады на конференциях стояли в очереди, с учениками надо было обсудить текущие и только планируемые работы...

85-летие отметили всего несколько месяцев назад, летом, было много поздравлений, публикаций, в том числе статья в журнале «Строительные материалы» № 7. Больше официальных красивых слов не скажешь.

Поэтому сегодня мы пригласили учеников Евгения Михайловича, которые стали достойными представителями его школы, теперь – продолжателями, чтобы вспомнить его неформально, лично.

И.И. Акулова, д-р экономических наук

Невозможно смириться с неожиданным уходом Евгения Михайловича! Ведь буквально за несколько дней вместе ездили на конференцию в Тамбовский государственный технический университет, где состоялся его пленарный доклад. Он, как всегда, был окружен коллегами, которым хотелось поговорить с интересным собеседником, получить заряд энергии. Евгений Михайлович всегда был своеобразным генератором позитива и щедро им делился, на всех его хватало.

Более тридцати лет назад он взял меня, инженера-экономиста, на кафедру технологии вяжущих веществ и бетонов под свое крыло. Научил ответственному отношению к делу, очень гордился моими успехами. Он был моим наставником и одновременно оппонентом, руководителем при подготовке кандидатской диссертации, а затем и консультантом по докторской на соискание ученой степени доктора экономических наук.

Восхищаясь неординарностью системного мышления Евгения Михайловича, и со щемящим до боли от невосполнимой потери сердцем думаю, сколько начатых дел он не завершил...



Г.С. Славчева, д-р технических наук

Евгений Михайлович вошел в мою жизнь и стал моим наставником и руководителем еще в студенчестве. Фактически он был рядом всю мою взрослую жизнь. Я горжусь тем, что принадлежу к его научной школе, мой научный кругозор и подходы к работе сформированы его требовательностью и уровнем мышления. Однако сейчас особенно ясно видно главное: он помог моему становлению как личности. У Евгения Михайловича был удивительный талант раскрывать сильные стороны каждого и помогать им реализоваться. Он заставлял поверить в себя тем, что ставил, казалось бы, невыполнимые задачи, которые незаметно, шаг за шагом, помогал воплощать в жизнь. Наверное, это происходило потому, что вся его жизнь была движением от свершения к свершению и он научил нас идти к цели и никогда не сдаваться.



О.В. Артамонова, д-р технических наук

Евгений Михайлович для меня был не только наставником в научной деятельности, но и в личной жизни. Мы очень много общались и обсуждали самый широкий круг вопросов. В последнем интервью к его 85-летию я его спрашивала о том, как добиться максимальных профессиональных успехов. Евгений Михайлович мне ответил: «Успех – это прежде всего результат колоссального труда и лишь потом проявление природных данных. Нужно любить свою работу, хорошо знать свою работу и получать удовольствие от ее выполнения, и именно это и есть основание для достижения высоких профессиональных успехов».

И еще нас объединяла любовь к живописи, мы часто посещали художественные выставки и коллекционировали картины воронежских художников. Мне всегда будет его не хватать.



Д.Н. Коротких, д-р технических наук

Все мы, ученики Евгения Михайловича, были окружены его заботой и бесконечным вниманием. Будучи проректором, председателем Центрального регионального отделения РААСН, Евгений Михайлович всегда находил возможность уделить время своим ученикам. Он был требовательным человеком, в первую очередь требовательным к самому себе. Не допускал, чтобы любое дело не было бы доведено до совершенства. Это касалось любой работы, за которую он брался. Например, научные статьи претерпевали до двадцати итерационных подходов.

Беззаветно преданный университету и любимому Воронежу, Евгений Михайлович прямо и честно говорил о проблемных вопросах развития науки и образования в родном вузе, всегда предлагая конкретные решения. Прирожденный организатор, он никогда не боялся брать за большие научные и производственные проекты, умел находить для каждой работы идеального исполнителя, был мастером мотивации сотрудников, был способен любой проект обеспечить ресурсами. Учил этому нас.

Евгений Михайлович любил и умел делать подарки. Всегда, собираясь на научные и академические мероприятия, он тщательно готовился не только к своим докладам, докладам учеников, но и к встрече с друзьями и коллегами, выбирая подарки и сувениры.

В наших сердцах Евгений Михайлович Чернышов – настоящий друг, учитель, ученый, организатор, патриот – навсегда.



А.И. Макеев, канд. технических наук

Трудно оценить масштаб влияния Евгения Михайловича на мою судьбу. С чувством глубокой благодарности сознаю, сколько им было вложено в меня концептуальных знаний, навыков системного подхода в мышлении, философских оснований мировоззрения. Для всех своих учеников Евгений Михайлович был примером трудолюбия, работоспособности и целеустремленности. В моей памяти он останется как образ высоко нравственного, добросердечного, здравомыслящего человека.



Светлая память!

УДК 666.914

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-796-10-29-36>

А.И. МАКЕЕВ, канд. техн. наук (makeev@vgasu.vrn.ru),

Е.М. ЧЕРНЫШОВ, д-р техн. наук, профессор, академик РААСН

Воронежский государственный технический университет (394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84)

Исследования гипсовых композитов для малоэтажного строительства

Рассмотрена возможность практического использования результатов поисковых экспериментов по изучению зависимости сопротивления гипсовых композитов разрушению от параметров их макроструктуры для разработки составов строительных изделий для малоэтажного строительства. Представлены результаты испытаний гипсовых композитов на заполнителях зернистой, волокнистой и пластинчато-игольчатой формы, часть из которых относится к техногенным отходам (гранитный отсев и древесная щепа). Показано, что прочностной потенциал полученных композитов позволяет рассматривать их как материал для изготовления строительных изделий, предназначенных для возведения малоэтажных зданий. Обозначено направление дальнейших исследований, таких как разработка процедур конструирования и синтеза структур новых ресурсоэкономичных конструкционных и конструкционно-теплоизоляционных гипсовых композитов для малоэтажного строительства.

Ключевые слова: малоэтажное строительство, конгломератные строительные композиты, изделия из гипсовых композитов, ресурсо- и энергосбережение, конструирование и синтез структур, сопротивление разрушению, техногенные отходы, строительско-технологическая утилизация.

Исследования, изложенные в данной работе, проводились с использованием оборудования ЦКП имени проф. Ю.М. Борисова ВГТУ, при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ, проект № 075-15-2021-662.

Для цитирования: Макеев А.И., Чернышов Е.М. Исследования гипсовых композитов для малоэтажного строительства // *Строительные материалы*. 2021. № 10. С. 29–36. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-796-10-29-36>

A.I. MAKEEV, Candidate of Sciences (Engineering) (makeev@vgasu.vrn.ru), E.M. CHERNYSHOV, Doctor of Sciences (Engineering), Academician of RAACS Voronezh State Technical University (84, 20-letiya Oktyabrya Street, 394006, Voronezh, Russian Federation)

Studies of Gypsum Composites for Low-Rise Construction

The possibility of practical use of the results of exploratory experiments to study the dependence of the resistance of gypsum composites to destruction on the parameters of their macrostructure for the development of compositions of building products for low-rise construction is considered. The results of testing gypsum composites on fillers of granular, fibrous and lamellar-needle form, some of which relate to man-made (technogenic) waste (granite screening and wood chips), are presented. It is shown that the strength potential of the obtained composites makes it possible to consider them as a material for the manufacture of construction products intended for the construction of low-rise buildings. The direction of further research is indicated as the development of procedures for the design and synthesis of structures of new resource-efficient structural and structural-thermal insulation gypsum composites for low-rise construction.

Keywords: low-rise construction, conglomerate building composites, gypsum composite products, resource and energy saving, design and synthesis of structures, resistance to destruction, technogenic waste, construction and technological utilization.

The studies described in this work were carried out using the equipment of the Center for Collective Use named after prof. Yu.M. Borisov VSTU, with the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, project No. 075-15-2021-662.

For citation: Makeev A.I., Chernyshov E.M. Studies of gypsum composites for low-rise construction. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2021. No. 10, pp. 29–36. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-796-10-29-36>

В настоящее время прослеживается необходимость перехода от концепции высотного жилищного строительства к средне- и малоэтажному. Это неизбежно будет сопровождаться изменениями номенклатуры строительных материалов, а также способствовать уменьшению потребления традиционного железобетона. Перспективными материалами для малоэтажного строительства являются гипсобетоны — композиты на гипсовом связующем. Их эффективность обусловлена высокой скоростью схватывания и набора прочности с получением негорючего камня пониженной плотности и теплопроводности как в сборном, так и в монолитном исполнении, в том числе с применением 3D-печати [1].

Известно, что факторами, ограничивающими конкурентоспособность изделий из гипсобетона, выступают их пониженная прочность, водостойкость и по-

вышенная ползучесть по сравнению с материалами на клинкерных вяжущих. Этим вопросам посвящено много исследований и разработок, в частности авторами [2–9] достигнуты существенные научно-практические успехи. Отметим, что в большинстве рассмотренных работ исследование ориентировано в основном на модифицирование микроструктуры гипсового камня. В то же время есть основания полагать, что показатели сопротивления гипсовых изделий разрушению можно повысить путем направленного формирования (конструирования и синтеза) макромасштабного уровня их композитного строения.

Такой подход может быть положен в основу получения новых ресурсоэкономичных гипсовых материалов (композитов), обладающих набором и уровнем эксплуатационных характеристик, необходимых для малоэтажного строительства. В представленной рабо-

Таблица 1
Table 1

Характеристика включений (по данным [10])
Characteristics of inclusions (according to [10])

Форма	Происхождение	$\rho_3, \text{г/см}^3$	$\rho_H, \text{г/см}^3$	$\Pi_{M3}, \%$	$R_{CЖ}, \text{МПа}$
Зернистая окатанная (3D)	Песок кварцевый (ПК) Малышевского месторождения	2,6	1,4	46,1	260
Зернистая угловатая (3D)	Отсев гранитный (ОГ) Шкурлатовского месторождения [11]	2,7	1,4	48,1	120
Волокнистая (1D)	Волокно базальтовое (ВБ) Института проблем материаловедения АН Украины	2,8	0,392	86	–
Пластинчато-игольчатая (2D+1D)	Щепа древесная (ЩД) от переработки горелого леса	0,54	0,168	68,9	–

Таблица 2
Table 2

Расход компонентов и параметры макроструктуры композита
Component consumption and parameters of the composite macrostructure

Г:З	Г, г	З, г	В, мл	$\rho_M^{ВЛ}, \text{г/см}^3, \text{ на}$		$V_B, \text{м}^3/\text{м}^3, \text{ на}$		$V_M, \text{м}^3/\text{м}^3, \text{ на}$	
				ПК	ОГ	ПК	ОГ	ПК	ОГ
4:1	1200	300	735	1,71	1,78	0,08	0,08	0,89	0,92
2:1	1000	500	625	1,85	1,92	0,15	0,12	0,85	0,88
1:1	750	750	490	1,91	2,13	0,26	0,25	0,73	0,75
1:2	600	1200	420	2,15	2,21	0,4	0,39	0,6	0,61
1:4	400	1600	320	2,21	2,5	0,55	0,54	0,45	0,46

те проведен анализ экспериментов по изучению зависимости сопротивления разрушению материалов на гипсовой матрице от параметров их макроструктуры – вида, формы и объемной доли макровключений [10].

В качестве включений (со структурной точки зрения) или заполнителей (с технологической позиции) рассматривались представители всех морфологических типов (3D, 2D и 1D-частиц), характеристики которых по показателям плотности «в зерне» ρ_3 , насыпной плотности ρ_H , межзерновой пустотности Π_{M3} и прочности при сжатии $R_{CЖ}$ представлены в табл. 1.

Методологическая основа постановки исследований

Согласно положениям теории конструирования и синтеза оптимальных структур [12, 13], гипсобетон рассматривается как конгломератный строительный композит, на макромасштабных уровнях своей структуры представляющий двухкомпонентные образования из пространственно-непрерывной матрицы и детерминированно-стохастически распределенных в ней дискретных твердо- и (или) газофазовых включений (подструктура первого типа [14]). При этом в соответствии с положениями интегрированного механо-физико-химического подхода [15] полагается, что в процессе эксплуатации композита твердофазные включения выполняют двойственную функцию: с одной стороны, несут силовую нагрузку и препятствуют развитию в теле материала трещин, а с другой – служат концентраторами напряжений в матрице [16].

На основе этих положений были сконструированы и синтезированы на одной и той же гипсовой матрице

несколько типов композитов, отличающихся объемным содержанием, формой и прочностью макровключений и проведена сравнительная оценка их прочностных показателей.

Гипсовые композиты с зернистыми включениями разной формы

На первом этапе исследований изготавливался гипсовый композит с зернистыми включениями (заполнителями) разной геометрии поверхности (ПК и ОГ, табл. 1). Состав сырьевой смеси для изготовления композита представлен в табл. 2.

Объемная доля включений в эксперименте варьировалась изменением соотношения Г:З гипса марки Г-5 БП и соответствующего заполнителя. Расход воды назначали расчетом по формуле:

$$B = 0,6 \cdot G + 0,05 \cdot Z, \quad (1)$$

где 0,6 – принятое на основании данных предварительного этапа В/Г-отношение; 0,05 – водопотребность зернистых частиц, мас. %.

Образцы гипсового камня изготавливали по стандартной методике в форме балочек 40×40×160 мм; через 2 ч твердения измеряли, взвешивали, вычисляли среднюю плотность материала во влажном состоянии $\rho_M^{ВЛ}$ и рассчитывали значения следующих параметров макроструктуры полученного композита (табл. 2):

– объемная доля включений в композите $V_B, \text{м}^3/\text{м}^3$:

$$V_B = \frac{3}{\rho_3} \cdot \frac{1}{\frac{G}{\rho_G} + \frac{3}{\rho_3} + \frac{B}{\rho_B}}, \quad (2)$$

где $\rho_G = 2,2 \text{ г/см}^3$ – истинная плотность строительного (полуводного) гипса [17];

– объемная доля матрицы $V_M, \text{м}^3/\text{м}^3$:

$$V_M = \frac{\rho_M^{\text{вл}} - V_B \cdot \rho_B}{\rho_M}, \quad (3)$$

где $\rho_M = 1,68 \text{ г/см}^3$ – средняя плотность гипсового камня (по ранее полученным данным).

Установлено (рис. 1), что с увеличением объемной доли более плотных, чем гипсовая матрица, включений плотность композита закономерно растет. Поскольку гранит плотнее кварца, композит на гранитном отсеве на всем интервале варьирования объемной доли включений имеет большую плотность, чем композит на кварцевом песке.

Соппротивление полученных материалов разрушению оценивали по показателям прочности образцов при изгибе $R_{\text{из}}$ на приборе МИИ-100 и прочности при сжатии $R_{\text{сж}}$ на гидравлическом прессе ПСУ-10 с помощью металлических прижимных пластинок.

Введение в объем матрицы включений обоих видов (ПК и ОГ) приводит к снижению прочности получаемого композита по нелинейной зависимости (рис. 1), что происходит, несмотря на то что прочность самих включений (табл. 1) намного выше прочности матрицы ($R_{\text{сж}}=6,3 \text{ МПа}$). Это, вероятно, свидетельствует о низком качестве контактной зоны, не справляющейся с концентрацией напряжений на границе раздела матрица – включение.

Такое заключение можно сделать, учитывая, что кварц и гранит не являются родственными гипсовому камню кристаллохимическими образованиями, следовательно, граница раздела между ними оказывается «слабым звеном» в структуре композита и увеличение площади ее поверхности приводит к снижению прочности. Разница в скорости этого снижения объясняется тем, что угловатые включения гранитного отсева более эффективно сопротивляются развитию в теле композита трещины по сравнению с окатанными зернами песка.

Тем не менее даже при содержании включений 40 об. % композита прочность изделий на его основе можно охарактеризовать маркой 200 при использовании кварцевого песка, а с применением гранитного отсева – маркой 300 (рис. 1), что вполне удовлетворяет требованиям к материалам для возведения одно- и двухэтажных зданий.

Исходя из полученных результатов (рис. 1) введение в структуру гипсового композита свыше 40% включений по объему нецелесообразно, так как наблюдается резкое падение прочности материала. Это объясняется переходом типа цементации композита от пленочного к контактному, при котором не все межзерновое пространство включений заполнено матрицей. В результате появляются пустоты (неплотности), ослабляющие структуру композита. Это наиболее заметно при использовании гранитного отсева, так как у него выше межзерновая пустотность (табл. 1).

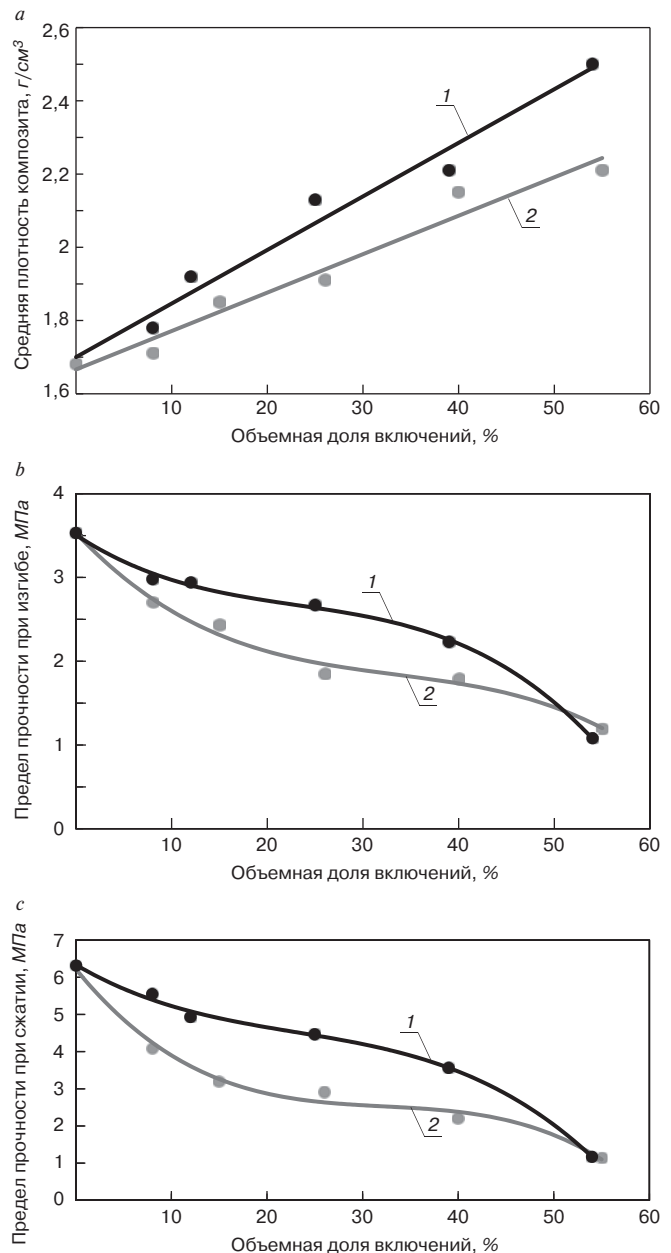


Рис. 1. Характеристики гипсовых композитов в зависимости от объемной доли зернистых включений [10]: *a* – средняя плотность; *b* – прочность при изгибе; *c* – прочность при сжатии; 1 – песок кварцевый; 2 – отсеv гранитный

Fig. 1. Characteristics of gypsum composites depending on the volume fraction of granular inclusions [10]: *a* – average density; *b* – flexural strength; *c* – compressive strength; 1 – quartz sand; 2 – granite screening

Сравнительная оценка гипсовых композитов зернистой и волокнистой структуры

На втором этапе исследования ставилась задача сравнить роль зернистых и волокнистых включений в сопротивлении композитного материала разрушению. В качестве вяжущего применяли гипс высокопрочный Г-16. Конструировались три типа композита: композит с зернистыми окатанными включениями ПК (тип I); композит с волокнистыми включениями ВБ (тип II); композит с обоими видами включений (тип III). Кроме того, изготавливались образцы матрицы (тип М). Составы сырьевых смесей

Таблица 3
Table 3

Состав сырьевой смеси и характеристики полученных композитов
Raw mix composition and characteristics of the obtained composites

Тип	Расход компонентов на замес, кг				$\rho_M^{вп}$, г/см ³	K_{Ic} , кН/м ^{3/2}	$R_{из}$, МПа	$R_{сж}$, МПа
	Г	ПК	ВБ	В				
М	5,8	–	–	2,9	1,44	360	5,02	9,6
I	2,9	2,9	–	1,45	1,65	470	5,4	10,5
II	5,8	–	0,16	2,9	1,4	1020	9,24	13,2
III	2,9	2,9	0,16	1,45	1,79	1150	11,23	14,3

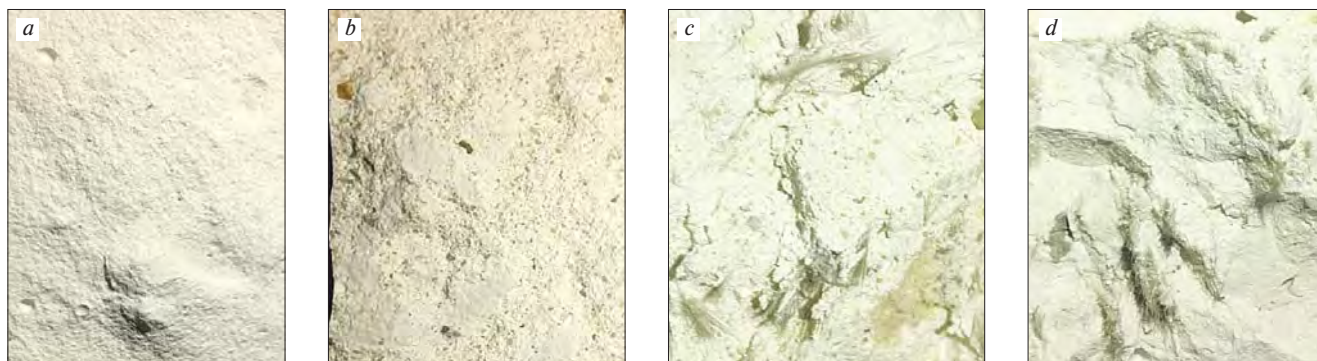


Рис. 2. Фрактограммы разрушения композита [10]: а – тип М; б – тип I; с – тип II; д – тип III
Fig. 2. Fractograms of the fracture of the composite [10]: a – type M; b – type I; c – type II; d – type III

представлены в табл. 3. При проектировании состава водовяжущее соотношение $V/\Gamma=0,5$ и соотношение гипс:песок=1:1 (объемная доля включений $V_B=26\%$) назначали по результатам первого этапа экспериментов. Расход волокнистых включений ВБ составлял 2% от объема композита [18].

Образцы для испытаний изготавливали в виде призм размерами 40×80×340 мм с искусственным надрезом. Оценка средней плотности образцов (табл. 3) показывает, что введение в гипсовую матрицу частиц ПК приводит к росту данного показателя на 14%, а введение ВБ, напротив, несколько снижает плотность получаемого композита. Максимальную плотность (на 24% выше плотности матрицы) показывает III тип композита (ПК+ВБ).

В возрасте 2 ч твердения образцы испытывали на вязкость разрушения по методике, разработанной Е.М. Чернышовым совместно с Е.И. Дьяченко [19]. Полученные после испытаний половинки призм испытывали: первые – на прочность при изгибе по схеме трехточечного изгиба, вторые – на прочность при сжатии на гидравлическом прессе ПСУ 10 с помощью металлических прижимных пластинок.

Величину критического коэффициента интенсивности напряжений (вязкости разрушения) материала K_{Ic} , кН/м^{3/2}, рассчитывали по формуле [19]:

$$K_{Ic} = \frac{F_c}{t \cdot h^{1/2}} \cdot Y_2 \cdot k_w \cdot k_t, \quad (3)$$

где F_c – нагрузка, соответствующая началу движения магистральной трещины, кН; Y_2 – коэффициент К-тарировки, зависящий от соотношения l/h ; k_w и

k_t – коэффициенты, учитывающие соответственно влажность и температуру материала.

Установлено (табл. 3), что введение как зернистых, так и волокнистых включений в матрицу приводит к повышению трещиностойкости и прочности полученного композита. При этом включения зернистой формы (ПК) увеличивают вязкость разрушения гипсового камня на 24%, а прочность при изгибе и сжатии – на 8 и 9% (в пределах погрешности эксперимента). Отмеченное повышение прочности композита в данном случае может быть связано с повышением его плотности. Более заметный рост трещиностойкости материала обусловлен тем, что частицы песка оказываются препятствием для продвижения магистральной трещины (рис. 2) и требуются большие затраты энергии на этот процесс.

Волокнистые включения ВБ оказывают еще более сильное влияние на сопротивление композита разрушению. Они увеличивают вязкость разрушения гипсового камня в 2,8 раза, а прочность при изгибе и сжатии – в 1,8 и 1,4 раза соответственно. Это можно объяснить тем, что волокнистые включения выступают в роли дисперсной арматуры, воспринимая растягивающие напряжения в структуре камня и препятствуя распространению в нем микро- и макротрещин (рис. 2).

Так же как и по плотности, наивысшие показатели сопротивления разрушению показывает композит III типа (ПК+ВБ). Критический коэффициент интенсивности напряжений в этом случае увеличился в 3,2 раза, что на 13% выше, чем у композита типа II (ВБ). Прочность при изгибе композита с ком-

Таблица 4
Table 4Состав композиционной смеси и ее физико-механические характеристики
Composition of the composite mixture and its physical and mechanical characteristics

№ состава	Расход компонентов, кг/м ³				Свойства	
	Гипс	Щепа	Добавка	Вода	ρ_m , кг/м ³	$R_{сж}$, МПа
1	250	165	0,75	140	473	2,46
2	350	165	1,05	190	543	4,86
3	450	165	1,35	250	671	13,01

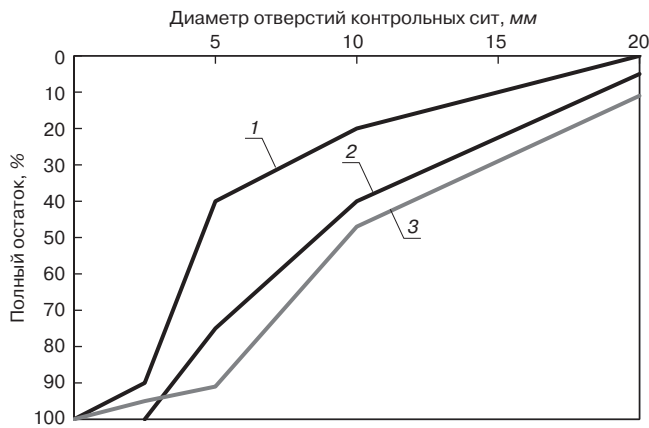


Рис. 3. Гранулометрический состав (кривая рассева) щепы: 1, 2 – допустимые по ГОСТ Р 54854–2011 границы; 3 – экспериментальная кривая [10]

Fig. 3. Granulometric composition (sifting curve) of chips: 1, 2 – permissible limits according to GOST R 54854–2011; 3 – experimental curve [10]

бинированными включениями выросла в 2,2 раза по сравнению с матрицей, или на 22% по сравнению со II типом, а прочность при сжатии – в 1,5 раза (на 8%). По сравнению с композитом I типа вязкость разрушения выросла в 2,4 раза, прочность при изгибе – в 2,1 раза, при сжатии – в 1,4 раза.

Результаты испытаний прочности при изгибе и вязкости разрушения материала, полученного при одновременном использовании зернистых и волокнистых заполнителей, показывают, что этот материал можно использовать не только для изготовления стеновых изделий, но и в конструкциях чердачных перекрытий (при условии предотвращения их намокания).

Гипсовый композит на древесной щепе

На третьем этапе эксперимента был сконструирован гипсовый композит с включениями пластинчатоглиновидной формы – аналог арболита, проводилась сравнительная оценка характеристик полученного материала с нормативными требованиями к арболиту.

Параллельно рассматривался актуальный вопрос утилизации отходов деревопереработки горелого леса – некондиционной древесной щепы (ЩД). В результате специальных испытаний щепы было установлено [10], что ее характеристики не соответствуют требованиям ГОСТ Р 54854–2011 «Бетоны легкие на органических заполнителях растительного происхождения» и ГОСТ 15815–83 «Щепа технологическая. Технические условия» по показателям гранулометрического состава (рис. 3) и коэффициента

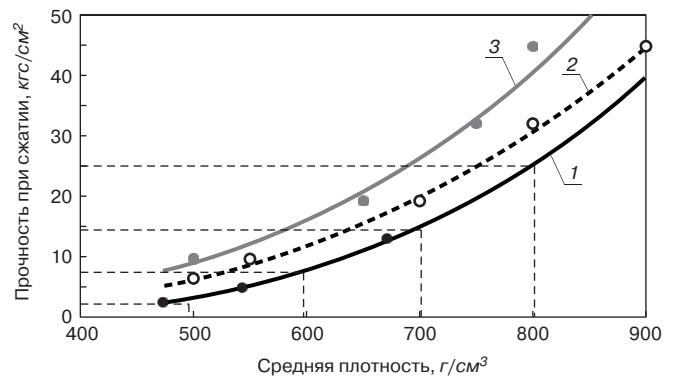


Рис. 4. Соотношение между плотностью и прочностью гипсового композита (1) и нормативные требования к арболиту на отходах деревообработки (2) и лесозаготовок (3) [10]

Fig. 4. The relationship between the density and strength of the gypsum composite (1) and the regulatory requirements for wood concrete on waste wood (2) and logging (3) [10]

формы $K_f=12$, получаемого делением наибольшего размера каждой частицы на наименьший (допустимое значение $K_f \leq 8$). Соответственно, многотоннажные запасы этой щепы не могут использоваться при изготовлении строительных изделий из арболита и утилизируются нерациональным способом.

В качестве вяжущего также применялся высокопрочный гипс Г-16. Для изготовления образцов сушие компоненты взвешивались в заданных пропорциях и перемешивались до однородного состояния. В пластиковую емкость заливали необходимое количество воды по условию $V/\Gamma=0,55$ (табл. 4) и растворяли в ней добавку порошка винной кислоты $C_4H_6O_6$ в качестве замедлителя схватывания в количестве 0,3% от массы гипса. Затем высыпали в емкость сухие компоненты и перемешивали вручную в течение 1–1,5 мин. Готовую смесь укладывали в формы-кубы $10 \times 10 \times 10$ см на шесть образцов каждого состава, уплотняя нажатием лопатки до полного заполнения. Поверхность смеси заглаживали. Через 15–30 мин твердения на воздухе формы распалубливали, образцы вынимали и маркировали.

В возрасте 2 ч твердения на воздухе образцы измеряли, взвешивали и испытывали на прочность при сжатии с помощью гидравлического пресса ПСУ-10. Результаты испытаний представлены в табл. 4.

По полученным зависимостям (рис. 4) установлено соотношение между плотностью и прочностью исследуемого гипсового композита в сопоставлении с нормативными требованиями к арболиту на це-

ментном связующем. Установлено, что прочностные показатели композита, полученного на гипсовом вяжущем и некондиционной щепе, незначительно отстают от нормативных требований к арболиту.

Гипсовые вяжущие при затворении водой образуют слабокислую среду (у лиственных пород $\text{pH}=5,3$, у хвойных $\text{pH}=4,9$ [20]), прочность контактной зоны древесного заполнителя с гипсовым камнем оказывается долговечнее, чем с цементным [21], где возможна коррозия под влиянием содержащихся в древесине сахаров («цементный яд»), крахмала, экстрактивных веществ. На этом основании можно прогнозировать, что композиты на высокопрочном гипсе и некондиционной щепе при соответствующем научном обосновании их состава могут превзойти традиционные цементные композиты типа арболита по критериям долговечности, теплопроводности и усадки.

Заключение

Анализ результатов экспериментального изучения зависимости сопротивления разрушению гипсовых композитов от объемной доли и формы включений показывает:

– гипсовый композит с объемной долей 40% включений зернистой формы при плотности 2100–2300 $\text{кг}/\text{м}^3$ на кварцевом песке показывает прочность при сжатии 2 МПа, а на гранитном отсеке – 3,5 МПа;

– гипсовый композит комбинированной зернисто-волокнутой структуры с объемной долей 26% кварцевого песка и 2% базальтового волокна имеет характеристики: плотность – 1800 $\text{кг}/\text{м}^3$, прочность при сжатии – 14,3 МПа, при изгибе – 11,2 МПа, критический коэффициент интенсивности напряжений – 1150 $\text{кН}/\text{м}^{3/2}$;

– гипсовый композит на некондиционной древесной щепе (аналог арболита) в диапазоне расхода гипсового вяжущего от 250 до 500 $\text{кг}/\text{м}^3$ сырьевой смеси и плотности от 470 до 700 $\text{кг}/\text{м}^3$ демонстрирует 2,5–15 МПа прочности при сжатии, что всего на 25% ниже нормативных требований к арболиту на клинкерном связующем.

Таким образом, по своему прочностному потенциалу полученные материалы оказываются пригодны для изготовления строительных изделий, предназначенных для возведения малоэтажных зданий. При этом затрагивается актуальный вопрос строительной-технологической утилизации таких техногенных отходов, как отсев дробления гранитного щебня и некондиционная древесная щепа от переработки горелого леса.

Дальнейшее развитие исследований в этом направлении соотносится с процедурой конструирования и синтеза структуры новых ресурсоэкономичных конструкционных и конструкционно-теплоизоляционных гипсовых композитов для малоэтажного строительства.

Список литературы

1. Славчева Г.С. Строительная 3D-печать сегодня: потенциал, проблемы и перспективы практической реализации // *Строительные материалы*. 2021. № 5. С. 28–36. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-791-5-28-36>
2. Бурьянов А.Ф. Гипс, его исследование и применение от П.П. Будникова до наших дней // *Строительные материалы*. 2005. № 9. С. 46–48.
3. Ивашенко Ю.Г., Евстигнеев С.А., Страхов А.В. Роль наполнителей и модификаторов в формировании структуры и свойств композитов на основе гипсового вяжущего. *Надежность и долговечность строительных материалов, конструкций и оснований фундаментов: Материалы VI Международной научно-технической конференции*. Волгоград, 2011. С. 159–162.
4. Белов В.В., Бурьянов А.Ф., Яковлев Г.И. и др. Модификация структуры и свойств строительных композитов на основе сульфата кальция: Монография / Под общ. ред. А.Ф. Бурьянова. М.: Де Нова, 2012. 195 с.
5. Бабков В.В., Латыпов В.М., Ломакина Л.Н., Шигапов Р.И. Модифицированные гипсовые вяжущие повышенной водостойкости и гипсоцементобетонные стеновые блоки для малоэтажного жилищного строительства на их основе // *Строительные материалы*. 2012. № 7. С. 4–8.
6. Петропавловский К.С., Бурьянов А.Ф., Петропавловская В.Б., Новиченкова Т.Б. Облегченные само-

References

1. Slavcheva G.S. 3D-build printing today: potential, challenges and prospects for implementation. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2021. No. 5, pp. 28–36. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-791-5-28-36>
2. Buryanov A.F. Gypsum, its research and application from P.P. Budnikov to the present day. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2005. No. 9, pp. 46–48. (In Russian).
3. Ivaschenko Yu.G., Evstigneev S.A., Strakhov A.V. The role of fillers and modifiers in the formation of the structure and properties of composites based on gypsum binder. *Reliability and durability of building materials, structures and foundations: Materials of the VI International Scientific and Technical Conference*. Volgograd. 2011, pp. 159-162. (In Russian).
4. Belov V.V., Bur'yanov A.F., Yakovlev G.I. et al. Modifikatsiya struktury i svoystv stroitel'nykh kompozitov na osnove sul'fata kal'tsiya: monografiya [Modification of the structure and properties of building composites based on calcium sulfate: monograph / under total. ed. Buryanova A.F.] Moscow: De Nova. 2012. 195 p.
5. Babkov V.V., Latypov V.M., Lomakina L.N., Shigapov R.I. Modified gypsum binders of increased water resistance and gypsum-clayite-concrete wall blocks for low-rise housing construction based on them. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2012. No. 7, pp. 4–8. (In Russian).

- армированные гипсовые композиты // *Строительные материалы*. 2019. № 10. С. 40–45. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-775-10-40-45>
7. Хозин В.Г., Майсурадзе Н.В., Мустафина А.Р., Корнянен М.Е. Влияние химической природы пластификаторов на свойства гипсового теста и камня // *Строительные материалы*. 2019. № 10. С. 35–39. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-775-10-35-39>
 8. Петропавловская В.Б., Завадько М.Ю., Новиченкова Т.Б., Петропавловский К.С., Бурьянов А.Ф. Гипсовые модифицированные композиции с использованием активированного базальтового наполнителя // *Строительные материалы*. 2020. № 7. С. 10–17. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-782-7-10-17>
 9. Бессонов И.В., Жуков А.Д., Горбунова Э.А. Исследование водостойкости гидрофобизированных пазогребневых гипсовых плит // *Строительные материалы*. 2021. № 6. С. 57–61. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-792-6-57-61>
 10. Makeev A.I. Сопротивление разрушению конгломератных строительных композитов на гипсовом связующем. *Повышение эффективности производства и применения гипсовых материалов и изделий: Сборник материалов X Международной научно-практической конференции*. 8–9 сентября 2021 г. Воронеж. С. 81–96.
 11. Makeev A.I., Chernyshov E.M. Отсевы дробления гранита как компонентный фактор формирования структуры бетона. Ч. I. Постановка проблемы. Идентификация отсевов // *Строительные материалы*. 2018. № 4. С. 56–60. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-758-4-56-60>
 12. Makeev A.I. Методологические основания теории конструирования и синтеза оптимальных структур конгломератных строительных композитов // *Научный вестник ВГАСУ. Сер.: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения*. 2015. № 1 (10). С. 29–37
 13. Чернышов Е.М., Makeev A.I. О проблеме управления рецептурно-технологическими факторами получения бетонов в задачах конструирования и синтеза оптимальных их структур // *Academia. Архитектура и строительство*. 2018. № 3. С. 135–143.
 14. Чернышов Е.М., Makeev A.I. Типы подструктур в целостной полиструктуре бетона и закономерности формирования параметров поля напряжений в композите (к развитию теории конструирования и синтеза структур конгломератных строительных композитов) // *Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2020 году: Сборник научных трудов РААСН*. М.: АСВ, 2021. С. 304–314.
 15. Чернышов Е.М., Makeev A.I. Разрушение конгломератных строительных материалов: основные концепции, механизмы процессов, принципы и
 6. Petropavlovskii K.S., Buryanov A.F., Petropavlovskaya V.B., Novichenkova T.B. Lightened self-reinforced gypsum composites. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2019. No. 10, pp. 40–45. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-775-10-40-45>
 7. Khozin V.G., Maysuradze N.V., Mustafina A.R., Kornyanen M.E. Influence of the chemical nature of plasticizers on the properties of gypsum paste and stone. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2019. No. 10, pp. 35–39. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-775-10-35-39>
 8. Petropavlovskaya V.B., Zavadyko M.Yu., Novichenkova T.B., Petropavlovskii K.S., Buryanov A.F. Gypsum modified compositions with the use of activated basalt filler. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2020. No. 7, pp. 10–17. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-782-7-10-17>
 9. Bessonov I.V., Zhukov A.D., Gorbunova E.A. Researching of the water resistance of hydrophobized tongue-and-groove gypsum slabs. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2021. No. 6, pp. 57–61. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-792-6-57-61>
 10. Makeev A.I. Resistance to fracture of conglomerate building composites on a gypsum binder. *“Increasing the efficiency of production and use of gypsum materials and products”: collection of materials of the X International Scientific and Practical Conference*. September 8–9, 2021. Voronezh, pp. 81–96. (In Russian).
 11. Makeev A.I., Chernyshov E.M. Granite crushing screenings as a component factor of concrete structure formation. Part 1. Problem definition. Identification of screenings as a component factor of structure formation. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 4, pp. 56–60. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-758-4-56-60> (In Russian).
 12. Makeev A.I. Methodological foundations of the theory of design and synthesis of optimal structures of conglomerate building composites. *Nauchnyy vestnik VGASU. Seriya: Fiziko-khimicheskiye problemy i vysokkiye tekhnologii stroitel'nogo materialovedeniya*. 2015. No. 1 (10), pp. 29–37. (In Russian).
 13. Chernyshov E.M., Makeev A.I. On the problem of control of recipe-technological factors of concrete production in the problems of design and synthesis of their optimal structures. *Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo*. 2018. No. 3, pp. 135–143. (In Russian).
 14. Chernyshov E.M., Makeev A.I. Types of substructures in the integral polystructure of concrete and the regularities of the formation of stress field parameters in the composite (to the development of the theory of design and synthesis of structures of conglomerate building composites). *Fundamental, exploratory and applied research of the RAASN on scientific support for the development of architecture, urban planning and the construction industry of the Russian Federation in 2020: Collection of scientific works of RAASN*. Moscow: ASV. 2021, pp. 304–314. (In Russian).
 15. Chernyshov E.M., Makeev A.I. Destruction of conglomerate building materials: basic concepts, process

- закономерности управления // *Строительные материалы*. 2007. № 9. С. 63–65.
16. Чернышов Е.М., Макеев А.И. К моделированию напряженного состояния структурно-неоднородных конгломератных композитов в строительных конструкциях // *Международный журнал по расчету гражданских и строительных конструкций*. 2015. Т. 11. № 2. С. 160–170.
 17. Дворкин Л.И., Дворкин О.Л. Строительное материаловедение. М.: Инфра-Инженерия, 2013. 832 с.
 18. Корнеева И.Г., Емельянова Н.А. К вопросу оптимального армирования мелкозернистого бетона базальтовыми волокнами // *Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость*. 2016. № 4 (19). С. 121–128.
 19. Чернышов Е.М., Дьяченко Е.И. Методика оценки вязкости разрушения силикатных автоклавных материалов. Воронеж, 1990. 32 с.
 20. Лавлинская О.В., Сухорукова С.С., Лазарева В.А., Струкова Т.Ю., Мельникова Е.И. Исследование влияния вида и размеров древесного наполнителя на свойства гипсостружечных плит // *Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика*. 2014. Т. 2. № 2–1 (7–1). С. 130–135.
 21. Гипсовые материалы и изделия (производство и применение): Справочник / Под общ. ред. А.В. Ферронской. М.: АСВ, 2004. 485 с.
- mechanisms, principles and patterns of management. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2007. No. 9, pp. 63–65. (In Russian).
16. Chernyshov E.M., Makeev A.I. Modeling the stress state of structurally inhomogeneous conglomerate composites in building structures *Mezhdunarodnyy zhurnal po raschetu grazhdanskikh i stroitel'nykh konstruktsiy*. 2015. Vol. 11. No. 2, pp. 160–170. (In Russian).
 17. Dvorkin L.I., Dvorkin O.L. Stroitel'noye materialovedeniye [Building materials science]. Moscow: Infra-Engineering. 2013. 832 p.
 18. Korneeva I.G., Emelyanova N.A. On the question of optimal reinforcement of fine-grained concrete with basalt fibers. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'*. 2016. No. 4 (19), pp. 121–128. (In Russian).
 19. Chernyshov E.M., Dyachenko E.I. Metodika otsenki vyazkosti razrusheniya silikatnykh avtoklavnykh materialov [Method for assessing the fracture toughness of silicate autoclave materials]. Voronezh. 1990. 32 p.
 20. Lavlinskaya O.V., Sukhorukova S.S., Lazareva V.A., Strukova T.Yu., Melnikova E.I. Investigation of the influence of the type and size of wood filler on the properties of gypsum boards. *Aktual'nyye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika*. 2014. Vol. 2. No. 2–1 (7–1), pp. 130–135.
 21. Gipsovye materialy i izdeliya (proizvodstvo i primeneniye): Spravochnik [Gypsum materials and products (production and use): Handbook / Under total ed. A.V. Ferronskaya]. Moscow: ASV. 2004. 485 p.

СПЕЦИАЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА**В издательстве «Стройматериалы» вы можете приобрести книги:****Монография «Защита деревянных конструкций»**

Автор – Ломакин А.Д.

Рассмотрены вопросы конструкционной и химической защиты деревянных конструкций, используемых в малоэтажном домостроении, при строительстве зданий и сооружений гражданского и промышленного назначения, в том числе, с химически агрессивной средой, а также открытых сооружений (автодорожных и пешеходных мостов, опор ЛЭП и др.). Освещены вопросы защиты от эксплуатационных воздействий и возгорания несущих конструкций из клееной древесины и ЛВЛ и приведено краткое описание наиболее эффективных средств и способов их защиты. Описаны методы оценки защитных свойств покрытий для древесины, методика и результаты натуральных климатических испытаний покрытий на образцах и фрагментах конструкций. Приведены методика и результаты мониторинга влажностного состояния несущих клееных деревянных конструкций в процессе эксплуатации.

**Монография «Производство деревянных клееных конструкций»**

Автор – заслуженный деятель науки России, д-р техн. наук Ковальчук Л.М.

В книге рассмотрены основные вопросы технологии изготовления ДКК, показаны области их применения, описаны материалы для их изготовления. Особое внимание уделено вопросам оценки качества, методам испытаний, приемке и сертификации клееных конструкций. В книге приведен полный перечень отечественных и зарубежных нормативных документов, регламентирующих производство и применение ДКК.



**Заявки направляйте в редакцию по e-mail: mail@rifsm.ru,
по тел.: (499) 976-22-08, 976-20-36.**

Оформляйте заказ на сайте www.rifsm.ru

УДК 666.914

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-796-10-37-43>

В.Б. ПЕТРОПАВЛОВСКАЯ, канд. техн. наук (victoriapetrop@gmail.com),
 М.Ю. ЗАВАДЬКО, инженер (ассистент) (79043517876@yandex.ru),
 Т.Б. НОВИЧЕНКОВА, канд. техн. наук (tanovi.69@mail.ru),
 К.С. ПЕТРОПАВЛОВСКИЙ, канд. техн. наук (kspetropavlovsky@gmail.com)

Тверской государственной технической университет (170026, г. Тверь, наб. Аф. Никитина, 22)

Облегченные гипсовые составы с пористыми наполнителями

Исследованы гипсовые композиты, модифицированные керамическими пористыми наполнителями. Необходимость разработки такого материала обусловлена возрастающим интересом к гипсу и изделиям на его основе, обеспечивающим высокую технологичность при изготовлении и использовании, а также повышенный комфорт и безопасность в течение всего периода эксплуатации. Обеспечение высоких прочностных и эксплуатационных показателей гипсового композиционного материала достигается путем модификации его структуры пористыми наполнителями, в первую очередь за счет снижения веса изделий без снижения прочности благодаря высокой прочности вводимого пенонаполненного модификатора. Подобный композиционный материал позволит существенно расширить номенклатуру выпускаемых гипсовых изделий на его основе. В качестве наполнителя использовалась микродисперсная пенокерамика. Введение алюмосиликатного модификатора способствует формированию облегченного гипсового камня с развитой однородной пористой структурой пенокерамических включений. Показано, что модификатор участвует в фазовых превращениях, способствуя упрочнению контакта на границе раздела фаз модификатор–гипс. Проведенный микроструктурный анализ позволил подтвердить участие алюмосиликатов в процессе структурообразования гипсового камня, что может быть использовано на практике для создания сложных модифицированных композиций на основе гипсовых вяжущих.

Ключевые слова: гипсовое вяжущее, керамический пористый наполнитель, модификатор, микроструктура, гипсовый камень.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 21-79-30004).

Для цитирования: Петропавловская В.Б., Завадько М.Ю., Новиченкова Т.Б., Петропавловский К.С. Облегченные гипсовые составы с пористыми наполнителями // *Строительные материалы*. 2021. № 10. С. 37–43. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-796-10-37-43>

V.B. PETROPALOVSKAYA, Candidate of Sciences (Engineering) (victoriapetrop@gmail.com),
 M.Y. ZAVADKO, Engineer (Assistant Lecturer) (79043517876@yandex.ru),
 T.B. NOVICHENKOVA, Candidate of Sciences (Engineering) (tanovi.69@mail.ru),
 K.S. PETROPALOVSKII, Candidate of Sciences (Engineering) (kspetropavlovsky@gmail.com)
 Tver State Technical University (22, Afanasiy Nikitin Embankment, Tver, 170026, Russian Federation)

Lightweight Gypsum Compounds with Porous Fillers

The work was carried out to study gypsum composites modified with porous ceramic fillers. The demand for the development of such a material is due to the growing interest in gypsum and products based on it, which ensure high manufacturability during manufacture and use, as well as increased comfort and safety during the entire period of operation. It is proposed to provide high strength and performance characteristics of a gypsum composite material by modifying its structure with porous fillers, primarily by reducing the weight of products without reducing strength, due to the high strength of the introduced foam-filled modifier. Such a composite material will significantly expand the range of manufactured gypsum products based on it. Microdispersed foamed ceramics were used as a filler. The introduction of an aluminosilicate modifier promotes the formation of a lightweight gypsum stone with a developed homogeneous porous structure of ceramic foam inclusions. It is shown that the modifier is involved in phase transformations, contributing to the strengthening of the contact at the modifier – gypsum phase interface. The performed microstructural analysis made it possible to confirm the participation of aluminosilicates in the process of structure formation of gypsum stone, which can be used in practice to create complex modified compositions based on gypsum binders.

Keywords: gypsum binder, ceramic porous filler, modifier, microstructure, gypsum stone.

The study was supported by a grant from the Russian Science Foundation (project No. 21-79-30004).

For citation: Petropavlovskaya V.B., Zavadko M.Y., Novichenkova T.B., Petropavlovskii K.S. Lightweight gypsum compounds with porous fillers. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2021. No. 10, pp. 37–43. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-796-10-37-43>

Облегчение веса строительных материалов и изделий имеет большое значение для современной стройиндустрии, в первую очередь по причине экономии природных и трудовых ресурсов [1]. Как правило, применение облегченных материалов позволяет снизить стоимость строительства на 10–20%, а трудовые затраты вплоть до 50% [2], однако это не единственные преимущества таких материалов: они позволяют обеспечить достаточно высокий уровень энергосбережения для конечных потребителей.

Для материалов на минеральных вяжущих, как правило, эффективным способом облегчения является введение в состав пористых заполнителей.

Традиционно в целях получения легких растворов в качестве заполнителей применяются перлит, керамзит, вермикулит, а также пенополистирол. Преимуществами строительных смесей с такими наполнителями являются, помимо сниженного веса, повышенные тепло- и звукоизоляционные свойства [1–4].

Более эффективными компонентами, позволяющими снизить плотность современных проектируемых материалов, являются полые стеклянные микросферы [5–9]. Доказано [5], что в системах на основе гипсового вяжущего введение полых стеклянных микросфер позволяет снизить плотность более чем в два раза. Кроме того, отмечается, что введение такой добавки влияет и на структурообразование гипсового камня: замечено увеличение закристаллизованности модифицированной гипсовой системы [6–8].

Эффективность применения пеностекла зачастую лежит и в другой плоскости: многие производители стеклянных микросфер предпочитают использовать в качестве сырьевого источника отходы промышленности в виде стеклобоя, тем самым уменьшая нагрузку на полигоны для захоронений [9].

Однако существует и целый ряд более эффективных решений в этой области. На сегодняшний день также в секторе производства строительных материалов и изделий популярность набирает применение полых керамических микросфер (пенокерамики), повышенное внимание к которым вызвано целым рядом положительных факторов влияния на свойства получаемых материалов и изделий, а также их экологической безопасностью и стойкостью к физической коррозии и агрессивным средам [10–13]. Процесс производства керамических микросфер близок по своей сути к производству стеклянных микросфер и заключается в сушке, очистке, классификации, сепарации, дальнейшем измельчении и прогревании совместно со вспенивателями материалов во вращающихся печах до получения гранул различных размеров.

К микросферическим компонентам, позволяющим облегчать материалы и конструкции благодаря

низкой объемной плотности, также относят полые алюмосиликатные микросферы, получаемые на основе отходов ТЭС [14–17]. При этом эффективность их применения в первую очередь связана со способностью участия в процессах гидратообразования, тогда как их использование исключительно в качестве пенонаполнителя не настолько целесообразно [15].

Существующие в настоящее время предпосылки в виде повышения требований к весу материалов, их показателей по тепло- и шумоизоляции, гранулометрическому составу, дисперсности частиц позволяют судить о пенокерамике как о наиболее передовом пористом наполнителе, вытесняющем перлит и керамзит.

Имеющийся положительный опыт производства материалов и изделий на их основе позволяет говорить о доказанной эффективности применения микросфер в бетонах и смесях на цементном вяжущем. Подобным примером могут служить смеси компании «Фаворит» с пенокерамическим наполнителем [11].

Необходимо подчеркнуть более широкий опыт применения керамических микросфер в составах именно на цементном вяжущем, что, в свою очередь, учитывая разные механизмы воздействия пенокерамики на структуру свойства композиций в различных видах вяжущих, представляет наиболее актуальную, но менее изученную на данный момент тему применения пенокерамики в гипсовых материалах.

Целью данной работы являлось исследование влияния гранулированной пенокерамики на свойства и структуру гипсовых композиций с возможностью дальнейшей разработки составов облегченных гипсовых смесей для производства материалов и изделий, применяемых внутри помещений.



Рис. 1. Растровый электронный микроскоп JEOL JSM-6610LV
Fig. 1. Scanning electron microscope JEOL JSM-6610LV

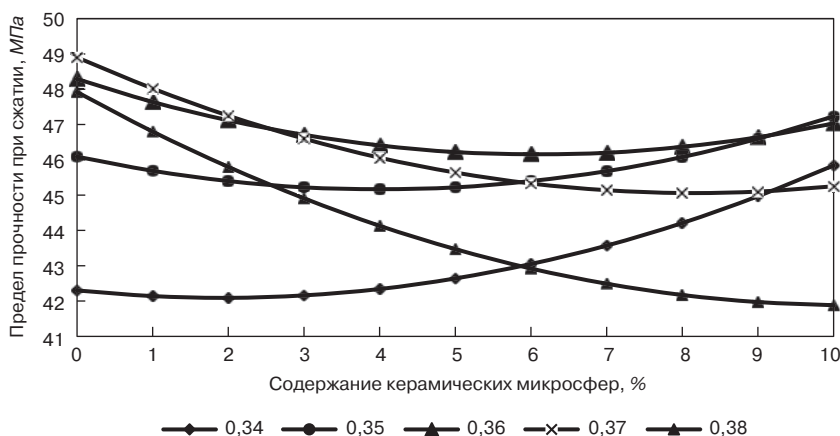


Рис. 2. Совместное влияние водотвердого отношения и содержания полых керамических микросфер на прочность при сжатии

Fig. 2. Combined effect of water-solid ratio and content of hollow ceramic microspheres on compressive strength

Таблица 1
Table 1

Химический состав пенокерамического наполнителя
Chemical composition of foam ceramic micro-foam filler

Компонент	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Na ₂ O+K ₂ O	Fe ₂ O ₃	MgO	Остальные
%	69,8	8,1	14,5	3,9	1,1	2,7

Материалы и методы

В исследованиях в качестве основного исходного компонента композиционного вяжущего применялось гипсовое вяжущее марки Г-16 с пределом прочности при сжатии 16 МПа, при изгибе – 6 МПа, началом схватывания не ранее 4,5 мин, концом схватывания не позднее 20 мин и остатком на сите 0,2 мм – не более 1%.

В качестве добавок использовалась гранулированная пенокерамика, представляющая собой микросферы диаметром 0,1–0,3 мм с пористой структурой внутри и плотной оболочкой снаружи, с плотностью 160–250 кг/м³, теплопроводностью в пределах 0,05–0,09 Вт/(м·К), пределом прочности при сжатии в цилиндре 0,6–12 МПа и водопоглощением 4–7 мас. % (табл. 1).

В качестве воды затворения в работе применялась водопроводная питьевая вода, удовлетворяющая требованиям ГОСТ 23732–2011 «Вода для бетонов и строительных растворов. Технические условия».

Экспериментальные исследования проводились в лабораториях кафедры производства строительных изделий и конструкций Тверского государственного технического университета, а также в Центре коллективного пользования научным оборудованием и аппаратурой Тверского государственного университета.

Структурные особенности кристаллов двуводного гипса и композиций на его основе оценивались методом электронной микроскопии с использованием

электронного микроскопа РЭМ JEOL JSM-6610LV (Япония) (рис. 1). Исследования производились в режимах вторичных и отраженных электронов при ускоряющем напряжении 15 кЭв. Пробоподготовка образцов заключалась в приготовлении сколов, напылении проводящего слоя Pt.

Для определения топографии образца использовался режим вторичных электронов (SEI), а для исследований фазового и химического состава образца – режим отраженных (обратнорассеянных) электронов (BEC).

Элементный химический анализ проводился с помощью аналитической приставки к РЭМ системы рентгеновского энергодисперсионного микроанализа Oxford INCA Energy 350: детектор: Si (Li) Standard; разрешение: 133 эВ; площадь кристалла: 20 мм²; анализ элементов: от Be (бериллий) до U (уран).

Для исследования физико-механических свойств гипсового камня, модифицированного гранулированной пенокерамикой, был проведен двухфакторный эксперимент, в котором в качестве варьируемых параметров были приняты: содержание керамических микросфер (варьировалось в диапазоне от 0 до 12% с шагом 6%) и водогипсовое отношение (варьировалось от 0,34 до 0,38 с шагом 0,02).

Гипсовый модифицированный камень испытывался на 7-е сут твердения в стандартных условиях в соответствии с требованиями ГОСТ 23789–2018 «Вяжущие гипсовые. Методы испытаний».

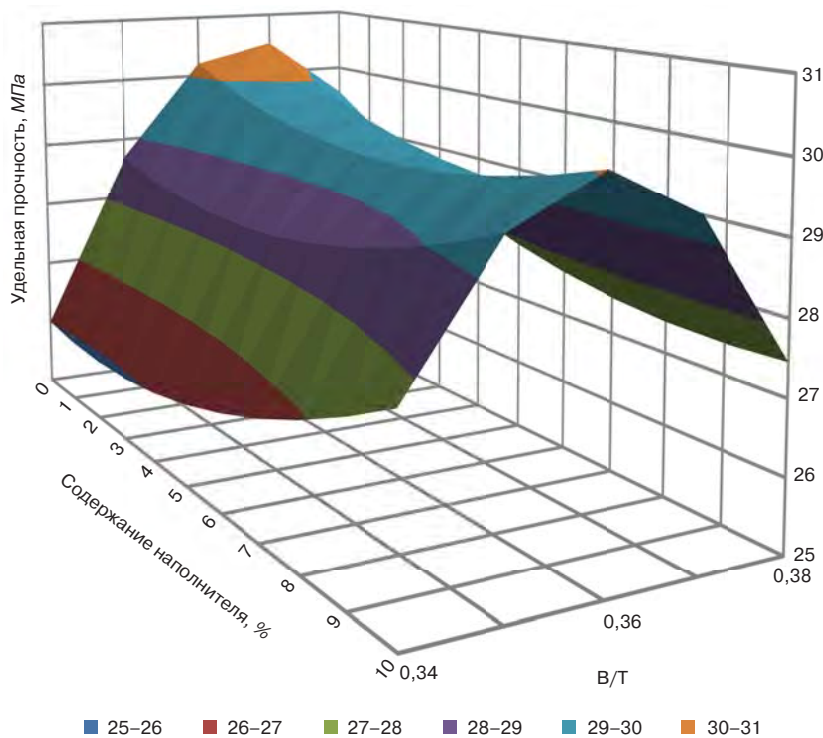


Рис. 3. Удельная прочность гипсового композита с добавкой керамического микропенонаполнителя

Fig. 3. Weight strength of a gypsum composite with the addition of a ceramic micro-foam filler at different magnifications

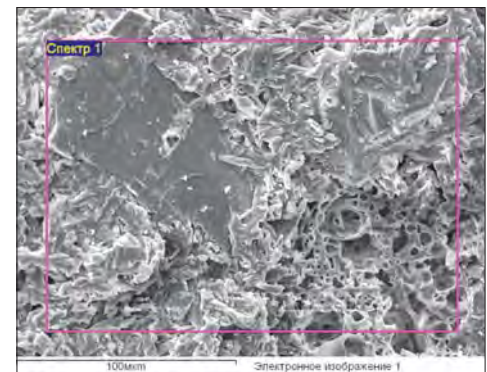


Рис. 4. Микроструктура и спектр гипсового композита с добавкой керамического микропенонаполнителя

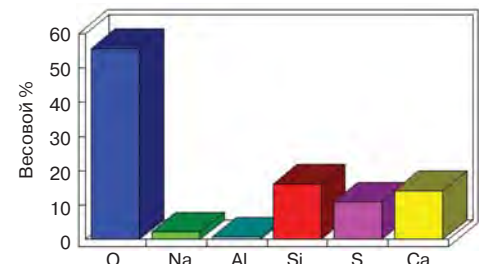


Рис. 5. Количественные показатели химического состава гипсового композита с добавкой керамического микропенонаполнителя к спектру 1

Fig. 5. Quantitative indicators of the chemical composition of a gypsum composite with the addition of a ceramic micro-foam filler to spectrum 1

Таблица 2
Table 2

Количественные показатели химического состава гипсового композита с добавкой керамического микропенонаполнителя, в весовых %
Quantitative indicators of the chemical composition of the gypsum composite with the addition of ceramic micro-foam filler at the age of 28 days of hardening in air-dry conditions, in weight %

Спектр	O	Na	Al	Si	S	K	Ca	
Спектр 1	55,67	2,2	0,73	16,21	10,94	–	14,24	100
Спектр 2	41,42	0,87	0,56	54,8	1,03	0,11	1,21	100
Спектр 3	64,12	–	–	0,47	15,49	–	19,93	100
Спектр 4	54,53	7,38	2,47	19,1	6,57	0,48	9,46	100
Макс.	64,12	7,38	2,47	54,8	15,49	0,48	19,93	–
Мин.	41,42	0,87	0,56	0,47	1,03	0,11	1,21	–

Таблица 3
Table 3

Количественные показатели химического состава гипсового композита с добавкой керамического микропенонаполнителя, в атомных %
Quantitative indicators of the chemical composition of a gypsum composite with the addition of a ceramic micro-foam filler, in atomic, %

Спектр	O	Na	Al	Si	S	K	Ca
Спектр 1	71,36	1,96	0,55	11,84	7	–	7,29
Спектр 2	55,51	0,82	0,44	41,83	0,69	0,06	0,65
Спектр 3	80,08	–	–	0,33	9,65	–	9,93
Спектр 4	68,79	6,48	1,85	13,73	4,14	0,25	4,76
Макс.	80,08	6,48	1,85	41,83	9,65	0,25	9,93
Мин.	55,51	0,82	0,44	0,33	0,69	0,06	0,65

Результаты исследований

Анализ полученных результатов показал, что введение в состав модифицированного гипсового вяжущего пенокерамических гранул позволяет снизить плотность получаемого камня в среднем на 10%, повысить прочность для составов с водотвердым отношением 0,34 и 0,35 на 8 и 2% соответственно (рис. 2). Наиболее оптимальным с точки зрения показателей прочности при сжатии и удельной прочности является состав композиции с содержанием керамического микропенонаполнителя в количестве 10% и В/Т=0,35, что соответствует плотности гипсового камня 1550 кг/м³, пределу прочности при сжатии 47,23 МПа и удельной прочности гипсового камня 30,5 МПа (рис. 3). При аналогичном водотвердом отношении, но без добавки пенокерамического модификатора плотность модифицированного гипсового камня составила 1625 кг/м³ при прочности 42,4 МПа и удельной прочности 26 МПа.

В рамках проведенных исследований также были изучены химические составы образующегося модифицированного камня (табл. 2,3) и проведены микроструктурные исследования оптимальных составов модифицированного композита (рис. 4–7).

Представленная микроструктура (рис. 8) модифицированного гипсового композита с добавкой керамического микропенонаполнителя (в возрасте 28 сут твердения) подтверждает участие алюмосиликатного модификатора в процессе структурообразования. Сформирована плотная однородная структура мате-

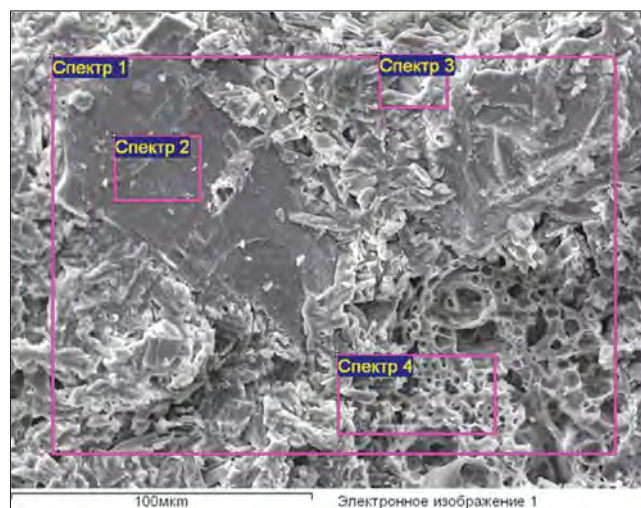


Рис. 6. Микроструктура и спектры гипсового композита
Fig. 6. Microstructure and spectra of gypsum composite

риала с крупными включениями размерами до 100 мкм. Отмечено срастание стенок микропенонаполнителя с плотной кристаллической структурой дигидрата на границе раздела фаз. По результатам количественного химического анализа структура образца преимущественно состоит из кремния, кальция и серы. По результатам спектрального анализа установлено, что плотная однородная структура представлена в основном серой и кальцием в равных долях, входящими в состав дигидрата сульфата кальция. Пористая структура с размером пор от 10 до

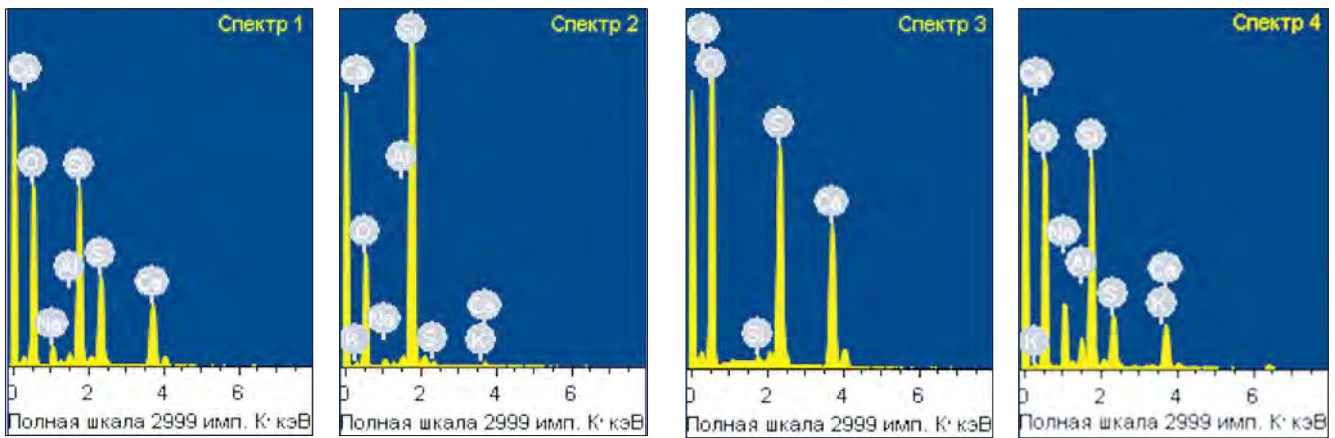


Рис. 7. Спектры гипсового композита с добавкой керамического микропенонаполнителя: спектр 3 – чистый гипсовый камень; спектр 4 – граница раздела фаз дигидрата сульфата кальция и алюмосиликатов
Fig. 7. Spectra of a gypsum composite with the addition of a ceramic micro-foam filler: spectrum 3 – pure gypsum stone, spectrum 4 – interface between the phases of calcium sulfate dihydrate and aluminosilicates

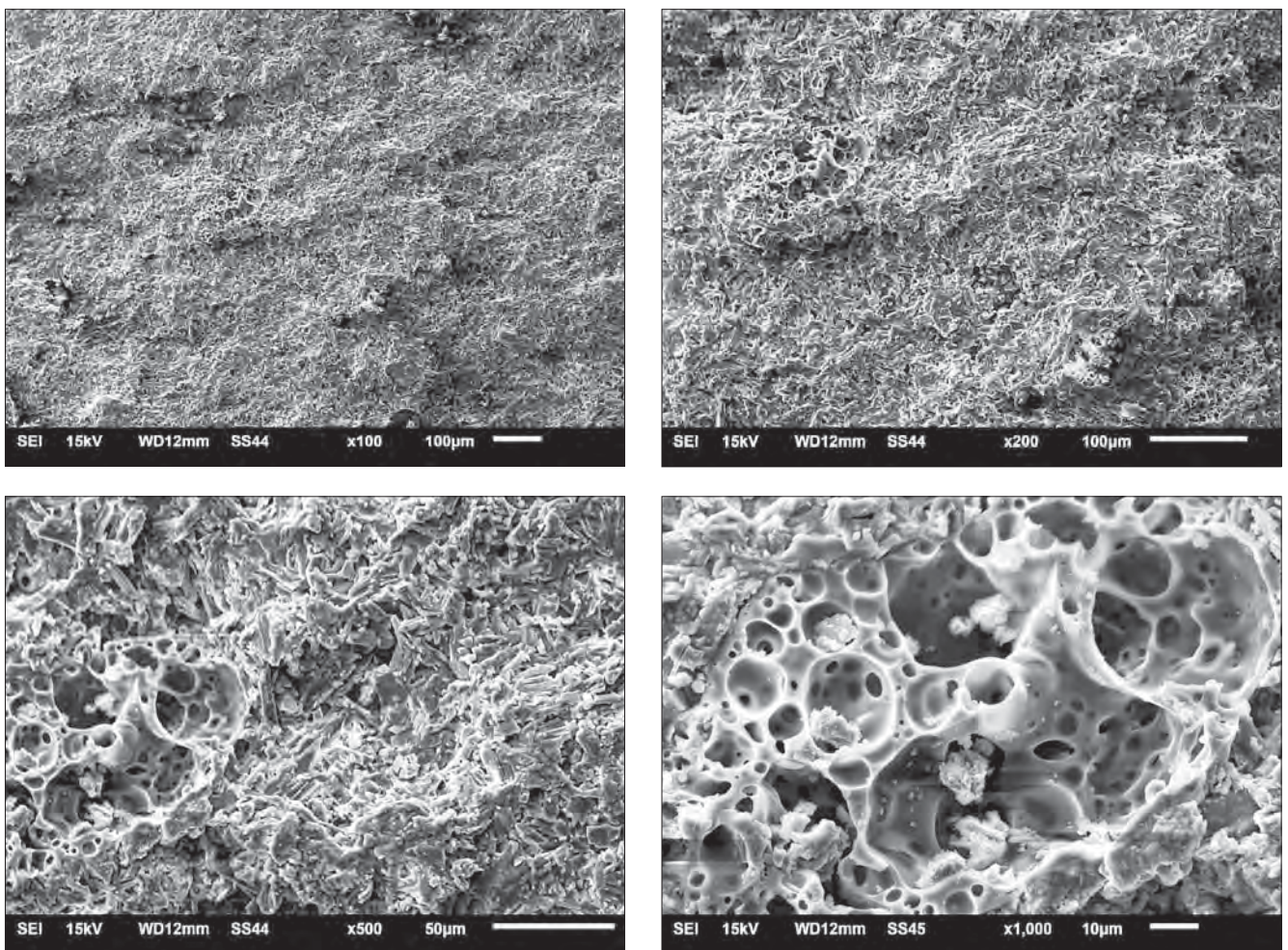


Рис. 8. Микроструктура гипсового композита с добавкой керамического микропенонаполнителя при разном увеличении
Fig. 8. Microstructure of a gypsum composite with the addition of a ceramic micro-foam filler at different magnifications

40 мкм представлена в основном кремнием, кальцием, серой, натрием и алюминием в составе сульфата кальция, силиката натрия, алюминатов и других соединений. В присутствии алюминия в анионной форме в сульфатированной среде увеличивается вероятность образования гидроалюминатов и сульфогидроалюминатов кальция, повышающих физико-

механические показатели модифицированного гипсового композита (рис. 7, спектр 4).

Таким образом, введение в состав гипсового вяжущего пенокерамических гранул диаметром 0,1–0,3 мм в количестве 10% от массы гипсового вяжущего позволяет снизить пористость получаемого камня без потери прочности на 5%. Целесообразно продолжить

исследования влияния пенокерамических наполнителей на свойства и структуру гипсового модифицированного материала в диапазонах, превышающих ис-

следованные, совместно с воздействием пластифицирующих добавок, улучшающих эксплуатационные и физико-механические свойства гипсового композита.

Список литературы

1. Пульга С.А., Куликова Е.С., Ткаченко А.З. Пористые заполнители для легких бетонов // *Новые идеи нового века: Материалы международной научной конференции ФАД ТОГУ*. 2018. Т. 3. С. 441–444.
2. Франковская Е.Р. Перспективы развития легких бетонов на пористых заполнителях. *XI Международный молодежный форум «Образование. Наука. Производство»: Материалы форума*. Белгород, 2019. С. 2527–2530.
3. Харисова Д.Р. Разработки и применение легких напольных сухих строительных смесей // *Аллея науки*. 2020. Т. 1. № 8 (47). С. 130–137.
4. Давидюк А.Н., Давидюк А.А. Деформативные свойства легких бетонов на стекловидных заполнителях // *Бетон и железобетон*. 2009. № 1. С. 10–12.
5. Хаев Т.Э., Ткач Е.В., Орешкин Д.В. Облегченный упрочненный гипсовый камень для реставрации памятников архитектуры // *Строительные материалы*. 2018. № 5. С. 68–72.
6. Серова Р.Ф., Хаев Т.Э., Ткач Е.В. Изучение свойств гипсовых систем с полыми стеклянными микросферами для реставрационных работ // *Фундаментальные исследования*. 2017. № 6. С. 80–85.
7. Хаев Т.Э., Ткач Е.В., Орешкин Д.В. Модифицированный облегченный гипсовый материал с полыми стеклянными микросферами для реставрационных работ // *Строительные материалы*. 2017. № 10. С. 45–50.
8. Мальцева О.Н. Инновационный товар из стеклобоя // *Твердые бытовые отходы*. 2017. № 12 (138). С. 50.
9. Петропавловская В.Б., Новиченкова Т.Б., Петропавловский К.С., Свейти Ю. Сухие строительные смеси для отделочных изделий и производства внутренних работ // *Строительство и реконструкция*. 2020. № 5 (91). С. 106–115. DOI: 10.33979/2073-7416-2020-91-5-106-115
10. Петропавловская В.Б., Завадько М.Ю. Перспективы использования пенокерамики для модификации гипсового вяжущего // *Строительство и реконструкция*. 2020. № 2 (88). С. 90–95.
11. Козлов А.В., Балахонкина С.Ю. Сухие строительные смеси теплой серии компании «Фаворит» на основе легкого пористого наполнителя – пенокерамики kerwood® // *Сухие строительные смеси*. 2018. № 2. С. 14–15.
12. Семенов В.С. Свойства сухих кладочных смесей на основе полых керамических микросфер. В сборнике: *Строительство – формирование среды жизнедеятельности. Электронный ресурс: Сборник трудов XX Международной межвузовской научно-практической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых*. М., 2017. С. 884–886.

References

1. Pul'ga S.A., Kulikova E.S., Tkachenko A.Z. Porous fillers for lightweight concretes. *New ideas of the new century: Materials of the international scientific conference FAD TOGO*. 2018. Vol. 3, pp. 441–444. (In Russian).
2. Frankovskaya E.R. Prospects of light concrete development on porous aggregates. *XI International Youth Forum «Education. Science. Production»: Forum materials*. Belgorod. 2019, pp. 2527–2530. (In Russian).
3. Kharisova D.R. Development and application of light floor dry building mixtures. *Alleya nauki*. 2020. Vol. 1. No. 8 (47), pp. 130–137. (In Russian).
4. Davidyuk A.N., Davidyuk A.A. Deformative properties of light concrete on vitreous aggregates. *Beton i Zhelezobeton [Concrete and reinforced concrete]*. 2009. No. 1, pp. 10–12. (In Russian).
5. Haev T.Eh., Tkach E.V., Oreshkin D.V. Lightweight strengthened gypsum stone for restoration of architectural monuments. *Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]*. 2018. No. 5, pp. 68–72. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-759-5-68-72>
6. Serova R.F., Khaev T.E., Tkach E.V. The study of the properties of gypsum systems with hollow glass microspheres for restoration work. *Fundamental'nye issledovaniya*. 2017. No. 6, pp. 80–85. (In Russian).
7. Khaev T.E., Tkach E.V., Oreshkin D.V. Modified lightweight gypsum material with hollow glass microspheres for restoration works. *Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]*. 2017. No. 10, pp. 45–50. (In Russian).
8. Mal'tseva O.N. Innovative glazing product. *Tverdye bytovye otkhody*. 2017. No. 12 (138), pp. 50. (In Russian).
9. Petropavlovskaya V.B., Novichenkova T.B., Petropavlovskii K.S., Sveiti Yu. Dry construction mixtures for finishing materials and production of internal works. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*. 2020. No. 5 (91), pp. 106–115. (In Russian). DOI: 10.33979/2073-7416-2020-91-5-106-115
10. Petropavlovskaya V.B., Zavad'ko M.Yu. Prospects for the use of waste-based foam ceramics in the modification of gypsum binder. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*. 2020. No. 2 (88), pp. 90–95. (In Russian). DOI: 10.33979/2073-7416-2020-88-2-90-95
11. Kozlov A.V., Balakhonkina S.Yu. Dry building mixtures of the warm series of the company “favorite” based on a light porous filler – kerwood® foam ceramics. *Sukhie stroitel'nye smesi*. 2018. No. 2, pp. 14–15. (In Russian).
12. Semenov V.S. Properties of dry masonry mixtures based on hollow ceramic microspheres. *Construction – the formation of the life environment. Electronic resource: a collection of works of the XX International Inter-University Scientific and Practical Conference of students, undergraduates, graduate students and young scientists*. Moscow. 2017, pp. 884–886. (In Russian).

13. Петропавловский К.С., Бурьянов А.Ф., Петропавловская В.Б., Новиченкова Т.Б. Облегченные самоармированные гипсовые композиты // *Строительные материалы*. 2019. № 10. С. 40–45. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-775-10-40-45>
14. Орлов А.Д., Нежигов А.В. Пеностеклокерамика как наполнитель высокотехнологичных легких бетонов // *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2017. № 3 (14). С. 163–171.
15. Акимочкина Г.В., Роговенко Е.С., Фоменко Е.В. Узкие фракции микросфер летучих зол как основа облегченных высокопрочных композиционных материалов. *Химия и химическая технология: достижения и перспективы: Сборник материалов V Всероссийской конференции*. Кемерово, 2020. С. 12.1–12.5.
16. Роговенко Е.С., Кушнерова О.А., Фоменко Е.В. Характеристика узких фракций микросфер летучих зол как основы облегченных высокопрочных материалов // *Журнал Сибирского федерального университета. Сер. Химия*. 2019. Т. 12. № 2. С. 248–260. DOI: 10.17516/1998-2836-0123
17. Зимакова Г.А., Солонина В.А., Зелиг М.П. Зольные механоактивированные микросферы – компонент высокоэффективных бетонов // *Международный научно-исследовательский журнал*. 2016. № 12–3 (54). С. 90–94. DOI: 10.18454/IRJ.2016.54.083
13. Petropavlovskii K.S., Buryanov A.F., Petropavlovskaya V.B., Novichenkova T.B. Lightened self-reinforced gypsum composites. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2019. No. 10, pp. 40–45. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-775-10-40-45>
14. Orlov A.D., Nezhikov A.V. Foam glass-ceramics as an aggregate for high-technological lightweight concretes. *Vestnik NITs "Stroitel'stvo"*. 2017. No. 3 (14), pp. 163–171. (In Russian).
15. Akimochkina G.V., Rogovenko E.S., Fomenko E.V. Narrow fractions of volatile ash microspheres as the basis of lightweight high-strength composite materials. *Chemistry and chemical technology: achievements and prospects: a collection of materials from the V All-Russian Conference*. Kemerovo. 2020, pp. 12.1–12.5. (In Russian).
16. Rogovenko E.S., Kushnerova O.A., Fomenko E.V. Characteristics of the narrow fractions of fly ash microspheres as the basis of light-weight high-strength materials. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Seriya: Khimiya*. 2019. Vol. 12. No. 2, pp. 248–260. (In Russian). DOI: 10.17516/1998-2836-0123
17. Zimakova G.A., Solonina V.A., Zelig M.P. Ashy mechanoactivated microspheres as the component of highly efficient concrete. *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal*. 2016. No. 12–3 (54), pp. 90–94. (In Russian). DOI: 10.18454/IRJ.2016.54.083

СПЕЦИАЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

«Проектирование оснований, фундаментов и подземных сооружений»

Учебное и практическое пособие под редакцией чл.-корр. РААСН, д-ра техн. наук, проф. Р. А. Мангушева



Авторы: д-р техн. наук Р.А. Мангушев, канд. техн. наук А.И. Осокин, канд. техн. наук В.В. Конюшков, канд. техн. наук И.П. Дьяконов, канд. техн. наук С.В. Ланько.

Пособие выпущено под грифом рекомендации Российской академии архитектуры и строительных наук (РААСН).

Данное пособие является дополнением к ранее изданным базовым учебникам «Механика грунтов» (2019) и «Основания и фундаменты» (2020). Авторы д-ра техн. наук, проф. Р.А. Мангушев и И.И. Сахаров.

Разработанное пособие является не только учебным изданием, но и практическим руководством для инженеров-строителей, так как охватывает вопросы проектирования основных типов оснований, фундаментов и подземных частей гражданских зданий и сооружений. Особое внимание уделено расчетам различного типа фундаментов, изготовленным по современным отечественным и зарубежным технологиям, а также конструктивным и технологическим методам устройства котлованов. Учтены особенности устройства фундаментов высотных зданий, влияния технологических осадок, рассмотрены численные методы, используемые при геотехнических расчетах. Особенностью книги является наличие большого количества расчетных примеров по различным типам оснований и фундаментов.

Издание рекомендовано для использования при подготовке бакалавров и специалистов.



X Международная научно-практическая конференция «Повышение эффективности производства и применения гипсовых материалов и изделий»

состоялась в Воронеже 8–9 сентября 2021 г.



В ее работе приняли участие более двухсот руководителей и ведущих специалистов предприятий-производителей материалов на основе гипса, представителей машиностроительных и инженеринговых компаний, ученые вузов и исследовательских организаций из многих регионов России и зарубежных стран.

Традиционно гипсовая конференция проходит один раз в год. Однако в связи с ограничениями, связанными с пандемией COVID-19, прошло три года с предыдущего профессионального форума гипсовиков, проходившего в Минске. Его бессменным организатором является Российская гипсовая ассоциация, а также МГСУ, НИИСФ РААСН и Воронежский государственный технический университет.

Генеральным спонсором конференции традиционно выступила компания КНАУФ, крупнейший российский производитель гипса и материалов на его основе.

Официальными спонсорами стали известный российский производитель химических добавок «Полипласт», а также машиностроительные компании GRENZEBACH, CLAUDIUS PETERS, PARGET MAKINA, ALPHA PLATRE, «ВСЕЛУГ».

С первой конференции журнал «Строительные материалы»® является генеральным информационным спонсором.

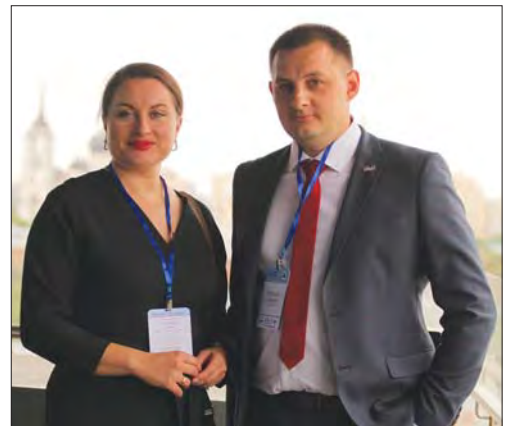




За три года, прошедшие с предыдущей конференции, в гипсовой отрасли накопилось много вопросов, требующих обсуждения в профессиональном сообществе; машиностроительные компании подготовили немало новинок; ученые, работающие в области гипсовых материалов, представили завершённые научные исследования.

Организаторов и участников конференции тепло приветствовал **С.Н. Лукин**, член Совета Федерации от Воронежской области, заслуженный строитель Российской Федерации, выпускник Воронежского инженерно-строительного института, канд. техн. наук, многие годы отдавший руководству Воронежским домостроительным комбинатом.

Конечно, как на всех отраслевых конференциях, специалисты-гипсовики с нетерпением ждали статистических данных по рынку гипсовых материалов. Компания «Строительная информация» более пятнадцати лет следит за развитием рынка материалов на основе гипса. Ее генеральный директор **Е.Н. Ботка** представил слушателям данные по итогам 2020 г. и осторожный прогноз на ближайшие два года. Он отметил, что впервые с 2013 г. произошел заметный рост производства и потребления гипсокартона (ГКЛ); рынок пазогребневых плит (ПГП) вырос на 17% (самый высокий показатель с 2014 г.); выпуск гипсовых сухих строительных смесей (ССС) увеличился на 6%. В денежном эквиваленте указанные приросты были еще выше. В «ковидном» 2020 г. основным драйвером спроса на гипсовые материалы была «большая стройка»: благодаря льготной ипотеке и изменению структуры расходов населения разогрелся спрос на жилье (подробнее читайте в этом номере журнала на стр. 25).





В современных условиях, в том числе обремененных последствиями мировой пандемии, происходят изменения всех этапов, от добычи гипсового камня до упаковки готовой продукции. Основными трендами стали повышение цифровизации производственных и логистических процессов; снижение энергопотребления на всех переделах производства, особенно на этапе сушки и обжига; снижение вредных выбросов и других факторов, негативно влияющих на окружающую среду, а также повышение наукоемкости производства.

Крупнейшим производителем гипсового камня в России является компания «КНАУФ», владеющая несколькими месторождениями гипса в разных регионах страны. И везде компания ведет планомерное техническое перевооружение, внедряет новые технологии добычи.

Начальник центрального управления по горному делу компании «КНАУФ» Э.Э. Добмайер рассказал коллегам об изменениях, произошедших на Новомосковской гипсовой шахте, открытой в 1949 г., но являющейся на сегодняшний день самой современной и высокотехнологичной.

Как известно, Новомосковское гипсовое месторождение является крупнейшим в Европе, сырье качественное, запасов хватит на многие годы. В 1995 г. фирма «КНАУФ» выиграла инвестиционный конкурс, и с тех пор начался новый этап развития предприятия и шахты.

К 2011 г. была завершена полная автоматизация производственных процессов, что позволило существенно увеличить производительность труда и оптимизировать кадровый состав предприятия. Следующим этапом стала дигитализация всего предприятия, в том числе шахты.

Особенно гордятся специалисты внедрением системы позиционирования, инвестиции на создание которой составили более 100 млн р. Система позволяет видеть всех людей, находящихся в шахте, и передвижение всей техники.

За 20 лет инвестиции в шахту составили в общей сложности порядка 50 млн евро. В планах на ближайшие годы модернизация пункта погрузки железнодорожных вагонов, создание 3D-модели шахты и др. К 2030 г. стоит амбициозная задача – перейти на полностью удаленное управление горной техникой и выйти на уровень добычи 3 млн т в год.

Машиностроители, следуя экологическому тренду, разрабатывают оборудование, позволяющее минимизировать нагрузку на окружающую среду. Это было отмечено сразу в нескольких докладах: Д. Карабрахимоглу («Паржет Макина») – о специфике технологии кальцинации и новом смесителе для ССС; М. Дгебуадзе («Альфа Платтер») – о развитии технологии обжига; Ю.Г. Лосева («Клаудиус Петерс») – об использовании различных видов гипсовых сырьевых материалов в вертикальной тарельчато-шаровой мельнице кальцинации EM; П. Степановой («Сен Гобен») – о снижении выбросов CO₂ при производстве гипсовых строительных плит; С.М. Тарасовой («Гебрюдер Пфайффер») – о новой мельнице MPS GC для помола 100% искусственного гипса и переработанного гипсокартона.

В рамках конференции была организована выставка, где специалисты могли провести переговоры и даже заключить контракты.

Отметим всегда высокий научный потенциал гипсовой конференции, заложенный еще А.В. Ферронской. В этом году научные доклады представили ученые Воронежского государственного технического университета, Московского государственного строительного университета, Уфимского государственного нефтяного технического университета, технических университетов Твери, Ижевска, Иванова, Тамбова, а также ученые, работающие в промышленных корпорациях.

Конечно, базовый доклад конференции сделал академик РААСН, д-р техн. наук, профессор **Е.М. Чернышов**. Горько сознавать, что это был его предпоследний доклад. Евгений Михайлович сделал структурированный экскурс в историю гипсовой науки, напомнил коллегам работы по гипсу и ГЦПВ

в период 1950–1970-х гг. и имена ученых (П.П. Будников, А.В. Волженский, П.И. Баженов, П.А. Ребиндер, А.Ф. Полак, В.Б. Ратинов, В.В. Помазков, Р.В. Иванникова, А.В. Ферронская, А.В. Думанский, О.В. Нейман, М.И. Беликова и др.), на чьих работах зиждется современная гипсовая промышленность. Затем он показал, как эволюционировали гипсовые строительные материалы от самого простого гипсового вяжущего до влагостойких и высокопрочных структур с заданными свойствами. В заключение Евгений Михайлович спрогнозировал дальнейшее развитие материаловедения, в частности в направлении гипсовых материалов.

Этот доклад должен был стать аналитической статьей в нашем журнале. К сожалению, этот план реализован не будет.

Экология и снижение влияния на окружающую среду были лейтмотивом конференции. С большим вниманием встретили коллеги доклад канд. техн. наук С.Н. Золотухина (ВГТУ) об экологических проблемах строительной отрасли и возможных путях их решения. Поскольку строительная отрасль ответственна за выбросы 15 млрд т углекислого газа и образования несчетных миллиардов тонн твердых отходов (при добыче сырья и сносе зданий), повышение ее экологичности лежит в этих направлениях: разработка и внедрение материалов с заданными свойствами, снижение энерго- и материалоемкости производства, внедрение малоклинкерных и бесклинкерных вяжущих, укрепление грунтовых оснований с целью уменьшения массы конструкций и минимизации армирования.

Отрадно, что в науке остаются молодые ученые. Интересные и перспективные работы, вызвавшие неподдельный интерес производителей, представили **А.Н. Гуменюк** (ИЖГТУ), **К.С. Петропавловский**, **Э.А. Горбунова** (ТверьГТУ).



Выездная сессия состоялась на ЖК «Современник», где компанией «КНАУФ» была организована демонстрация механизированного применения ССС. Мастера-демонстраторы показали, как с помощью специальных машин быстро и качественно можно уложить наливной пол, оштукатурить или зашпаклевать стены.

Также участники конференции посетили завод крупнопанельного домостроения Воронежского ДСК. Для многих это было расширением профессионального кругозора, а кто-то увидел перспективы для сотрудничества с аналогичными компаниями в своем регионе.

В заключение юбилейной конференции организаторы подготовили для участников интереснейшее путешествие в г. Рамонь, где полным ходом восстанавливают необыкновенной красоты замок Ольденбургских.



М.Д. БАТОВА¹, магистрант (marina.batova@mail.ru), Ю.А. СЕМЁНОВА¹, магистрант (JullySum@yandex.ru), А.Ф. ГОРДИНА¹, канд. техн. наук (afspirit@rambler.ru), Г.И. ЯКОВЛЕВ¹, д-р техн. наук, профессор (gyakov@istu.ru); А.Ф. БУРЬЯНОВ², д-р техн. наук, профессор (rga-service@mail.ru); А.Э. СТИВЕНС¹, магистр (аспирант) (sae@istu.ru), Е.В. БЕГУНОВА¹, магистр (аспирант) (ekb.18@mail.ru)

¹ Ижевский государственный технический университет им. М.Т. Калашникова (426000, г. Ижевск, ул. Студенческая, 7)

² Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (129337, г. Москва, Ярославское ш., 26)

Структура и свойства гипсовых композиций с минеральными дисперсными добавками

Представлено исследование влияния на свойства гипсовых вяжущих минерального модификатора, в качестве которого использовался диабаз. Установлено, что при совместном введении в состав гипсового вяжущего неактивированной минеральной добавки и портландцемента достигается прирост прочности при сжатии до 23%. При совместном введении в состав гипсового вяжущего активированной в ультразвуковом диспергаторе минеральной добавки и портландцемента достигается рост предела прочности при сжатии более 100% в сравнении с контрольным составом. Комплексная добавка способствует повышению физико-механических свойств материала на ранних сроках твердения. Это может быть обусловлено формированием более плотной структуры за счет увеличения дисперсности минеральной добавки, выступающей в роли центров кристаллизации, а также за счет большей активности химического взаимодействия с щелочным компонентом. В структуре модифицированной композиции формируются малорастворимые продукты на основе гидросиликатов кальция, которые уплотняют матрицу гипсового камня.

Ключевые слова: гипсовые вяжущие, комплексная добавка, диабаз, ультразвук, портландцемент.

Работа выполнена при финансовой поддержке Ижевского государственного технического университета им. М.Т. Калашникова в рамках гранта № РНИИ – 2021-07.

Для цитирования: Батова М.Д., Семёнова Ю.А., Гордина А.Ф., Яковлев Г.И., Бурьянов А.Ф., Стивенс А.Э., Бегунова Е.В. Структура и свойства гипсовых композиций с минеральными дисперсными добавками // *Строительные материалы*. 2021. № 10. С. 49–53. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-796-10-49-53>

M.D. BATOVA¹, Master's student (marina.batova@mail.ru), Yu.A. SEMENOVA¹, Master's student (JullySum@yandex.ru), A.F. GORDINA¹, Cand. tech. Sciences (afspirit@rambler.ru), G.I. YAKOVLEV¹, Doctor of Sciences (Engineering) Professor (gyakov@istu.ru); A.F. BURYANOV², Doctor of Sciences (Engineering), Professor (rga-service@mail.ru); A.E. STEVENS¹, Master (sae@istu.ru), E.V. BEGUNOVA¹, Master (ekb.18@mail.ru)

¹ Kalashnikov Izhevsk State Technical University (7, Studencheskaya Street, Izhevsk, 426000, Russian Federation)

² National Research Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslavl Highway, Moscow, 129337, Russian Federation)

Structure and Properties of Gypsum Compositions with Mineral Dispersed Additives

A study of the effect on the properties of gypsum binders of a mineral modifier, as which diabase was used, is presented. It is established that with the combined introduction of a non-activated mineral additive and Portland cement into the gypsum binder, an increase in compressive strength of up to 23% is achieved. With the joint introduction of a mineral additive activated in an ultrasonic dispersant and Portland cement into the gypsum binder, an increase in the compressive strength of over 100% is achieved in comparison with the control composition. The complex additive helps to increase the physical and mechanical properties of the material in the early stages of hardening. This may be due to the formation of a denser structure due to an increase in the dispersion of the mineral additive acting as crystallization centers, as well as due to greater activity of chemical interaction with the alkaline component. In the structure of the modified composition, poorly soluble products based on calcium hydro-silicates are formed, which compact the matrix of gypsum stone.

Keywords: gypsum binders, complex additive, diabase, ultrasound, Portland cement.

This work was carried out with the financial support of the Kalashnikov Izhevsk State Technical University under the grant No. RNII – 2021-07.

For citation: Batova M.D., Semenova Yu.A., Gordina A.F., Yakovlev G.I., Buryanov A.F., Stevens A.E., Begunova E.V. Structure and properties of gypsum compositions with mineral dispersed additives. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2021. No. 10, pp. 49–53. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-796-10-49-53>

Стремительное развитие строительства сопровождается созданием инновационных технологий и подходов к разработке материалов, появляются новые, более высокие требования к их эксплуатационным характеристикам.

Вяжущие на основе сульфата кальция, несмотря на их обширные запасы, зачастую отходят на второй план ввиду сравнительно низких параметров прочности, водостойкости и других физико-механических свойств.

Получение композиционных гипсовых вяжущих, обладающих улучшенными характеристиками, способствует расширению использования экологичных, безопасных и экономически выгодных строительных материалов.

В исследовании, проведенном в Тверском государственном техническом университете [1], представлен анализ возможности улучшения технических характеристик гипсового камня путем введения в состав вяжущего различных добавок, способствующих

ших не только физическому заполнению пустот, но и изменению структуры формирующегося в процессе гидратации материала.

Регулирование свойств гипсового камня возможно за счет подбора того или иного механизма действия модифицирующих добавок. Авторы рассматривают способ повышения водостойкости строительного гипса путем введения в состав веществ, вступающих между собой в химическое взаимодействие, что приводит к образованию водостойких продуктов. Высокими эксплуатационными свойствами характеризуются композиции, модифицированные комплексом добавок, включающим щелочной и пуццолановый компоненты [2–6].

Учеными Казанского государственного архитектурно-строительного университета проведено исследование влияния добавок различного происхождения на свойства гипсоцементно-пуццоланового вяжущего [7]. В ходе проведенного исследования авторами установлено, что природные добавки характеризуются более равномерной во времени пуццолановой активностью относительно многих аналогичных компонентов техногенного происхождения.

Многие добавки этой группы обеспечивают снижение нормальной густоты гипсового теста, а также удлинению сроков начала и конца схватывания, что, вероятно, вызвано высоким содержанием этих добавок в составе смеси.

Анализ теоретических основ и существующих разработок позволяет сделать вывод о целесообразности использования при модификации гипса ком-

плексных активных минеральных добавок, в состав которых включен портландцемент и пуццолановый компонент [1–14].

Использование в составе материала активированных добавок может способствовать повышению их эффективности, формированию структуры материала уже на ранних этапах твердения. Среди существующих методов активации частиц [15], таких как вибротурбулизация, гидроударная и звуковая обработка, широкое применение приобрела ультразвуковая активация. Данный способ обработки позволяет увеличить полезную площадь добавки за счет повышения ее дисперсности и, как следствие, в большей степени влиять на характеристики и структуру получаемого материала [16].

В настоящем исследовании целью является изучение воздействия активированной ультразвуком минеральной добавки, состоящей из диабаз и портландцемента, на формирование структуры и свойства вяжущего на основе сульфата кальция.

В составе композиции основным компонентом выступает гипс марки Г-4 производства ООО «Гипсополимер». Портландцемент марки ЦЕМ I 32,5Н применялся как щелочной компонент совместно с диабазом.

Диабазовый порошок, или диабазовая мука является продуктом тонкого помола кислотостойкой горной породы – диабаз. Из представленных результатов дисперсионного (рис. 1, а) и химического (см. таблицу) анализа следует, что средний размер частиц

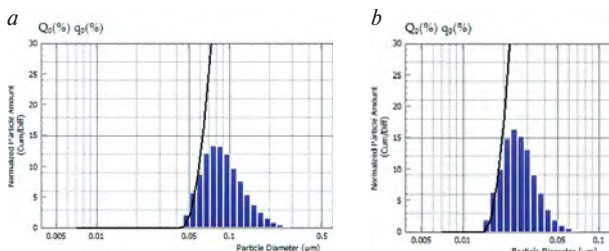


Рис. 1. Дисперсный анализ диабаз: а – до обработки ультразвуком; б – после обработки ультразвуком

Fig. 1. Disperse analysis of diabase: а – before sonication; б – after sonication

Химический анализ диабаз
(ТУ 5716-001-41357914-2009)
Chemical analysis of diabase
(TU 5716-001-41357914-2009)

Оксид	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	FeO+Fe ₂ O ₃	Прочие, %
Содержание, не более %	4	2,2	12,3	76	3,7	1,8

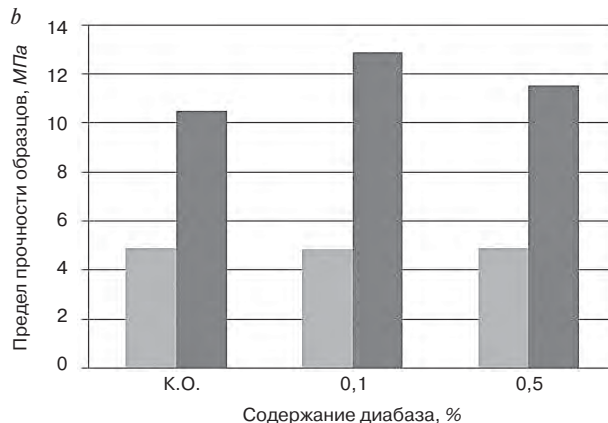
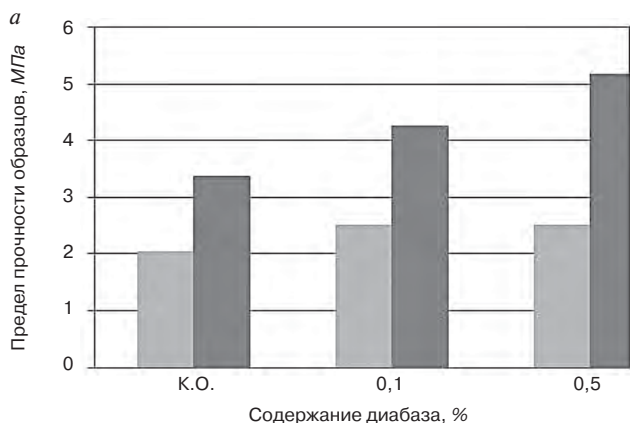


Рис. 2. Прочностные показатели гипсового вяжущего при введении диабаз и 1% портландцемента на 7-е (а) и 28-е (б) сут твердения: ■ – изгиб; ■ – сжатие

Fig. 1. Strength indicators of gypsum binder with the introduction of diabase and 1% Portland cement on the 7th (а) and 28th (б) days of hardening: ■ – flexural; ■ – compression

диабаз составляет 87 нм, в составе превалирует диоксид кремния (76%).

Для оценки влияния ультразвуковой обработки на активность вводимой комплексной добавки модификатор перед введением в состав композиции дополнительно активировался на приборе Hielscher UP 200 ht в водной среде при добавлении пластификатора С-3 в соотношении 1:4 при мощности, равной 150 Вт, и амплитуде 75%.

Дисперсионный анализ добавки диабаз после обработки ультразвуком, представленный на рис. 1, *b*, показал, что средний размер частиц модификатора снизился с 87 до 25 нм.

В проведенных ранее исследованиях [2] опытным путем был оптимизирован состав композиций на основе гипса с добавлением диабаз на основании полученных характеристик прочности. Исходя из полученных результатов были выбраны следующие концентрации пуццолановой добавки (%): 0,1; 0,5. Содержание портландцемента в композиции для предупреждения образования гидросульфалюминатов кальция было ограничено 1%.

Изготавливаемые образцы-балочки по три образца каждого состава выдерживались в нормальных условиях твердения в течение 7 и 28 сут до момента проведения испытаний. Для сравнения в качестве контрольных составов изготавливались образцы из гипсового вяжущего без добавок.

На рис. 2 представлены результаты испытаний композиций на основе гипса, модифицированных диабазом и цементом.

Результаты физико-механических испытаний композиций с диабазом (рис. 2) показали, что совместное введение в состав гипсового вяжущего цемента и диабаз способствует росту прочности образцов. На 7-е сут наибольший прирост прочности при сжатии (53,2%) наблюдается при концентрации диабаз 0,5%, при этом результаты испытаний на 28-е сут твердения позволили сделать вывод, что повышение механических параметров наблюдается при содержании диабаз 0,1% и составляет 23%.

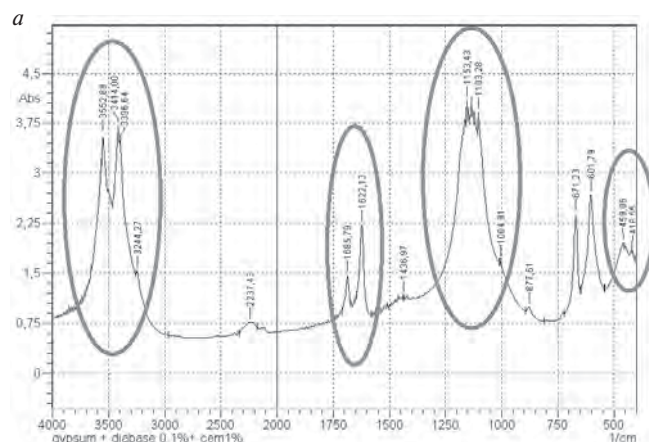


Рис. 4. ИК-спектр гипсовой матрицы: *a* – состав, содержащий цемент (1%) и диабаз (0,1%), не обработанный ультразвуком

Fig. 4. IR spectrum of a gypsum matrix: *a* – composition containing cement (1%) and diabase (0.1%), not treated with ultrasound; *b* – a composition containing cement (1%) and diabase (0.1%), treated with ultrasound

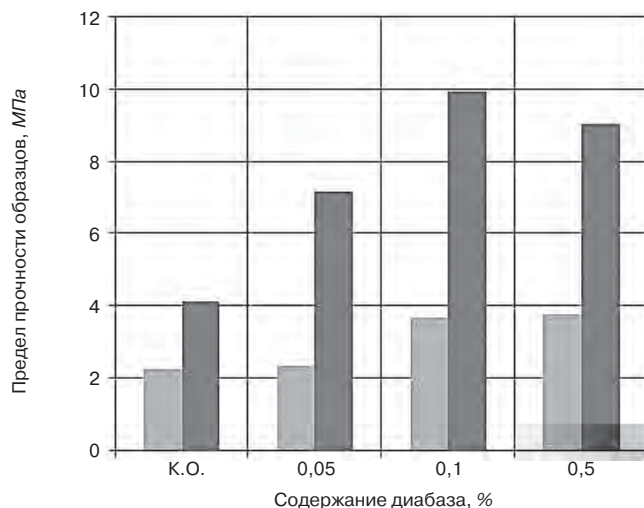


Рис. 3. Прочностные показатели гипсового вяжущего при введении диабаз, обработанного ультразвуком, и цемента на 7-е сут твердения

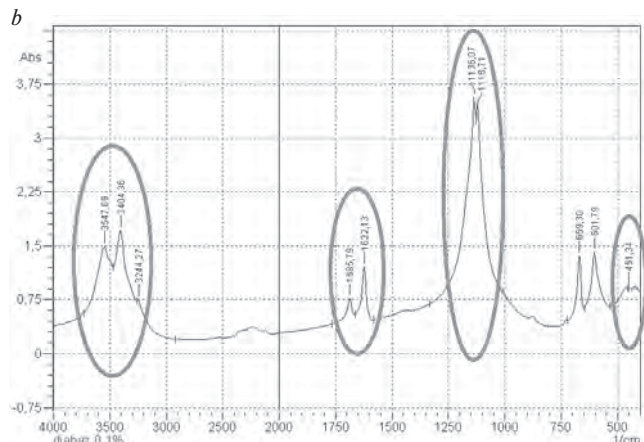
Fig. 3. Strength indicators of gypsum binder with the introduction of diabase treated with ultrasound and cement on the 7th day of hardening

Повышение прочности объясняется тем, что диабаз, как пуццолановый компонент, при взаимодействии с гидроксидом кальция образует новые продукты гидратации – гидросиликаты кальция, вследствие чего формируется более плотная структура композита.

При обработке ультразвуком частиц добавки предполагается увеличение их дисперсности и, как следствие, повышение эффективности добавки; в связи с этим было принято решение о проведении испытаний для композиции также с меньшим содержанием диабаз 0,05%.

Из приведенных результатов испытаний композиций с диабазом, обработанным ультразвуком (рис. 3), видно, что на 7-е сут повышение прочностных характеристик наблюдается для трех различных составов, наибольший прирост прочности (140%) соответствует концентрации добавки 0,1%. Диабаз выступает в качестве затравки и способствует раннему набору прочности.

С целью изучения влияния модифицирующей комплексной добавки на состав продуктов гидратации



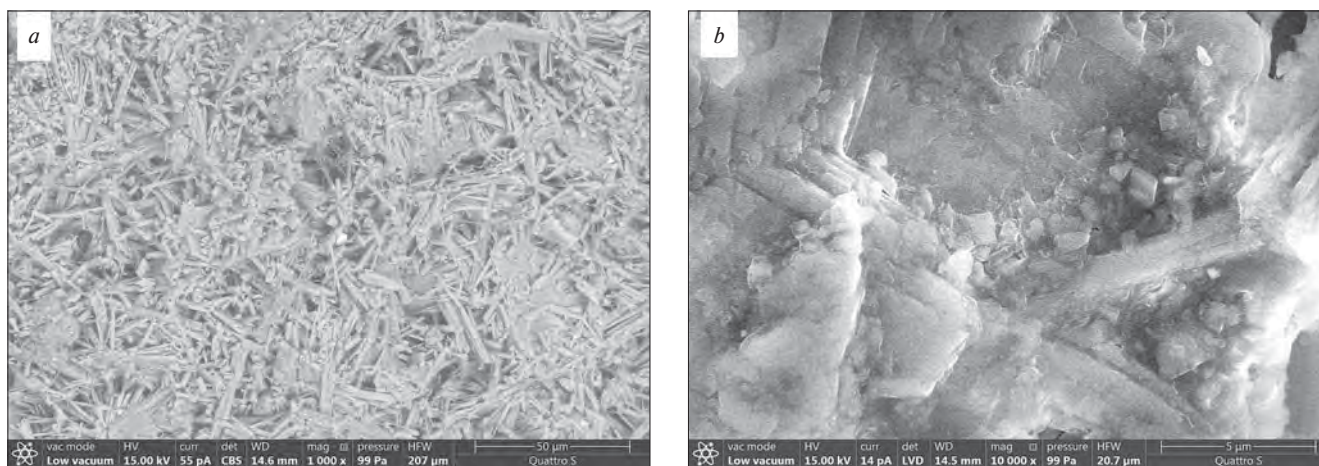


Рис. 5. Микроструктура поверхности гипсовой матрицы, модифицированной диабазом после его обработки ультразвуком: *a* – общий вид при 1000× увеличении; *b* – фрагмент при 10000× увеличении

Fig. 5. Microstructure of the surface of a gypsum matrix modified with diabase after its ultrasonic treatment: *a* – general view at 1000× magnification; *b* – fragment at 10000× magnification

ции и структуру композита была проведена инфракрасная спектроскопия на ИК-Фурье-спектрометре IRAffinity-1 и электронная микроскопия на Thermo Fisher Scientific Quattro S.

Спектры (рис. 4, *a*) модифицированной композиции сравнивались со спектрами контрольного состава из гипса без добавок. При введении в состав гипсового вяжущего диабаза в комплексе с цементом в оптимальных концентрациях существенно меняется характер пика, соответствующий колебаниям сульфатной группировки SO_4^{2-} : наблюдается смещение волновых чисел с $1004,91\text{--}1172,72\text{ см}^{-1}$ до $1004,91\text{--}1153,43\text{ см}^{-1}$. Появляются новые пики в диапазоне волновых чисел $1100\text{--}1000\text{ см}^{-1}$, которые свидетельствуют о формировании гидросиликатов кальция; это также подтверждается изменением характера пика, обусловленного валентными колебаниями ОН-групп.

При ультразвуковой обработке вводимых в состав композиции модификаторов существенно меняется характер ИК-спектра получаемого материала (рис. 4, *b*).

Значительно уменьшается интенсивность пика, соответствующего колебаниям группировки ОН, также меняется характер пика сульфатных групп SO_4^{2-} (снижается интенсивность, происходит смещение волновых чисел с $1004,91\text{--}1190,08\text{ см}^{-1}$ до $1118,71\text{--}1136,07\text{ см}^{-1}$); в то же время отмечается снижение интенсивности пиков, соответствующих группе оксидов металлов и карбонатов CO_3 . Приведенные изменения свидетельствуют об активном формировании малорастворимых продуктов на основе гидросиликатов кальция.

Изменения в морфологии гипсовой матрицы при комплексном введении добавок подтверждаются результатами исследования микроструктуры модифицированных образцов (рис. 5).

Введение комплексного модификатора способствует созданию благоприятных условий для формирования скоплений аморфных новообразований, представленных мелкими округлыми индивидами размерами $1\text{--}2\text{ мкм}$, основой которых являются

гидросиликатные продукты гидратации композиции. Гелевидные частицы покрывают кристаллогидраты сульфата кальция, что способствует увеличению площади контактов, формированию более крупных конгломератов и, как следствие, повышению физико-механических характеристик материала.

Выводы

Проведенное исследование по созданию композиций на основе сульфата кальция подтвердило эффективность применения ультразвуковой обработки комплексной добавки из диабаза и цемента, вводимой в качестве модификатора. Наибольший эффект от добавки наблюдается на ранних сроках твердения, показатель прочности при сжатии на 7-е сут увеличивается в сравнении с контрольными образцами до 140% при содержании диабаза 0,1%.

Рост прочностных характеристик композита на ранних этапах твердения может быть обусловлен формированием более плотной структуры за счет увеличения дисперсности минеральной добавки, выступающей в роли центров кристаллизации, а также за счет большей активности химического взаимодействия с щелочным компонентом. В структуре модифицированной композиции формируются малорастворимые продукты на основе гидросиликатов кальция, которые уплотняют матрицу гипсового камня.

Список литературы / References

1. Петропавловская В.Б. Бардов Н.П., Матвейчук В.В. Модификация свойств строительного гипса. *Научно-технический журнал «Строительные материалы»*. 2019. С. 325–329.
1. Petropavlovskaya V.B., Bardov N.P., Matveichuk V.V. Modification of the properties of stucco. *Science-intensive technologies and innovations: Electronic collection of reports of the International Scientific and*

- Practical Conference dedicated to the 65th anniversary of BSTU named after V.G. Shukhova.* 2019, pp. 325–329. (In Russian).
2. Egorova A.D., Filippova K.E. Ultra-disperse modifying zeolite-based additive for gypsum concretes. *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*. 2019. Vol. 687. 022030. DOI:10.1088/1757-899X/687/2/022030
 3. Petropavlovskaya V., Zavadko M., Petropavlovskii K., Buryanov A. Role of basalt dust in the formation of the modified gypsum structure. *E3S Web of Conferences: 22nd International Scientific Conference on Construction the Formation of Living Environment, FORM 2019*. Tashkent, 18–21 April 2019. Vol. 97 (1). 02036. DOI: 10.1051/e3sconf/20199702036
 4. Klimenko V.G. Influence of modifying composition of gypsum binders on the structure of composite materials. *IOP Conf. Journal of Physics: Conference Series*. Bristol. 2018. Vol. 1118. Iss. 1. 012019. DOI: 10.1088/1742-6596/1118/1/012019
 5. Butakova M.D. Investigation of the effects of fuel slag on the properties of gypsum mixtures. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Sochi. 2020. 022009. DOI: 10.1088/1757-899X/962/2/022009
 6. Kretova V., Hezhev T., Mataev T. Gypsum-cement-pozzolana composites with application volcanic ash. *Procedia Engineering*. 2015. Vol. 117, pp. 206–210. DOI: 10.1016/j.proeng.2015.08.142
 7. Изотов В.С., Мухаметрахимов Р.Х., Галаутдинов А.Р. Исследование влияния активных минеральных добавок на реологические и физико-механические свойства гипсоцементно-пуццоланового вяжущего // *Строительные материалы*. 2015. № 5. С. 20–23.
 7. Izotov V.S., Mukhametrakhimov R.Kh., Galautdinov A.R. Investigation of the influence of active mineral additives on the rheological and physical and mechanical properties of gypsum-cement-pozzolanic binder. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2015. No. 5, pp. 20–23. (In Russian).
 8. Сагдатуллин Д.Г. Высокопрочное гипсоцементно-пуццолановое вяжущее. Дис. ... канд. тех. наук. Казань, 2010. 210 с.
 8. Sagdatullin D.G. High-strength gypsum-cement-puzzolanic binder Dis ... Cand. of Sciences (Engineering). Kazan. 2010. 210 p. (In Russian).
 9. Ратинов В.Б., Розенберг Т.И. Классификация добавок по механизму их действия. *Сборник трудов «Механизм твердения вяжущих и гипсовые материалы»*. М., 1957. С. 49–79.
 9. Ratinov V.B., Rosenberg T.I. Classification of additives by the mechanism of their action. *Collection of works «The mechanism of hardening binders and gypsum materials»*. Moscow. 1957, pp. 49–79. (In Russian).
 10. Коровяков В.Ф. Современные достижения в области создания водостойких гипсовых вяжущих. *Сборник научных трудов*. М.: ГУП «НИИМОССТРОЙ», 2006. 149 с.
 10. Korovyakov V.F. Modern advances in the creation of waterproof gypsum binders. *Collection of scientific papers*. Moscow: State Unitary Enterprise «NIIMOSSTROY». 2006. 149 p. (In Russian).
 11. Будников П.П. Гипс и его исследования. Л.: Издательство Академии наук СССР, 1933. 261 с.
 11. Budnikov P.P. Leningrad: Izdatel'stvo akademii nauk SSSR [Gypsum and its research]. Leningrad: Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR. 1933. 261 p.
 12. Яковлев Г.И., Полянских И.С., Гордина А.Ф. Свойства гипсового вяжущего, модифицированного механоактивированным микрокремнеземом // *Weimarer Gipstagung*. 2017. С. 108–114.
 12. Yakovlev G.I., Polyanskikh I.S., Gordina A.F. Properties of a gypsum binder modified with mechanically activated microsilica. *Weimarer Gipstagung*. 2017, pp. 108–114.
 13. Чернышева Н.В. Использование техногенного сырья для повышения водостойкости композиционного гипсового вяжущего // *Строительные материалы*. 2014. № 8. С. 53–56.
 13. Chernysheva N.V. The use of technogenic raw materials to improve the water resistance of a composite gypsum binder. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 8, pp. 53–56. (In Russian).
 14. Батова М.Д., Семёнова Ю.А., Гордина А.Ф., Яковлев Г.И., Эльрефаи А.Э.М.М., Саидова З.С., Хазеев Д.Р. Модификация материалов на основе сульфата кальция комплексными минеральными добавками // *Строительные материалы*. 2021. № 1–2. С. 13–21. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-788-1-2-13-21>
 14. Batova M.D., Semenova Yu.A., Gordina A.F., Yakovlev G.I., Elrefai A.E.M.M., Saidova Z.S., Khazeev D.R. Complex mineral additives for the modification of calcium sulphate based materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2021. No. 1–2, pp. 13–21. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-788-1-2-13-21>
 15. Fediuk R., Mochalov A., Timokhin R. Review of methods for activation of binder and concrete mixes. *AIMS Materials Science*. 2018. Vol. 5. No. 5, pp. 916–931. DOI: 10.3934/matricsci.2018.5.916
 16. Тринеева В.В., Королева М.Р., Першин Ю.В., Кодолов В.И. Метод получения активных тонкодисперсных суспензий металл/углеродных нанокomпозитов в различных дисперсионных средах. *В сб.: Проблемы механики и материаловедения: Труды Института механики УрО РАН*. Ижевск, 2016. С. 240–246.
 16. Trineeva V.V., Koroleva M.R., Pershin Yu.V., Kodolov V.I. A method for preparing active finely dispersed suspensions of metal/carbon nanocomposites in various dispersion media. *In the collection: Problems of mechanics and materials science. Proceedings of the Institute of Mechanics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences*. Izhevsk. 2016, pp. 240–246. (In Russian).

М.Г. БРУЯКО¹, канд. техн. наук (mbruyako@yandex.ru);
И.В. БЕССОНОВ², канд. техн. наук (bessonoviv@mail.ru);
Э.А. ГОРБУНОВА^{1,2}, инженер, магистрант (eg15082000@mail.ru),
И.С. ГОВРЯКОВ^{1,2}, инженер, магистрант (govr190@mail.ru)

¹ Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
(129337, г. Москва, Ярославское ш., 26)

² Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук
(127238, г. Москва, Локомотивный пр., 21)

Сорбционные свойства модифицированного борщевика Сосновского

Изучены сорбционные свойства модифицированного борщевика Сосновского. Проведено сравнение контрольных образцов и образцов, прошедших модификацию в низкотемпературной неравновесной плазме. Образцы борщевика после предварительного измельчения подвергали сушке до постоянной массы в сушильном шкафу, а затем помещались в бюксы. Открытые бюксы с крышками ставили в эксикаторы с растворами бензола и ацетона. Аналогичное испытание проводили с предварительно обработанным в низкотемпературной неравновесной плазме борщевиком. Десорбционные характеристики определяли обратным способом. На основании полученных высоких показателей сорбционных свойств модифицированного наполнителя можно предположить, что композиционные материалы на основе вяжущего, в том числе гипсового, и борщевика Сосновского могут быть применены для внутренней отделки помещений, так как способствуют фильтрации и контролю влажности воздуха, тем самым создавая комфортные для человека условия в помещении. Обработка низкотемпературной неравновесной плазмой позволяет получить более эффективный материал, снижая стоимость, а также энергозатраты на производство и обработку наполнителя и изделия.

Ключевые слова: борщевик Сосновского, сорбция, десорбция, гипсовое вяжущее, низкотемпературная неравновесная плазма, модификация, органические наполнители, возобновляемое сырье.

Для цитирования: Бруяко М.Г., Бессонов И.В., Горбунова Э.А., Говряков И.С. Сорбционные свойства модифицированного борщевика Сосновского // *Строительные материалы*. 2021. № 10. С. 54–59. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-796-10-54-59>

M.G. BRUYAKO¹, Candidate Sciences (Engineering) (mbruyako@yandex.ru); I.V. BESSONOV², Candidate Sciences (Engineering) (bessonoviv@mail.ru); E.A. GORBUNOVA^{1,2}, Engineer, Master's student (eg15082000@mail.ru), I.S. GOVRYAKOV^{1,2}, Engineer, Graduate Student (govr190@mail.ru)

¹ National Research Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslavskoye Shosse, Moscow, 129337, Russian Federation)

² Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences
(21, Lokomotivniy Driveway, Moscow, 127238, Russian Federation)

Sorption Properties of Modified Sosnovsky's Hogweed

Sorption properties of the modified Sosnovsky's hogweed have been studied. The comparison of control samples and samples modified in a low-temperature non-equilibrium plasma is carried out. Samples of hogweed, after preliminary grinding, were dried to a constant mass in a drying cabinet, and then placed in weighing bottles. Open weighing bottles with lids were placed in desiccators with solutions of benzene and acetone. A similar test was carried out with a hogweed pretreated in a low-temperature non-equilibrium plasma. Desorption characteristics were determined in the reverse way. On the basis of obtained high sorption properties of the modified filler, it can be assumed, that composite materials based on binder, including gypsum, and Sosnovsky's hogweed can be used for interior decoration since they contribute to the filtration and control of air humidity, thereby creating comfortable conditions for a person in the room. Processing with low-temperature non-equilibrium plasma makes it possible to obtain a more efficient material, reducing the cost, as well as energy costs for the production and processing of the filler and the product.

Keywords: Sosnovsky's hogweed, sorption, desorption, gypsum binder, low-temperature non-equilibrium plasma, modification, organic fillers, renewable raw materials.

For citation: Bruyako M.G., Bessonov I.V., Gorbunova E.A., Govryakov I.S. Sorption properties of modified Sosnovsky's hogweed. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2021. No. 10, pp. 54–59. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-796-10-54-59>

Комфортное пребывание для человека в помещении обеспечивается гигиеническими характеристиками, психофизиологическими факторами, пространственно-антропометрическими параметрами. Негативное влияние оказывает воздушная среда, содержащая токсичные, отравляющие летучие вещества. Основными источниками загрязнения воздушной среды являются продукты сгорания бытового газа; строительные материалы, выделяющие в процессе производства и эксплуатации различные токсичные химические вещества, доля которых состав-

ляет до 80% общего количества, обнаруженных в воздушной среде помещений. Для обеспечения благоприятной среды в помещениях важную роль играет применение экологически чистых и активных строительных материалов [1]. Примером одного из таких материалов является композит на основе гипсового вяжущего и борщевика Сосновского.

Борщевик — крупное травянистое растение, стебли которого достигают 1–4 м. Листья желтовато-зеленого цвета длиной 1,4–1,9 м. Корневая система стержневая, основной объем которой располагается

в слое почвы глубиной до 30 см. Отдельные корни достигают глубины до 2 м. Урожайность дикорастущего борщевика в среднем составляет 50 т на гектар, а культивируемого – 250 т на гектар. Борщевик Сосновского широко распространен на территории Поволжья, Урала, республик Карелии, Коми, Мордовии, а также Псковской, Ленинградской, Кировской, Московской, Рязанской и других областей средней полосы России. За счет своей неприхотливости он также способен расти и в суровых климатических условиях. Распространяясь репродуктивными диаспорами, борщевик попадает в лесопосадки вдоль дорог. Уничтожить его можно лишь вручную. Неуничтоженные растения могут ежегодно продуцировать новые плоды, которые будут развиваться, и захватывать новые территории.

На сегодняшний день в странах Европы и Европейской части России проводят исследования по изучению свойств борщевика Сосновского для возможности его использования в качестве сырьевого материала в разных отраслях промышленности. На основании проведенного патентного поиска установлено, что область его применения распространяется на такие направления, как: биотехнологии, сельское хозяйство, биоэнергетика, спиртовая, а также медицинская и парфюмерная промышленность. Также перспективным направлением является применение борщевика в качестве наполнителя к гипсовому вяжущему для производства строительных материалов, что может внести вклад в решение проблем экологического и экономического характера, таких как невозобновляемость сырьевых компонентов и высокая стоимость готового продукта [2–4].

Использование измельченного дисперсного наполнителя и гипсового вяжущего позволит получить высоконаполненный композит с повышенными показателями сорбционной емкости.

Эффективным направлением повышения эксплуатационных характеристик строительных материалов и изделий является применение низкотемпературной неравновесной плазмы (НТНП) при обработке сырья. Плазменные технологии позволяют создавать строительные композиты с более высокими физико-химическими свойствами [5–7]. Установлено, что обработка низкотемпературной неравновесной плазмой активизирует поверхность борщевика, изменяя тем самым его структуру, что выражается в появлении различных видов дефектов, при этом степень дефектов возрастает по мере увеличения времени воздействия НТНП, которая в конечном итоге приводит к необратимым разрушениям поверхности. В результате обработки НТНП образуются новые, в том числе открытые микро- и макропоры, способствующие поглощению большего количества адсорбируемого вещества (сорбата) и усиливающие экологическую активность борщевика в системе наполнитель–вяжущее [8, 9].

Целью работы является исследование сорбционных свойств борщевика Сосновского, модифицированного низкотемпературной неравновесной плазмой, в качестве наполнителя к гипсовому вяжущему.

Методы и материалы

Твердые тела имеют возможность поглощать большое количество конденсирующихся газов. Объем поглощенных газов зависит от типа материала

Таблица 1
Table 1

Химический состав борщевика Сосновского
The chemical composition of Sosnovsky hogweed

Вещество	Содержание, мас. %
Протеин	11,5–17,1
Водорастворимые сахара	10,8–17,4
Жир	3,15–4,2
Клетчатка	15,7–20,1
Безазотистые экстрактивные вещества	51,7–52,1
Сахара	17–31
Прочие микроэлементы (железо, никель, медь, марганец, титан, бор)	0–1,2

Таблица 2
Table 2

Основные характеристики борщевика Сосновского
The main characteristics of the Sosnovsky hogweed

Основные характеристики	Значения
Средняя плотность, кг/м ³	115–125
Насыпная плотность, кг/м ³	90–95
Водопоглощение неизмельченного образца, %	160–190
Водопоглощение измельченного образца, %	290–320
Класс горючести	Г4

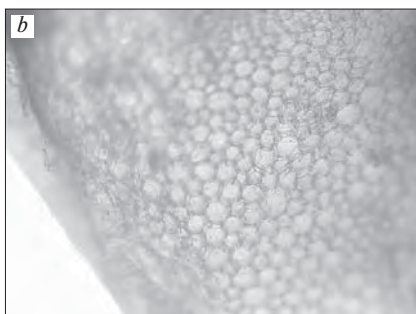
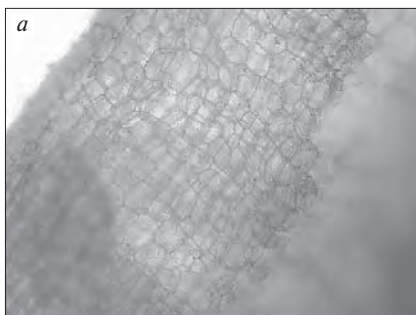


Рис. 1. Структура борщевика Сосновского: а – в продольном разрезе; б – в поперечном разрезе

Fig. 1. Hogweed Sosnovsky's structure: a – lengthwise cut; b – transverse section

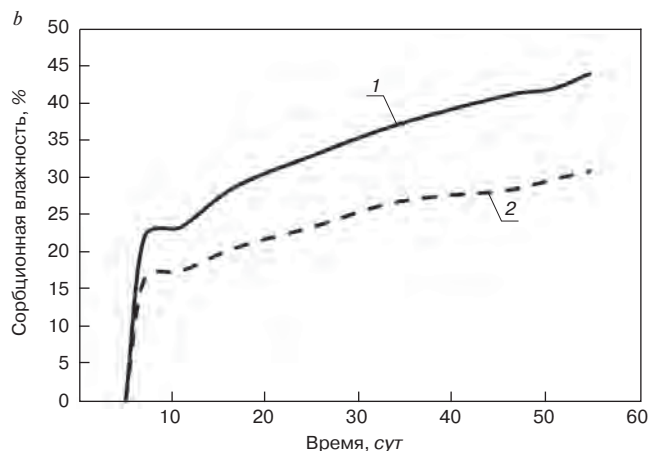
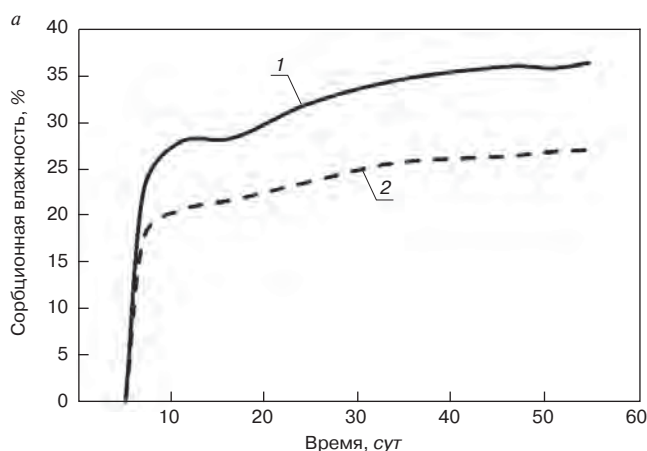


Рис. 2. Измерение сорбционной активности борщевика Sosnovsky весовым методом: *a* – в эксикаторе с 70%-м раствором ацетона; *b* – в эксикаторе с 70%-м раствором бензола; 1 – плазмомодифицированные; 2 – контрольные образцы

Fig. 2. Measurement of the sorption activity of Sosnovsky hogweed by the gravimetric method: *a* – in a desiccator with 70% acetone solution; *b* – in a desiccator with 70% benzene solution: 1 – plasma modified; 2 – control

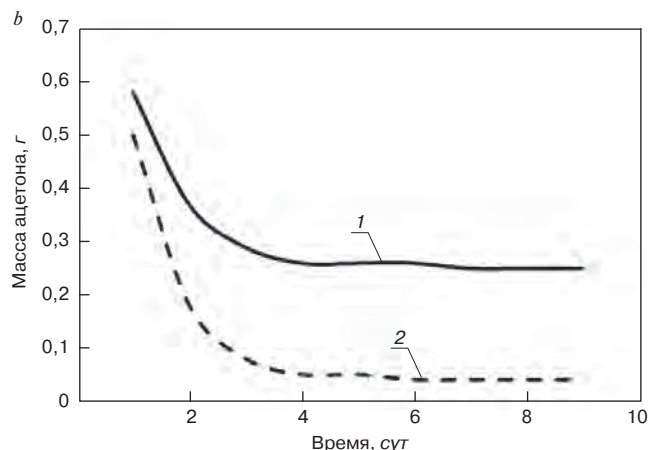
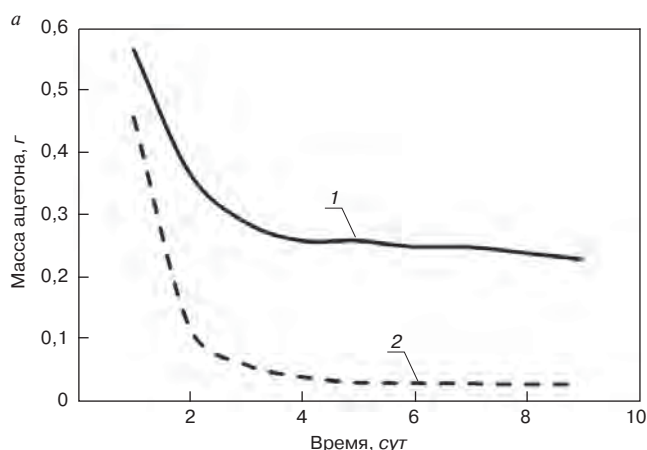


Рис. 3. Измерение десорбционной способности борщевика Sosnovsky весовым методом: *a* – в эксикаторе с 70%-м раствором ацетона; *b* – в эксикаторе с 70%-ным раствором бензола; 1 – плазмомодифицированные; 2 – контрольные образцы

Fig. 3. Measurement of the desorption capacity of Sosnovsky hogweed by the gravimetric method: *a* – in a desiccator with 70% acetone solution; *b* – in a desiccator with 70% benzene solution: 1 – plasma modified; 2 – control

и природы газа. Важную роль в адсорбционных явлениях играют площадь поверхности твердого тела и его пористость [10–12].

На рис. 1 представлена структура борщевика в продольном и поперечном срезях стебля растения. Изучение макроструктуры борщевика Sosnovsky проводилось методом оптической микроскопии. Анализ фотографий среза проводился на микроскопе Левенгук 1000. Внутренняя часть представляет собой пористую структуру с равномерно распределенными порами. Размер пор зависит от участка стебля.

Борщевик Sosnovsky содержит в своем составе большое количество сахаров, что расширяет его применение в определенных отраслях промышленности. Химический состав борщевика Sosnovsky представлен в табл. 1 [3].

В качестве исходных образцов выбраны сухие стебли борщевика Sosnovsky, прошедшие измельчение в роторной дробилке и фракционирование. Для проведения данного эксперимента использовалась фракция 2,5. Перед изучением сорбционной активности борщевика были определены его

основные характеристики, такие как: средняя и насыпная плотность (ГОСТ 9758–86), водопоглощение (ГОСТ 1609–2011), горючесть (ГОСТ 30244–94). Значения основных характеристик приведены в табл. 2.

Для проведения испытания были подготовлены бюксы с крышками, пронумерованы и высушены в сушильном шкафу [13, 14]. В качестве сорбатов были использованы 70%-е растворы бензола C_6H_6 и ацетона C_3H_6O . В каждый эксикатор поместили по три бюкса в открытом состоянии. По мере поглощения материалом веществ проводились периодические взвешивания до достижения максимума сорбционной активности. Испытания были проведены в соответствии с требованиями ГОСТ 24816–2014.

Ионно-плазменная обработка образцов осуществлялась на лабораторных установках с источником переменного тока напряжением до 8000 В и частотой до 40 кГц. Время обработки изменялось в пределах от 1 до 2 мин [15, 16]. Средние значения сорбционной влажности в процентном соотношении с течением времени представлены на рис. 2.

Таблица 3
Table 3Сорбционная активность борщевика Сосновского при различных сорбатах
Sorption activity of Sosnovsky hogweed with various sorbates

Время, сут	Значение сорбционной влажности, W, %			
	Сорбент – 70% раствор ацетона		Сорбент – 70% раствор бензола	
	Контрольные образцы борщевика	Плазмомодифицированные образцы борщевика	Контрольные образцы борщевика	Плазмомодифицированные образцы борщевика
5	18,1	23,4	16,6	22,4
7	21,1	28,7	17,8	23,9
11	22,3	29,2	21,1	29,5
17	24,2	32,9	23,8	33,6
25	26,4	35,6	27,5	38,2
35	27,1	37,1	29,1	42,2
47	27,6	36,9	30,6	43,1
52	27,8	37,5	31,7	45,2
56	27,8	37,8	31,7	45,6

Таблица 4
Table 4Десорбционная активность борщевика Сосновского при различных сорбатах
Desorption activity of Sosnovsky hogweed with various sorbates

Время, сут	Значение десорбционной активности, %			
	Сорбент – 70% раствор ацетона		Сорбент – 70% раствор бензола	
	Контрольные образцы борщевика	Плазмомодифицированные образцы борщевика	Контрольные образцы борщевика	Плазмомодифицированные образцы борщевика
1	0,46	0,57	0,5	0,58
2	0,12	0,37	0,18	0,37
3	0,06	0,29	0,08	0,29
4	0,04	0,26	0,05	0,26
5	0,031	0,26	0,05	0,26
6	0,03	0,25	0,04	0,26
7	0,029	0,25	0,04	0,26
8	0,028	0,24	0,04	0,25
9	0,028	0,23	0,04	0,25

Результаты исследования

В результате проведенных испытаний была установлена зависимость сорбционной активности различных сорбатов от наличия предварительной обработки НТНП. Проведено сравнение между контрольными образцами и обработанными (рис. 2). Результаты измерений сорбционной активности приведены в табл. 3.

Анализируя графики на рис. 2, можно сделать вывод: наилучшие результаты были получены при использовании обработки НТНП. В ходе проведения экспериментов установлено, что сорбционная активность плазмомодифицированного борщевика Сосновского выше, чем необработанного. Так, значения сорбционной влажности обработанных образцов с ацетоном в качестве сорбата были выше в среднем на 34–37% контрольных, а с бензолом в качестве сорбата – на 42–44% выше контрольных.

Для получения более полного представления о сорбционных свойствах борщевика были также проведены опыты по измерению его десорбционной ем-

кости. Изменение массы сорбата в процессе десорбции изображено на рис. 3 и представлено в табл. 4.

Из полученных значений и графиков, представленных на рис. 3, можно заметить, что десорбция обработанных образцов протекает гораздо медленнее обработанных. В первые сутки наблюдается максимальное снижение массы сорбата, а затем идет более равномерное снижение до выхода на плато минимума значений. Исследование борщевика Сосновского в качестве сорбента показало, что с сорбатами бензол и ацетон осуществляется химическая сорбция, так как часть сорбата образовала химические связи с поверхностными молекулами поглотителя.

Сорбционные характеристики наполнителя были изучены с целью внедрения его в гипсовое вяжущее для создания композита, обладающего высокими показателями сорбционной активности. Выбор гипсового вяжущего был основан на том, что материалы на его основе являются огнестойкими, это немаловажно в системе с растительным наполнителем, а также более экологически чистыми. Борщевик Сосновского

в соединении с гипсовым вяжущим усиливает его экологическую активность, что вызывает больший интерес к изучению этой системы.

Заключение

Модификация борщевика Сосновского в низкотемпературной неравновесной плазме приводит к повышению сорбционных свойств, таких как скорость сорбции и емкость. Воздействие низкотемпературной плазмы сопровождается возникновением тепловых эффектов на поверхности органического сорбента, обуславливающих структурные изменения, что приводит к повышению сорбционных свойств. Результаты, полученные в ходе исследования, позволяют сделать вывод, что плазмохимическая обработка низкотемпературной неравновесной

плазмой является эффективным способом модификации органического сорбента. Это позволяет получить современные строительные материалы на основе модифицированного борщевика Сосновского и гипсового вяжущего, которые могут быть применены для реализации программы использования местных сырьевых ресурсов и сохранения сельскохозяйственных территорий ввиду их засорения борщевиком.

Высокие показатели сорбционной активности органического наполнителя позволяют сделать вывод, что разрабатываемые композиционные строительные материалы на основе гипсового вяжущего и борщевика Сосновского будут способствовать созданию благоприятного микроклимата, регулировать тепло-влажностный режим и обеспечивать комфорт и безопасность в помещении.

Список литературы

1. Бурлака С.Д., Бруяка М.Р. Использование природных и искусственных сорбентов для очистки нефтесодержащих сточных вод // *Научные труды КубГТУ*. 2017. № 7. С. 71–77.
2. Burenina O.N., Savvinova M.E. Sources of mineral raw materials for the production of building materials of the republic of Sakha (Yakutia). *AIP Conference Proceedings*. 2017. Vol. 1915. Iss. 1. DOI: 10.1063/1.5017352
3. Мусихин П.В., Сигаев А.И. Исследование физических свойств и химического состава борщевика Сосновского и получение из него волокнистого полуфабриката // *Современные технологии*. 2006. № 3. С. 65–67.
4. Jakubska-Busse A., Śliwiński M., Kobyłka M. Identification of bioactive components of essential oils in *Heracleum sosnowskyi* and *Heracleum mantegazzianum* (Apiaceae) // *Archives of Biological Sciences*. 2013. Vol. 65 (3), pp. 877–883. DOI: 10.2298/ABS1303877J
5. Власов В.А., Волокитин Г.Г., Скрипникова Н.К., Волокитин О.Г. Плазменные технологии создания и обработки строительных материалов. Томск: НТЛ, 2018. 513 с.
6. Бруяко М.Г., Григорьева Л.С., Григорьева А.И. Плазмомодифицированные сорбенты на основе цеолитсодержащих горных пород Хотынецкого месторождения // *Строительство: наука и образование*. 2017. Т. 7. № 4 (25). С. 3.
7. Bruyako M., Grigoreva L. Effective sorbents based on plasma-modified aluminosilicate minerals. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018. Vol. 365. 032027. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/365/3/032027>
8. Alanis A., Valdes J.H., Guadalupe N.-V.M., Lopez R., Mendoza R., Mathew A.P., de Leon R.D., Valencia L. Plasma surface-modification of cellulose nanocrystals: a green alternative towards mechanical reinforcement of ABS // *RSC Advances*. 2019. No. 9, pp. 17417–17424. <https://doi.org/10.1039/C9RA02451D>

References

1. Burlaka S.D., Bruyaka M.R. The use of natural and artificial sorbents for the treatment of oily wastewater. *Nauchnie Trudy KubGTU*. 2017. No. 7, pp. 71–77. (In Russian).
2. Burenina O.N., Savvinova M.E. Sources of mineral raw materials for the production of building materials of the republic of Sakha (Yakutia). *AIP Conference Proceedings*. 2017. Vol. 1915. Iss. 1. DOI: 10.1063/1.5017352
3. Musikhin P.V., Sigaev A.I. Investigation of the physical properties and chemical composition of Sosnovsky hogweed and obtaining a fibrous semi-finished product from it. *Sovremennye tehnologii*. 2006. No. 3, pp. 65–67. (In Russian).
4. Jakubska-Busse A., Śliwiński M., Kobyłka M. Identification of bioactive components of essential oils in *Heracleum sosnowskyi* and *Heracleum mantegazzianum* (Apiaceae) // *Archives of Biological Sciences*. 2013. Vol. 65 (3), pp. 877–883. DOI: 10.2298/ABS1303877J
5. Vlasov V.A., Volokitin G.G., Skripnikova N.K., Volokitin O.G. *Plazmennye tehnologii sozdaniya i obrabotki stroitel'nykh materialov* [Plasma technologies for creating and processing building materials]. Tomsk: NTL. 2018. 513 p.
6. Bruyako M.G., Grigorieva L.S., Grigorieva A.I. Plasma-modified sorbents based on zeolite-containing rocks of the Khotynets deposit. *Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie*. 2017. Vol. 7. No. 4 (25), p. 3. (In Russian).
7. Bruyako M., Grigoreva L. Effective sorbents based on plasma-modified aluminosilicate minerals. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018. Vol. 365. 032027. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/365/3/032027>
8. Alanis A., Valdes J.H., Guadalupe N.-V.M., Lopez R., Mendoza R., Mathew A.P., de Leon R.D., Valencia L. Plasma surface-modification of cellulose nanocrystals: a green alternative towards mechanical reinforcement of ABS. *RSC Advances*. 2019. No. 9, pp. 17417–17424. <https://doi.org/10.1039/C9RA02451D>

9. Андреев А.И., Селянина С.Б., Богданович Н.И. Сорбционные свойства лиственных и хвойных сульфатных лигнинов // *Химия растительного сырья*. 2011. № 2. С. 33–39.
10. Linderoth O., Johansson P., Wadsö L. Development of pore structure, moisture sorption and transport properties in fly ash blended cement-based materials. *Construction and Building Materials*. 2020. Vol. 261, pp. 58–56. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120007>
11. Magnus Sören Åhs. Sorption scanning curves for hardened cementitious materials // *Construction and Building Materials*. 2008. Vol. 22, pp. 12–34. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2007.08.009>
12. Тептерева Г.А., Пахомов С.И., Четвертнева И.А., Каримов Э.Х. и др. Возобновляемые природные сырьевые ресурсы, строение, свойства, перспективы применения // *Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология*. 2021. Т. 64 (9). С. 4–121. <https://doi.org/10.6060/ivkkt.20216409.6465>
13. Zhang Y., Yu Y., Lu Y., Yu W., Wang S. Effects of heat treatment on surface physicochemical properties and sorption behavior of bamboo (*Phyllostachys edulis*) // *Construction and Building Materials*. 2021. Vol. 282, pp. 12–34. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122683>
14. Vares M.-L., Ruus A., Nutt N., Kubjas A., Raamets J. Determination of paper plaster hygrothermal performance: Influence of different types of paper on sorption and moisture buffering // *Journal of Building Engineering*. 2021. Vol. 33, pp. 36–51 <https://doi.org/10.1016/j.job.2020.101830>
15. Хубатхузин А.А., Абдуллин И.Ш., Шаехов М.Ф., Башкирцев А.А. Плазмохимическая обработка материалов // *Вестник Казанского технологического университета*. 2012. № 15. С. 88–92.
9. Andreev A.I., Selyanina S.B., Bogdanovich N.I. Sorption properties of deciduous and coniferous sulfate lignins. *Himija rastitel'nogo syr'ja*. 2011. Vol. 2, pp. 33–39.
10. Linderoth O., Johansson P., Wadsö L. Development of pore structure, moisture sorption and transport properties in fly ash blended cement-based materials. *Construction and Building Materials*. 2020. Vol. 261, pp. 58–56. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120007>
11. Magnus Sören Åhs Sorption scanning curves for hardened cementitious materials. *Construction and Building Materials*. 2008. Vol. 22, pp. 12–34. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2007.08.009>
12. Teptereva G.A., Pakhomov S.I., Chetvertneva I.A., Karimov E.Kh. Renewable natural raw materials, structure, properties, application prospects. *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Himija i himicheskaja tehnologija*. 2021. Vol. 64 (9), pp. 4–121. DOI: 10.6060/ivkkt.20216409/6465
13. Zhang Y., Yu Y., Lu Y., Yu W., Wang S. Effects of heat treatment on surface physicochemical properties and sorption behavior of bamboo (*Phyllostachys edulis*). *Construction and Building Materials*. 2021. Vol. 282, pp. 12–34. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122683>
14. Vares M.-L., Ruus A., Nutt N., Kubjas A., Raamets J. Determination of paper plaster hygrothermal performance: Influence of different types of paper on sorption and moisture buffering. *Journal of Building Engineering*. 2021. Vol. 33, pp. 36–51 <https://doi.org/10.1016/j.job.2020.101830>
15. Khubatkhuzin A.A., Abdullin I.Sh., Shaekhov M.F., Bashkirtsev A.A. Plasma-chemical processing of materials. *Vestnik Kazanskogo tehnologicheskogo universiteta*. 2012. Vol. 15, pp. 88–92.

СПЕЦИАЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

Учебное пособие «Промышленное и гражданское строительство. Введение в профессию»

Авторы: Грызлов В.С., Ворожбянов В.Н., Гендлина Ю.Б., Залипаева О.А., Каптюшина А.Г., Медведева Н.В., Петровская А.А., Поварова О.А., Чорная Т.Н.

Научный редактор – д-р техн. наук, проф. В.С. Грызлов

Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2021. 276 с.

Дана общая характеристика профессии строитель. Приведены сведения из истории развития строительной отрасли. Предложено краткое описание видов строительной продукции, особенностей проектирования строительных объектов, технологии и порядка организации возведения зданий и сооружений; раскрыты вопросы менеджмента в строительстве. Подчеркнута важность строительной науки и цифровизации строительной деятельности. Отдельная глава посвящена особенностям организации инженерно-строительного обучения. Для студентов бакалавриата, начавших обучение по направлению «Строительство». Может быть использовано для профориентационной работы с выпускниками школ.

По вопросам приобретения обращайтесь в издательство «Инфра-Инженерия»



Ю.Г. ЛОСЕВ¹, канд. техн. наук (ylosev@bk.ru); К.Ю. ЛОСЕВ², канд. техн. наук (c.lossev@gmail.com)

¹ Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) НИТУ «МИСиС» (309516, Белгородская обл., г. Старый Оскол, микрорайон им. Макаренко, 42)

² Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (129337, г. Москва, Ярославское ш., 26)

Развитие малоэтажного жилищного строительства на основе строительных систем с применением композиционных гипсобетонов

Подчеркнута важность работы, проводимой Российской гипсовой ассоциацией по объединению специалистов и развитию гипсовой проблематики для широкого применения материалов на основе гипса. Высокая энергоэффективность, экологичность, экономичность применения гипса в строительстве являются его основными преимуществами; низкая энергозатратность производства, высокая технологичность использования, низкие выбросы вредных веществ и соответствие принципам «зеленого» строительства являются главными конкурентными составляющими строительных систем с применением композиционных гипсобетонов. Предлагается масштабное производство гипсового вяжущего связать с широким применением конструктивных монолитных композиционных гипсобетонов в строительных системах малоэтажного жилищного строительства на основе создания гибкого автоматизированного производства малоэтажных жилых домов с применением технологий информационного моделирования и строительной робототехники. Автоматизация и внедрение этих технологий позволят уменьшить потребность в количественном росте строителей, привлекаемых на уровне рабочих специальностей. Подобные гибкие автоматизированные технологии малоэтажного жилищного домостроения, в сущности, являются отображением нового индустриального технологического уклада отечественного малоэтажного жилищного домостроения. Создание таких гибких автоматизированных технологий предлагается осуществить путем организации региональных производственных кластеров для производства жилья. Кластеры должны функционировать в соответствии с интересами всех участников частно-государственного партнерства.

Ключевые слова: малоэтажные жилые дома, композиционные гипсобетоны, строительные системы, гибкое автоматизированное производство, новый технологический уклад, производственные кластеры.

Для цитирования: Лосев Ю.Г., Лосев К.Ю. Развитие малоэтажного жилищного строительства на основе строительных систем с применением композиционных гипсобетонов // *Строительные материалы*. 2021. № 10. С. 60–64.

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-796-10-60-64>

Yu.G. LOSEV¹, Candidate of Sciences (Engineering) (ylosev@bk.ru); K.Yu. LOSEV², Candidate of Sciences (Engineering) (c.lossev@gmail.com)

¹ Technologies Institute of Sary Oskol (a division of NUST MISIS) (42, district Makarenko, Belgorod Region, Sary Oskol, 309516, Russian Federation)

² National Research Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslavskoye Shosse, Moscow, 129337, Russian Federation)

Development of Low-Rise Housing Construction Based on Building Systems Using Composite Gypsum Concretes

The importance of the work carried out by the Russian Gypsum Association to unite specialists and develop gypsum issues for the widespread use of gypsum-based materials is emphasized. High energy efficiency, environmental friendliness, economical use of gypsum in construction are its main advantages; low energy consumption of production, high technological efficiency of use, low emissions of harmful substances and compliance with the principles of “green construction” are the main competitive components of construction systems using composite gypsum concretes. It is proposed to link large-scale production of gypsum binder with the widespread use of structural monolithic composite gypsum concretes in low-rise housing construction systems based on the creation of flexible automated production of low-rise residential buildings with the use of information modeling technologies and construction robotics. Automation and implementation of these technologies will make it possible to reduce the need for quantitative growth of builders attracted at the level of working specialties. Such flexible automated technologies of low-rise housing construction, in essence, are a reflection of the new industrial technological way of domestic low-rise housing construction. It is proposed to create flexible automated technologies and a new technological order of industrial low-rise housing construction by organizing regional production clusters for housing production. Clusters should function in accordance with the interests of all participants in the public-private partnership.

Keywords: low-rise residential buildings, composition gypsum concretes, construction systems, flexible automated production, new technological order, production clusters.

For citation: Losev Yu.G., Losev K.Yu. Development of low-rise housing construction based on building systems using composite gypsum concretes. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2021. No. 10, pp. 60–64. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-796-10-60-64>

В данной статье предлагается выделить основные ориентиры по итогам юбилейной 10-й Международной конференции «Повышение эффективности производства и применения гипсовых материалов и изделий», организованной Российской гипсовой ассоциацией в г. Воронеже в сентябре 2021 г., которые, по мнению авторов, помогут в развитии

гипсовой промышленности и строительной отрасли в будущем.

Вдохновителями, участниками, организаторами данных конференций, проводимых с начала 2000-х гг., являются многие ученые отраслевых институтов и вузов, специалисты производства, строительства, руководители различных рангов, редакция журнала

«Строительные материалы»® и другие отраслевые издания. Но особую роль следует отдать профессору Анне Викторовне Ферронской, которая своим авторитетом объединила и нацелила научное и строительное сообщество на широкое обсуждение и развитие гипсовой проблематики в сложный период, включая создание Российской гипсовой ассоциации в 2006 г. [1].

В материалах всех конференций предложено множество докладов теоретического, прикладного, производственного характера, хорошо отражающих заявленную тематику, и в первую очередь связанных с особенностями самого гипсового вяжущего. Доказываются преимущества широкого применения материалов на основе гипса по сравнению с другими вяжущими, в частности в сравнении с цементными материалами и бетонами [2].

Главные преимущества гипсового вяжущего заложены в низкой энергозатратности всех составляющих его производства и на всех этапах применения гипса в строительстве. Другие незаменимые преимущества использования гипсового вяжущего заключены в экологичности производства. Это во многом связано с низкими выбросами вредных веществ, в том числе CO_2 , что соответствует требованиям идеологии «зеленого» строительства. В настоящее время именно по показателю выбросов CO_2 в мире в основном оценивают эффективность любого производства [3].

Для строительной отрасли высокая технологичность использования гипсового вяжущего в строительном производстве позволяет резко увеличивать производительность труда специалистов при одновременном требовании повышения их профессионализма и культуры производства.

Но в конечном итоге для зданий важны высокие эксплуатационные показатели, потребительские качества материалов из гипсовых вяжущих, способствующих оздоровлению среды, в которой они применяются [4]. Под экологичностью здесь понимается здоровая среда пространства зданий, оптимизирующая физические параметры воздействия на людей (температура, влажность, воздухообмен, звук, освещенность, радиационное и магнитное поле и др.), а

также параметры, способствующие снижению негативных воздействий окружающей среды (перепад температуры и влажности, вредные выбросы, солнечная и естественная радиация, шум, вибрации и т. п.) [5–8].

В настоящее время вклад гипсовой промышленности в основном связан с потребностями строительства в применении различных отделочных материалов на основе гипсовых вяжущих. Причины такого положения дел понятны и связаны с отношением бизнес-сообщества и государства к жилищному строительству [9]. Например, в проекте стратегии строительной отрасли Минстроя РФ, опубликованном для обсуждения в 2019 г., стратегическому развитию гипсовой промышленности вообще не уделено внимания. Но много внимания уделяется деревянному домостроению, которое, по мнению авторов, ограничено по внедрению в регионах и целесообразно в определенных пределах.

В проекте стратегии строительной отрасли Минстроя РФ не поставлена проблема системной смены технологического уклада строительной отрасли в период 2024–2030 гг. Производительность труда в отрасли предложено увеличить всего на 10%.

Однако в дальнейшем настоящее и будущее масштабного производства гипсового вяжущего, вероятно, будет связано с широким применением конструктивных монолитных композиционных гипсобетонов в строительных системах малоэтажного жилищного строительства (СС МЖС). Эти СС в основном предназначены для возведения малых и средних городов, поселков, пригородов с комфортной средой обитания, с расположением жилых домов на садовых участках, с обязательным выполнением требований «З-Э»: экологичности, энергоэффективности, экономичности жилых домов [10, 11]. При этом значение и возможности применения СС МЖС на основе монолитных композиционных гипсобетонов многократно доказаны на практике (см. рисунок).

Во многом успех развития СС МЖС из композиционных гипсобетонов будет гарантированно связан



Применение конструктивных монолитных композиционных гипсобетонов в строительных системах малоэтажного жилищного строительства
Implementation structured monolith composition concretes into low-rise residential construction systems

с созданием гибкого автоматизированного производства остова домов на основе технологий информационного моделирования (ТИМ) путем моделирования объемно-планировочных, конструктивных решений малоэтажных жилых домов от фундаментов до крыши и применения строительной робототехники. Технология такого гибкого автоматизированного производства малоэтажных жилых домов (ГАП МЖД), по существу, и составляет отображение МЖС в новом индустриальном технологическом укладе [12].

Следует отметить, что необходимые ТИМ и отечественная робототехника (строительные принтеры) уже созданы и экспериментально развиваются для контурного строительства и пригодны для технологии ГАП МЖД [13]. Нюансами здесь являются только особенности применения монолитных композиционных гипсобетонов. Возникают совершенно новые возможности в индустриальном производстве МЖС. Например, остов жилого гипсобетонного дома (150–200 м²) от фундамента до крыши с использованием технологии ГАП МЖД можно будет построить, по оценке авторов, за 7–10 дней с последующей отделкой и инженерными системами «под ключ». Для этого потребуется бригада подготовленных специалистов до четырех человек (в составе среднего и высшего звена). Такие специалисты, подготовленные в вузах, колледжах для работы в ГАП МЖД, помимо владения бизнес-процессами, должны знать законы прочности, жесткости, устойчивости, долговечности конструкций СС МЖД, соответствующие законы строительной физики, связанные с экологичностью, которые закладываются в проектах зданий. И естественно, должны владеть современными ТИМ и технологиями контурного строительства с использованием строительной робототехники [14].

Обстоятельства, ориентированные на высокую производительность труда, высокое качество и рентабельность гибкого производства МЖС, высокий уровень подготовки специалистов помогут бизнес-сообществу осознать необходимость инвестирования в создание ГАП МЖД.

Предлагается организационные решения создания ГАП МЖД и нового технологического уклада индустриального малоэтажного жилищного строительства реализовать путем создания региональных производственных кластеров в соответствии с интересами всех участников (администрации регионов, крупного, среднего и малого бизнеса, заказчиков, научных учреждений, вузов, граждан) на принципах частно-государственного партнерства, предоставления беспроцентных кредитов под инновационное развитие строительной отрасли для смены технологического уклада.

Работа производственных кластеров основана на информационной поддержке жизненного цикла зданий, возводимых посредством технологии ГАП МЖД. В частности, все необходимые научные исследования по всему кругу проблем, в том числе

излагаемых на конференциях по гипсу, будут формулироваться как цели повышения эффективности функционирования самого кластера с соответствующим финансированием из текущих бюджетов кластера и планироваться в будущие инвестиции в ГАП МЖД.

Немаловажна также целевая подготовка профессиональных кадров для основных звеньев (среднего и высшего звена) данной технологии и для всех структур, участвующих в работе кластера.

Авторами разработан бизнес-план организации подобных региональных производственных кластеров для создания ГАП МЖД, включая инновационную стройиндустрию для ГАП МЖД и производства всех компонентов СС с применением композиционных гипсобетонов с объемом строительства каждого кластера до 500–1000 домов в год. Мощности такого регионального кластера составляет до 150 тыс. м² жилья в год для различных заказчиков, в том числе бюджетного финансирования.

Внедрение ГАП МЖД позволит выйти на мировой конкурентоспособный уровень производства МЖС с высокими потребительскими качествами жилья по критериям экологичности, энергоэффективности, экономичности, капиталности конструктивных решений. Главные резервы высокой конкурентоспособности ГАП МЖД заложены в низкой энергозатратности всех составляющих строительного производства.

Изложенные предложения индустриального жилищного строительства позволят помочь выйти на планируемые уровни строительства жилья, особенно высококачественного для всех регионов страны. Автоматизация и внедрение ГАП МЖД позволит существенно уменьшить потребность в количественном росте специалистов низшего звена (в период до 2030 г. применение многоэтажных и традиционных строительных систем потребует дополнительного привлечения более 2 млн. специалистов различного уровня при росте строительства до 120 млн. м²). В этих условиях следует сосредоточиться на подготовке специалистов для создания и обслуживания ГАП МЖД, ориентируясь на резкое повышение производительности труда строителей.

Подобный подход требует создания программы планового развития пространства страны в целом, включая градостроительные планы модернизации, строительство малых, средних, крупных городов, поселков, пригородов, сельской местности на основе нового индустриального технологического уклада строительной отрасли. Рекомендуемое соотношение инвестиций в регионах страны: 60–80% инвестиций на строительство малоэтажного жилья; 20–40% инвестиций на строительство многоэтажного жилья.

В этом видится образ будущего, которое в первую очередь соответствует жизненным интересам самих граждан и процветанию всех регионов страны. Для реализации вышеизложенного необходима политическая воля и концентрация ресурсов.

Выводы

1. Технологии гибкого автоматизированного производства малоэтажных жилых домов с применением композиционных гипсобетонов основаны на технологиях информационного моделирования, информационной поддержке жизненного цикла зданий и строительной робототехнике.

2. В плановой стратегии развития строительной отрасли необходимо предусмотреть создание региональных кластеров нового технологического уклада – на основе технологии гибкого автоматизирован-

ного производства малоэтажных жилых домов с применением композиционных гипсобетонов.

3. Рекомендуемое соотношение инвестиций в регионах страны: 60–80% инвестиций на строительство малоэтажного жилья; 20–40% инвестиций на строительство многоэтажного жилья.

4. Кредиты для создания инновационного технологического уклада малоэтажного жилищного строительства должны быть беспроцентными.

5. Следует проводить более сдержанную политику развития мегаполисов.

Список литературы

1. Гипс в малоэтажном строительстве / Под ред. проф. А.В. Ферронской М.: АСВ, 2008. 424 с.
2. Лосев Ю.Г., Лосев К.Ю. О неизбежности создания нового технологического уклада строительства малоэтажного жилья с применением композиционных гипсобетонов. *В сборнике 10-й Международной конференции «Повышение эффективности производства и применения гипсовых материалов и изделий»*. Воронеж, 2021. С. 76–81.
3. Степанова П. Снижение выбросов CO₂ при производстве гипсовых строительных плит. *В сборнике 10-й Международной конференции «Повышение эффективности производства и применения гипсовых материалов и изделий»*. Воронеж, 2021. С. 125–129
4. Лосев Ю.Г., Лосев К.Ю. Оценка эксплуатационных показателей гипсобетонного жилого дома. *В сборнике 9-й Международной конференции «Повышение эффективности производства и применения гипсовых материалов и изделий»*. Минск, 2018. С. 109–112.
5. Дубров А.П. Экология жилища и здоровье человека. Уфа: Слово, 1995. 96 с.
6. Лосев Ю.Г., Лосев К.Ю. Строительные системы здорового дома // *Современное строительство и архитектура*. 2018. № 4. С. 18–22.
7. Гончаров Ю.А., Дубровина Г.Г., Губская А.Г. Защита от радона в помещениях. *В сборнике 9-й Международной конференции «Повышение эффективности производства и применения гипсовых материалов и изделий»*. Минск, 2018. С. 59–64.
8. Золотухин С.И., Кукина О.Б., Волков В.В., Цыплаков А.Н. Экологические проблемы строительной отрасли и пути их решения. *В сборнике 10-й Международной конференции «Повышение эффективности производства и применения гипсовых материалов и изделий»*. Воронеж, 2021. С. 49–68.
9. Кривов А., Крупнов Ю. Дом в России. Национальная идея. М.: Олма-Пресс, 2004. 416 с.
10. Чернышев И.В. Экологические аспекты формирования малоэтажных жилых зданий для городской застройки повышенной плотности. СПб.: Лань, 2013. 256 с.

References

1. Gips v maloetazhnom stroitel'stve [Gypsum in low-rise construction. Ed. by prof. Ferronskaya A.V.]. Moscow: ASV. 2008. 424 p.
2. Losev Yu.G., Losev K.Yu. About the inevitability of creating a new technological order of building low-rise residential construction using of composition gypsum concretes. *In the collection of the 10th International Conference “Increasing the efficiency of production and use of gypsum materials and products”*. Voronezh. 2021, pp. 76–81. (In Russian).
3. Stepanova P. Reduction of CO₂ emissions during the production of gypsum building panels. *In the collection of the 10th International Conference “Increasing the efficiency of production and use of gypsum materials and products”*. Voronezh. 2021, pp. 125–129. (In Russian).
4. Losev Yu.G., Losev K.Yu. A gypsum concrete residential building performance indicators evaluation. *In the collection of the 9th International Conference “Increasing the efficiency of production and use of gypsum materials and products”*. Minsk. 2018, pp. 109–112. (In Russian).
5. Dubrov A.P. Ekologiya zhilisha i zdorovie cheloveka [Ecology of housing and human health]. Ufa. 1995. 96 p.
6. Losev Yu.G., Losev K.Yu. Construction systems of a sound house. *Sovremennoe stroitel'stvo i arkhitektura*. 2018. No.4, pp. 18–22. DOI: <https://doi.org/10.18454/mca.2018.12.1> (In Russian)
7. Goncharov Yu.A, Dubrovina G.G., Gubskaya A.G. Indoor radon protection. *In the collection of the 9th International Conference “Increasing the efficiency of production and use of gypsum materials and products”*. Minsk. 2018, pp. 59–64. (In Russian).
8. Zolotukhin S.I., Kukina O.B., Volkov V.V., Tsiplakova A.N. Environmental problems of the construction industry and solution ways. *In the collection of the 10th International Conference “Increasing the efficiency of production and use of gypsum materials and products”*. Voronezh. 2021, pp. 49–68. (In Russian).
9. Krivov A., Krupnov Yu. Dom v Rossii. Natsional'naya ideya [House in Russia. National idea]. Moscow: Olma-Press. 2004. 416 p.
10. Chereshev I.V. Ekologicheskie aspekty formirovaniya maloetazhnykh zhilykh zdaniy dlia gorodskoi zastroiki povyshennoy plotnosti [Environmental Aspects of the Formation of low-rise residential buildings for

11. Асаул А.Н., Казаков Ю.Н. и др. Малоэтажное жилищное строительство: научное пособие. СПб.: Гуманистика, 2005. 564 с.
12. Лосев Ю.Г., Лосев К.Ю. Гибкие автоматизированные производства – основа автоматизации строительства // *Промышленное и гражданское строительство*. 2005. № 4. С. 32–33.
13. Рязанов А.Н., Шигапов Р.И., Синицин Д.А., Кинзябулатова Д.Ф., Недосеко И.В. Использование гипсовых композиций в технологиях строительной 3D-печати малоэтажных жилых зданий. Проблемы и перспективы // *Строительные материалы*. 2021. № 8. С. 39–44. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-794-8-39-44>
14. Лосев Ю.Г., Лосев К.Ю. Малоэтажное жилищное строительство как основа инновационного развития строительной отрасли // *Вестник Евразийской науки*. 2021. № 2 (13). <https://esj.today/PDF/10SAVN221.pdf>
- high density urban development. 2nd ed., rev.]. Saint Petersburg: Lan'. 2013. 256 p.
11. Asaul A.N., Kazakov Yu.N. et al. Maloetazhnoye zhilishnoye stroitel'stvo [Low rise residential construction]. Saint Petersburg: Gumanistika. 2005. 564 p.
12. Losev Yu.G., Losev K.Yu. Flexible automated production facilities - a perspective trend for construction development. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2005. No. 4, pp. 32–33. (In Russian).
13. Ryazanov A.N., Shigapov R.I., Sinitsin D.A., Kinzybulatova D.F., Nedoseko I.V. The use of gypsum compositions in the technologies of construction 3D printing of low-rise residential buildings. Problems and prospects. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2021. No. 8, pp. 39–44. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-794-8-39-44>
14. Losev Yu.G., Losev K.Yu. Low rise residential construction as the basis of building industry innovative development. *Vestnik Yevraziyskoy nauki*. 2021. No. 2 (13). (In Russian).

СПЕЦИАЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА**Книга «Теоретические основы белизны и окрашивания керамики и портландцемента»**

Авторы – Зубехин А.П., Яценко Н.Д., Голованова С.П.

В книге представлены теоретические основы белизны и окрашивания керамических строительных материалов и белого портландцемента (БПЦ) с позиции теории цветности силикатных материалов в зависимости от их фазово-минерального состава, структуры, содержания хромофоров Fe, Mn и Ti, условий обжига и охлаждения (окислительных или восстановительных).

Установлены закономерности зависимости белизны, цвета и особенности окрашивания как пигментов, так и твердых растворов бесцветных фаз ионами-хромофорами от структуры, изовалентного или гетеровалентного изоморфизма, образования окрашивающих кластеров. Разработаны эффективные способы управления белизной и декоративными свойствами строительных керамических материалов (фарфора, фаянса, облицовочной плитки, кирпича) и белого портландцемента.

**Книга «Технология производства стеновых цементно-песчаных изделий»**

Авторы – Балакшин Ю.З., Терехов В.А.

Описано производство и применение стеновых материалов методом вибропрессования из цементно-песчаных бетонов. Рассмотрена существующая и перспективная номенклатура изделий и их свойства. Даны характеристики сырьевым материалам – песку, щебню, вяжущим и химическим добавкам и рекомендации по подбору состава бетонной смеси. Подробно представлена технология производства цементно-песчаных вибропрессованных стеновых изделий. Особое внимание уделено технологическому контролю на производстве и техническому контролю и обслуживанию оборудования. Книга предназначена для организации производственно-технического обучения на предприятии, будет полезна инженерно-техническому персоналу и широкому кругу специалистов.

**Книга «Технология гипсовых отделочных материалов и изделий»**

Автор – Федулов А.А.

В книге описано производство гипсовых отделочных материалов и изделий от добычи сырья до упаковки готовой продукции. Особое внимание автор уделяет подробному описанию технологических линий и отдельных единиц оборудования, установленных на передовых предприятиях гипсовой промышленности. В книге представлено большое количество иллюстраций всех технологических переделов, которые помогут глубже представить и понять технологические процессы производства того или иного изделия. Описание технологии каждого вида гипсовых изделий основывается на существующих производственных регламентах предприятий России, Германии и Дании, включая шахты, карьеры, которые автор посещал лично.

Книга предназначена студентам, изучающим производство строительных материалов и конструкций в качестве дополнительного материала по технологии современных гипсовых изделий, а также для инженеров-технологов заводов, производящих гипсовую продукцию в качестве справочного материала.



Заказать литературу можно через редакцию, направив заявку по e-mail: mail@rifsm.ru, по тел.: (499) 976-22-08, 976-20-36; или оформить заказ на сайте www.rifsm.ru

УДК 666.94

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-796-10-65-68>М.С. ГАРКАВИ¹, д-р техн. наук (mgarkavi@mail.ru);С.А. ДЕРГУНОВ², канд. техн. наук (dergunow79@mail.ru), С.В. СЕРИКОВ², инженер (svserikov@list.ru)¹ ЗАО «Урал-Омега» (455037, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 89, стр. 7)² Оренбургский государственный университет (460018, г. Оренбург, пр. Победы, 13)

Формирование структуры композиционного цемента в процессе измельчения

Производство и применение композиционных цемента на основе техногенных продуктов приобретают повышенную значимость благодаря их преимуществам не только с экономической, но и с экологической точки зрения. Основой создания композиционных цемента нового поколения является тонкое измельчение их компонентов и применение механохимической активации. Данным условиям в наибольшей степени отвечают энергонапряженные центробежно-ударные мельницы. Техногенные продукты, изначально обладающие избыточным запасом внутренней энергии и входящие в состав композиционных цемента, измельчаются совместно с портландцементным клинкером и гипсом. При измельчении в местах физического контакта компонентов образуются механокомпозиты, влияющие на свойства и твердение композиционного цемента. Разработана математическая модель образования механокомпозитов в зависимости от размера частиц компонентов и их соотношения в составе цемента. Показано, что дисперсность минеральной добавки должна быть выше, чем портландцементного клинкера.

Ключевые слова: композиционный цемент, механокомпозит, измельчение, механоактивация, межчастичный контакт.

Для цитирования: Гаркави М.С., Дергунов С.А., Сериков С.В. Формирование структуры композиционного цемента в процессе измельчения // *Строительные материалы*. 2021. № 10. С. 65–68. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-796-10-65-68>

M.S. GARKAVI¹, Doctor of Sciences (Engineering) (mgarkavi@mail.ru);S.A. DERGUNOV², Candidate of Sciences (Engineering) (dergunow79@mail.ru), S.V. SERIKOV², Engineer (svserikov@list.ru)¹ Ural-Omega ZAO (89, bldg. 7, Lenina Avenue, Magnitogorsk, 455037, Russian Federation)² Orenburg State University (13, Prospect Pobedy, Orenburg, 460018, Russian Federation)

Formation of the Structure of Composite Cement in the Grinding Process

The production and application of composite cements based on man-made products is gaining increased importance due to their advantages not only from an economic point of view, but also from an environmental point of view. The basis for the creation of composite cements of a new generation is the fine grinding of their components and the use of mechano-chemical activation. Energy-stressed centrifugal impact mills meet these conditions to the greatest extent. Technogenic products that initially have an excess reserve of internal energy and are part of composite cements are crushed together with Portland cement clinker and gypsum. During grinding, mechano-composites are formed at the places of physical contact of the components, which affect the properties and hardening of composite cement. A mathematical model of the formation of mechano-composites has been developed depending on the particle size of the components and their ratio in the composition of cement. It is shown that the dispersion of the mineral additive should be higher than that of Portland cement clinker.

Keywords: composite cement, mechano-composite, grinding, mechanical activation, interparticle contact.

For citation: Garkavi M.S., Dergunov S.A., Serikov S.V. Formation of the structure of composite cement in the grinding process. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2021. No. 10, pp. 65–68. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-796-10-65-68>

Одним из путей решения проблемы увеличения производства цемента является переход на производство новых композиционных вяжущих, в том числе с заменой части клинкерной составляющей техногенными продуктами, изначально обладающими избыточным запасом внутренней энергии. Техногенные продукты, входящие в состав композиционных цемента, главным образом металлургические шлаки, могут быть размолоты с клинкером и гипсом или могут быть перемешаны с портландцементом. Производство и применение этих цемента приобретают повышенную значимость благодаря их преимуществам не только с экономической, но и с экологической точки зрения [1–4].

Основой создания композиционных цемента нового поколения является не только тонкое измельчение их компонентов, но и применение механохимической активации и использование различных модификаторов. Данным условиям в наибольшей степени

отвечают ударные измельчители, среди которых заслуживают внимания центробежно-ударные мельницы, в которых совмещены две высокоэффективные системы: центробежно-ударного измельчения и воздушной классификации [5]. Отличительной особенностью центробежно-ударных мельниц является их высокая энергонапряженность (более 10 кВт/кг). Это позволяет проводить в них процесс механохимической активации, при которой в измельчаемом материале создаются структурные микродефекты и активные поверхностные центры [6, 7].

Наряду с измельчением вследствие различной размолоспособности компонентов происходит образование межфазной поверхности путем «намазывания» одного из компонентов на другой в местах их физического контакта. В результате в системе возникают слоистые образования — так называемые механокомпозиты, или микрокомпозиты [8, 9]. В течение процесса помола происходит непрерывное

измельчение этих образований и формирование из них новых с более сложной внутренней структурой. Характеристики образующихся механокомпозитов: размер частиц, состав, величина избыточной энергии в компонентах — зависят от многих факторов. Очевидно, что их наличие в композиционном цементе оказывает влияние на его свойства и твердение.

Математическая модель и ее анализ

Механокомпозиты возникают в местах контакта частиц композиционного цемента, поэтому их концентрация будет пропорциональна количеству этих контактов. Число контактов зависит от пористости смеси, количества компонентов, размера их частиц. Математическая модель процесса образования указанных контактов и механокомпозитов может быть построена в соответствии с положениями работ [8, 10].

Будем рассматривать бинарную смесь для изготовления композиционного цемента, состоящую из портландцементного клинкера К_л и минеральной добавки Д_м, например металлургического шлака, объемы которых в смеси V_к и V_д соответственно. Эта смесь рассчитана на получение композиционного цемента Ц_к, в котором массовое содержание минеральной добавки φ (степень наполнения композиционного цемента минеральной добавкой). В соответствии с принятым определением:

$$\varphi = \frac{V_d \cdot \rho_d}{V_k \cdot \rho_k + V_d \cdot \rho_d}, \tag{1}$$

где ρ_к, ρ_д — плотности клинкера и минеральной добавки.

Примем следующие допущения:

- частицы компонентов являются сферами с радиусами R_к и R_д;
- смесь компонентов представляет собой совокупность элементарных реакционных сферических ячеек, массовое соотношение компонентов в которых соответствует (1).

Принятое понятие «элементарная реакционная ячейка» широко применяется при теоретическом рассмотрении различных физико-химических процессов в порошковых системах [11].

Структуру смеси компонентов композиционного цемента можно разделить на два вида: с частицами разных и одинаковых размеров.

1. Частицы разных размеров. Предположим, что частицы клинкера крупнее частиц минеральной добавки, т. е. R_к > R_д. В этом варианте в центре элементарной реакционной ячейки находится частица клинкера, окруженная частицами минерального компонента. Размер этой ячейки (масштаб гетерогенности) определяется по формуле [12]:

$$R_e = R_k \cdot \left[\frac{1 + \beta}{1 - \Pi} \right]^{1/3};$$

$$\beta = \frac{\varphi \cdot \rho_k}{(1 - \varphi) \cdot \rho_d}, \tag{2}$$

где Π — пористость элементарной ячейки.

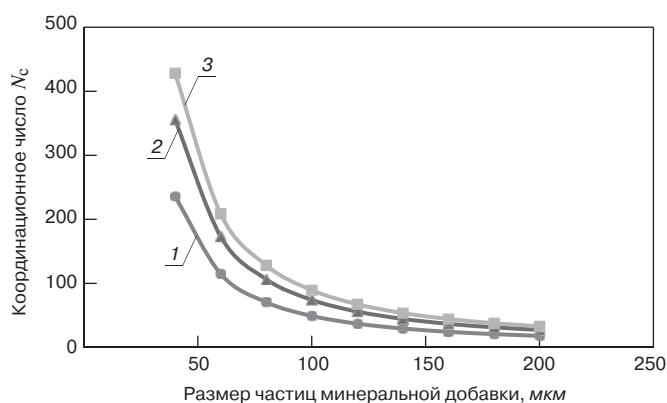


Рис. 1. Влияние размера частиц минерального компонента на количество разнородных контактов в композиционном цементе при степени наполнения: 1 – 0,1; 2 – 0,15; 3 – 0,3

Fig. 1. Influence of the particle size of the mineral component on the number of dissimilar contacts in composite cement at the degree of filling: 1 – 0.1; 2 – 0.15; 3 – 0.3

Максимальное количество частиц в объеме определяет максимально возможное число разнородных контактов (координационное число N_с) между компонентами композиционного цемента (в данном случае число контактов частицы клинкера с частицами минеральной добавки) [12]:

$$N_c = \frac{(R_k + 2R_d)^3 - R_k^3}{R_d^3} \cdot \frac{\beta(1 - \Pi)}{\Pi + \beta}. \tag{3}$$

На рис. 1 представлены зависимости количества разнородных контактов (координационного числа), определенные по формуле (3) при пористости Π=0,1, от размера частиц минеральной добавки при различных степенях наполнения композиционного цемента.

Из данных рис. 1 следует, что с уменьшением размера частиц и ростом степени наполнения количество разнородных контактов и, следовательно, концентрация механокомпозитов в композиционном цементе быстро увеличиваются. Увеличение пористости элементарной ячейки, зависящей от соотношения размеров компонентов, в соответствии с (3) снижает скорость образования и число разнородных контактов.

2. Частицы одинакового размера, т. е. R_к=R_д.

Для частиц одинакового размера величина координационного числа может быть определена по следующей формуле [13]:

$$N_c = 2,5/\Pi. \tag{4}$$

Количество разнородных контактов между частицами клинкера и минеральной добавки N_{кд} пропорционально их объемным долям в составе композиционного цемента и координационному числу, т. е.:

$$N_{кд} = N_c \cdot \frac{\beta}{1 + \beta}. \tag{5}$$

На рис. 2 приведена зависимость числа разнородных N_{кд} и однородных N_{дд} контактов в композиционном цементе при одинаковом размере частиц компонентов при различной степени наполнения.

Как следует из представленных данных, увеличение исходной пористости приводит к снижению числа разнородных контактов и, следовательно, к

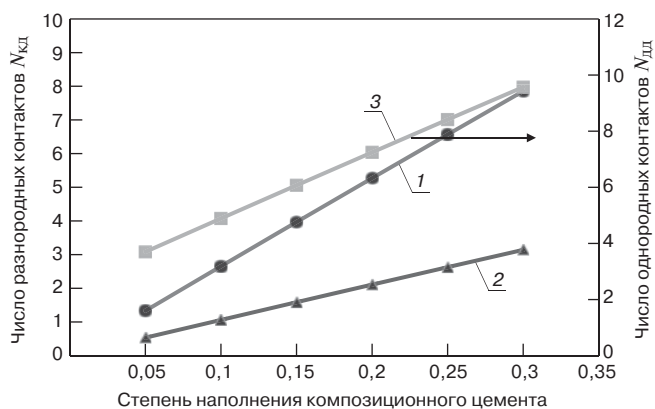


Рис. 2. Влияние степени наполнения композиционного цемента на количество разнородных и однородных контактов при различной пористости смеси: 1 – пористость 10%; 2 – пористость 25%; 3 – число однородных контактов

Fig. 2. Influence of the degree of filling of composite cement on the number of heterogeneous and homogeneous contacts at different porosity of the mixture: 1 – porosity 10%; 2 – porosity 25%; 3 – the number of homogeneous contacts

уменьшению концентрации в цементе механокомпози- тов. Следует отметить, что в цементе с частицами компонентов равных размеров количество разнород- ных контактов существенно меньше, чем в вяжущем,

Список литературы

1. Рикерт Й., Мюллер К. Эффективные композици- онные цементы – вклад в сокращение объема вы- бросов CO₂ // *ALITinform Международное аналитическое обозрение*. 2011. № 2. С. 28–43.
2. Кертон Ф. Перспективы рынка шлаковых цемен- тов в Европе // *Цемент и его применение*. 2006. № 5. С. 12–17.
3. Zbigniew Giergiczny. Fly ash and slag // *Cement and Concrete Research*. 2019. Vol. 124. 105826. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2019.105826>
4. Amit Rai, Prabakar J., Raju C.B., Morchalle R.K. Metallurgical slag as a component in blended cement // *Construction and Building Materials*. 2002. Vol. 16. Iss. 8, pp. 489–494. DOI: 10.1016/S0950-0618(02)00046-6
5. Гаркави М.С., Воробьев В.В., Кушка В.Н., Свитов В.С. Современное оборудование для из- мельчения и классификации материалов // *Вестник БГТУ*. 2003. № 6. С. 280–284.
6. Хрипачева И.С., Гаркави М.С., Артамонова А.В., Воронин К.М., Артамонова А.В. Цементы цен- тробежно-ударного измельчения // *Цемент и его применение*. 2013. № 4. С. 106–109.
7. Хрипачева И.С., Гаркави М.С. Смешанные це- менты центробежно-ударного измельчения на ос- нове доменного отвального шлака // *Строитель- ные материалы*. 2010. № 8. С. 40–41.
8. Лапшин О.В., Смоляков В.К. Динамика структу- рных превращений при измельчении бинарной смеси // *Физическая мезомеханика*. 2011. Т. 14. № 2. С. 77–84.
9. Лапшин О.В., Смоляков В.К. Формирование сло- истой структуры механокомпози- тов при измель-

где частицы имеют различные размеры. Количество однородных контактов также значительно превышает число разнородных, и только при высоких степенях наполнения и низкой пористости имеет место обрат- ная картина.

Заключение

Сопоставление полученных данных (рис. 1 и 2) по- зволяет заключить, что для получения в композици- онном цементе максимального числа разнородных контактов, которые являются местом образования механокомпози- тов, предпочтительнее использовать минеральную добавку с большей дисперсностью по сравнению с клинкером. Полученный результат мо- делирования хорошо согласуется с известными по- ложениями технологии получения многокомпонент- ных тонкомолотых цементов [14–16].

Таким образом, выполненная в макроскопиче- ском приближении оценка образования механоком- пози- тов при измельчении компонентов композици- онного цемента позволяет заключить, что их образо- вание является важным фактором, который оказывает существенное влияние на интенсивность процессов, определяющих формирование искусственного камня.

References

1. Rickert J., Müller K. Efficient composite cements - a contribution to reducing CO₂ emissions. *ALITinform*. 2011. No. 2, pp. 28–43. (In Russian).
2. Kerton F. Prospects for the market of slag cements in Europe. *Tsement i ego primeneniye*. 2006. No. 5, pp. 12–17. (In Russian).
3. Zbigniew Giergiczny. Fly ash and slag. *Cement and Concrete Research*. 2019. Vol. 124. 105826. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2019.105826>
4. Amit Rai, Prabakar J., Raju C.B., Morchalle R.K. Metallurgical slag as a component in blended cement. *Construction and Building Materials*. 2002. Vol. 16. Iss. 8, pp. 489–494. DOI: 10.1016/S0950-0618(02)00046-6
5. Garkavi M.S., Vorobiev V.V., Kushka V.N., Svitov V.S. Modern equipment for grinding and clas- sification of materials. *Vestnik of BSTU*. 2003. No. 6, pp. 280–284. (In Russian).
6. Khripacheva I.S., Garkavi M.S., Artamonova A.V., Voronin K.M., Artamonova A.V. Cements of centrif- ugal impact grinding. *Tsement i ego primeneniye*. 2013. No. 4, pp. 106–109. (In Russian).
7. Khripacheva I.S., Garkavi M.S. Mixed cements of centrifugal impact grinding based on blast-furnace dump slag. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2010. No. 8, pp. 40–41. (In Russian).
8. Lapshin O.V., Smolyakov V.K. Dynamics of structural transformations during grinding of a binary mixture. *Fizicheskaya mezomekhanika*. 2011. Vol. 14. No. 2, pp. 77–84. (In Russian).
9. Lapshin O.V., Smolyakov V.K. Formation of a layered structure of mechanocomposites during grinding of a binary mixture. *Khimicheskaya fizika i mezoskopiya*. 2013. Vol. 15. No. 2, pp. 278–284. (In Russian).

- чении бинарной смеси // *Химическая физика и мезоскопия*. 2013. Т. 15. № 2. С. 278–284.
10. Лапшин О.В., Смоляков В.К. Динамика структурных превращений при измельчении бинарной смеси // *Физическая мезомеханика*. 2011. Т. 14. № 2. С. 77–84.
 11. Болдырев В.В. и др. Фундаментальные основы механической активации, механосинтеза и механохимических технологий. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009. 343 с.
 12. Лапшин О.В., Смоляков В.К., Болдырева Е.В., Болдырев В.В. Динамика гомогенизации бинарных порошковых смесей // *Журнал физической химии*. 2018. Т. 92. № 1. С. 76–80.
 13. Грег С., Синг К. Адсорбция, удельная поверхность, пористость. М.: Мир, 1984. 306 с.
 14. Энтин З.Б., Юдович Б.Э. Многокомпонентные цементы. II *Международное совещание по химии и технологии цементов*. Москва. 2000. Т. 1. С. 94–109.
 15. Кононова О.В., Добшиц Л.М. Свойства цементного камня при различной дисперсности цемента и наполнителя // *Цемент и его применение*. 2013. № 3–4. С. 124–128.
 16. Maciej Zajac, Jan Skocek, Barbara Lothenbach, Mohsen Ben Haha. Late hydration kinetics: Indications from thermodynamic analysis of pore solution data // *Cement and Concrete Research*. 2020. Vol. 129. 105975. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2020.105975>
 10. Lapshin O.V., Smolyakov V.K. Dynamics of structural transformations during grinding of a binary mixture // *Physical Mesomechanics*. 2011. Vol. 14, No. 2, pp. 77–84.
 11. Boldyrev V.V. and others. Fundamental'nye osnovy mekhanicheskoi aktivatsii, mekhanosinteza i mekhanokhimicheskikh tekhnologii [Fundamental bases of mechanical activation, mechanosynthesis and mechanochemical technologies]. Novosibirsk: Publishing house of the SB RAS. 2009. 343 p.
 12. Lapshin O.V., Smolyakov V.K., Boldyreva E.V., Boldyrev V.V. Dynamics of homogenization of binary powder mixtures. *Zhurnal fizicheskoi khimii*. 2018. Vol. 92. No. 1, pp. 76–80. (In Russian).
 13. Greg S., Sing K. Adsorbtsiya, udel'naya poverkhnost', poristost' [Adsorption, specific surface, porosity]. Moscow: Mir. 1984. 306 p.
 14. Entin Z.B., Yudovich B.E. Multicomponent cements. II *International meeting on chemistry and technology of cements*. Moscow. 2000. Vol. 1, pp. 94–109. (In Russian).
 15. Kononova O.V., Dobshits L.M. Properties of cement stone with different dispersion of cement and filler. *Tsement i ego primeneniye*. 2013. No. 3–4, pp. 124–128. (In Russian).
 16. Maciej Zajac, Jan Skocek, Barbara Lothenbach, Mohsen Ben Haha. Late hydration kinetics: Indications from thermodynamic analysis of pore solution data // *Cement and Concrete Research*. 2020. Vol. 129. 105975. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2020.105975>

СПЕЦИАЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

Энциклопедия старинных кирпичей и черепицы из собрания музея «Кирпичная библиотека»



Автор: Талпа Б.В.

Издательство Южного федерального университета, 2021. 432 с.

Энциклопедия состоит из девяти разделов. Представлены старинные кирпичи и черепица Российской империи (42 региона), Австро-Венгерской, Британской, Византийской, Османской, Римской империй, Древнего Египта и Греции и других европейских и азиатских стран. Имеются раритетные кирпичи из Карнакского храма (Египет, IV тыс. до н. э.), Московского, Казанского, Тульского, Астраханского, Ярославского, Свяжского Кремля, а также Китай-города, Помпеев, Рима, Вены, Лондона, Сиены, Ливорно, Риги, Санкт-Петербурга, Свято-Троицкой Сергиевой лавры, Валаамского, Новодевичьего монастырей, Гефсиманского Черниговского скита, крепостей Дальнего Востока, замков рыцарей Ливонского и Тевтонского орденов, Китая, Японии, Швеции, Дании, Индии, Туниса, Таиланда и др. Каждый образец кирпича и черепицы сопровождается информацией (статьей) о месте находки, производителе, сырьевой базе, технологии и времени производства, а также об исторических сооружениях, построенных из этих материалов. Прилагаются исторические документы, картографические материалы, биографические сведения о производителях, ссылки на исторические справочники. Энциклопедия содержит более 2000 фотографий, рисунков, карт. Кирпич – один из первых инновационных материалов, созданных человеком, полностью преобразивший образ его жизни. Древние кирпичные постройки заложили основы архитектуры, культуры и технологии строительства. Кирпич позволил людям расселиться в неблагоприятных для проживания климатических условиях. Необходимость в качественном керамическом сырье заложила первые знания о геологическом строении, минералогических особенностях и технологических свойствах глинистых пород. Энциклопедия предназначена для широкого круга специалистов в области керамической промышленности, строительства и архитектуры, наук о Земле, истории и археологии, коллекционеров, молодых ученых, аспирантов, студентов и школьников старших классов.

Энциклопедия реализуется по предварительному заказу. Возможна доставка по почте (добавляется стоимость почтовых расходов). Заказ высылать на электронную почту talpabv@gmail.com, по телефону или WhatsApp +7-928-188-41-41, Талпа Борис Васильевич. Тираж ограничен.



РОССИЙСКАЯ СТРОИТЕЛЬНАЯ НЕДЕЛЯ

1-4.03.2022

Россия, Москва, ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР»



Международная
специализированная
выставка RosBuild 2022

Салон «Малоэтажное
домостроение»

VII Всероссийское
совещание по развитию
жилищного строительства

Форум «Строим будущее
России вместе»



12+
Реклама



www.rosbuild-expo.ru

При поддержке



Под патронатом



Организатор



ГИПС

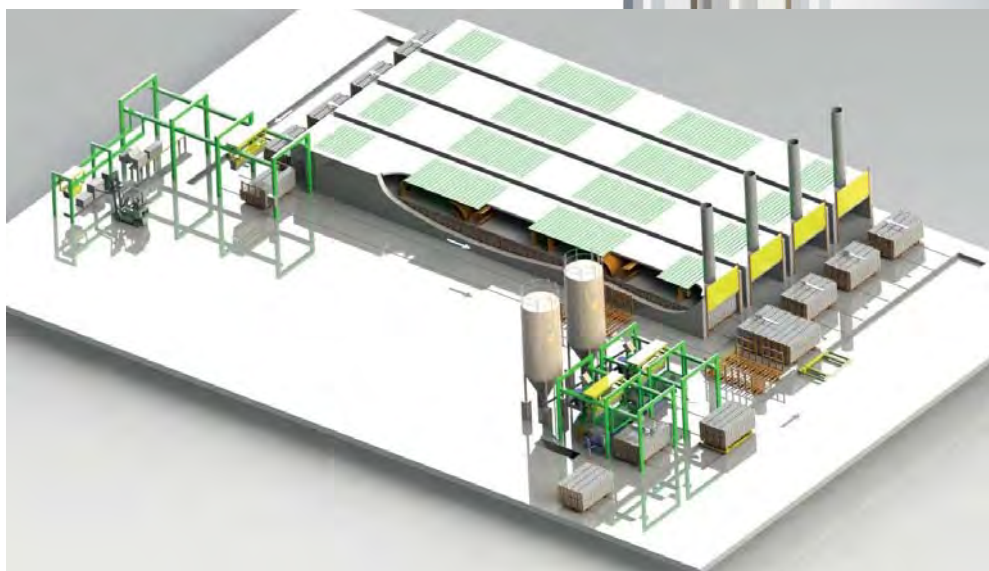
НАША ПРОФЕССИЯ

Оборудование для гипсовой отрасли

- ✓ Оборудование для гипсовой промышленности и модернизации существующих технологических линий
- ✓ Индивидуальные технические решения и адаптированный уровень автоматизации
- ✓ Изготовление оборудования в Европе. Реактивность, Качество и Надежность
- ✓ Инновационные решения для удовлетворения Ваших потребностей (сокращение времени монтажа, обслуживания, энергопотребления и уменьшение рисков)
- ✓ Высокие стандарты качества при разумной стоимости инвестиций
- ✓ Обучение обслуживающего персонала. Помощь на любом этапе Вашего проекта



Гипсоварочный цех с вертикальной печью



Установка по производству ПГП

АНЖЕ

15 rue du Moulin des Landes
CS 50159 - Saint Sylvain d'Anjou
49481 Verrières en Anjou Cedex
T: + 33 (0)2 41 21 19 40
F: + 33 (0)2 41 21 19 59
ФРАНЦИЯ

Париж Головной офис

140 bis rue de Rennes
75006 PARIS
T: + 33 (0)1 53 90 22 40
F: + 33 (0)1 53 90 22 24
ФРАНЦИЯ

МОСКВА

20, Daev pereulok
Daev plaza - office 512
T: + 7 495 604 81 86
F: + 7 495 604 81 73
РОССИЯ



marianna.d@alphaplatre-france.com

