

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ[®] № 7



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ ИЗДАЕТСЯ С 1955 г. WWW.RIFSM.RU WWW.JOURNAL-CM.RU ИЮЛЬ 2021 г. (793)

PROGRESS GROUP

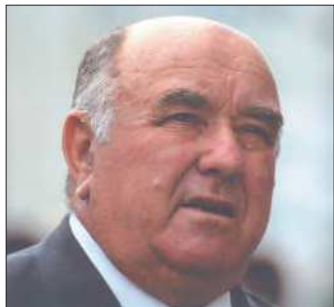


ГЛОБАЛЬНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ИНДУСТРИИ СБОРНОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОНА

- 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





К 85-летию

Евгения Михайловича ЧЕРНЫШОВА

академика Российской академии архитектуры и строительных наук, доктора технических наук, профессора Воронежского государственного технического университета.

17 июля 2021 г. исполнилось 85 лет со дня рождения Евгения Михайловича Чернышова, из которых более 60 лет он отдал служению науке, организации производства и подготовке кадров для строительного комплекса России.

Евгений Михайлович Чернышов родился в с. Никольское Воронежской области. После школы поступил в Воронежский инженерно-строительный институт (ВИСИ), который с отличием окончил в 1960 г., получив квалификацию инженера-технолога по специальности «Производство бетонных и железобетонных изделий и конструкций». С тех пор его жизнь неразрывно связана с родным вузом.

После обучения в очной аспирантуре ВИСИ, завершившегося блестящей защитой кандидатской диссертации, в 1967 г. он начал научно-педагогическую деятельность на кафедре технологии вяжущих веществ и бетонов, которую впоследствии возглавлял с 1983 г. почти 10 лет.

Евгений Михайлович всегда уделял большое внимание внедрению научных разработок в практику строительства и производства строительных материалов. Он стоял у истоков отечественной технологии изделий из силикатного ячеистого бетона (газосиликата); им разработана новая, не имеющая аналогов разновидность силикатных материалов — ультралегковесный теплоизоляционный материал со средней плотностью 100–200 кг/м³. Трудолюбие, интеллект, внимание к партнерам, деликатность в сочетании с твердостью в отстаивании своих позиций снискали Евгению Михайловичу глубокое уважение и огромный авторитет как в кругу ученых-материаловедов, так и среди практиков, работающих в отрасли промышленности строительных материалов и строительной индустрии.

Высокий уровень научной квалификации Евгения Михайловича подтвержден успешной защитой диссертации доктора технических наук и последующим присвоением ученого звания профессора. При воссоздании Российской академии архитектуры и строительных наук (РААСН) в 1992 г. Евгений Михайлович был избран в первый состав академии по отделению строительных наук. Его вклад в научно-техническое развитие строительного комплекса был неоднократно отмечен Правительством Воронежской области и администрацией Воронежа. В 2012 г. он стал лауреатом премии Правительства РФ в области науки и техники.

Выдающиеся организаторские способности позволили Е.М. Чернышову на посту проректора по научной работе ВИСИ (затем ВГАСА, ВГАСУ) вывести научную деятельность на качественно новый уровень. В 1991–2006 гг. в вузе была расширена аспирантура и открыта докторантура по шести научным направлениям, созданы диссертационные советы по защите докторских и кандидатских диссертаций по 12 научным специальностям, обеспечено лицензирование научно-инженерной деятельности вуза более чем по 300 видам работ и услуг.

Сегодня Евгений Михайлович по-прежнему принимает деятельное участие в жизни Воронежского государственного технического университета. Он руководит научно-инжиниринговым и образовательным академическим центром «Высшая школа строительного материаловедения» НИИ Академии развития строительного комплекса ВГТУ, крупные и актуальные разработки которого известны многим специалистам в России и за рубежом. Под председательством Евгения Михайловича с февраля 2020 г. на базе ВГТУ начал работу диссертационный совет по двум техническим специальностям: «Строительные материалы и изделия» и «Строительная механика», созданный по его инициативе.

Большая работа осуществляется и по линии Российской академии архитектуры и строительных наук. Как руководитель Центрально-Черноземного представительства Центрального территориального отделения (ЦТО) РААСН, Евгений Михайлович занимается выявлением и привлечением к работе в ЦТО в качестве потенциальных членов и советников РААСН талантливых и успешных ученых и практиков в области архитектуры, градостроительства и строительных наук.

Е.М. Чернышов — автор порядка 470 научных работ, в том числе 12 монографий, 25 учебно-методических изданий. Он с энтузиазмом работает в редакционных советах таких рейтинговых отраслевых журналов, как «Строительные материалы»®, «Известия высших учебных заведений. Строительство», «Вестник гражданских инженеров», «Биосферная совместимость: человек, регион, технологии», «Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал» и др.

За годы служения науке и родному вузу Евгений Михайлович Чернышов создал научную школу материаловедения; им подготовлено более 20 докторов и кандидатов технических наук, которые вместе с учителем продолжают исследования в выбранных научных направлениях.

В настоящее время научные интересы Евгения Михайловича обращены в основном к фундаментальным проблемам материаловедения строительных композитов; научно-практическим основам управления химико-технологическими процессами структурообразования и качеством неорганических систем твердения и строительных композитов; наномодифицированию структур строительных композитов; концепции, методологии и научно-инженерным решениям комплексной и глубокой переработки техногенных отходов; анализу современных региональных технико-экономических проблем и эффективных направлений развития архитектурно-строительного комплекса.

Дорогой Евгений Михайлович! От всей души поздравляем Вас с днем рождения.

Здоровья Вам, творческого долголетия, реализации задуманного.

Оставайтесь таким же оптимистичным и позитивным человеком, каким мы Вас знаем!

Ваши коллеги и ученики

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®

№ 7

Основан в 1955 г.

(793) Июль 2021 г.

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

Современные бетоны

С.В. ФЕДОСОВ, В.Е. РУМЯНЦЕВА, И.В. КРАСИЛЬНИКОВ, И.А. КРАСИЛЬНИКОВА

Математическое моделирование массопереноса в системе цементный бетон–жидкая среда, лимитируемого внутренней диффузией переносимого компонента при жидкостной коррозии первого вида 4

Ю.И. ТИЛИНИН, Д.А. ЖИВОТОВ

Совершенствование рассредоточенного монолитного строительства на прибрежной территории 10

Strabag AG создает устойчивые тоннельные системы с использованием установок, изготовленных по индивидуальному заказу (Информация) 18

В 2021 г. КНАУФ инвестирует в горнодобывающее предприятие Архангельской области 3 млн евро (Информация) 22

Материалы и технологии

А.Ф. ГАЛКИН, М.Н. ЖЕЛЕЗНЯК, А.Ф. ЖИРКОВ

Повышение тепловой устойчивости дорожных одежд в криолитозоне 26

В.В. СТРОКОВА, М.Н. СИВАЛЬНЕВА, С.В. НЕРОВНАЯ, Б.Б. ВТОРОВ

Штукатурные покрытия как регулятор параметров микроклимата в помещении: обзор теоретических и экспериментальных исследований 32

Подписка на электронную версию



<https://journal-cm.ru/index.php/ru/podpiska-2021>

Авторы опубликованных материалов несут ответственность за достоверность приведенных сведений, точность данных по цитируемой литературе и за использование в статьях данных, не подлежащих открытой публикации. Редакция может опубликовать статьи в порядке обсуждения, не разделяя точку зрения автора. Перепечатка и воспроизведение статей, рекламных и иллюстративных материалов возможны лишь с письменного разрешения главного редактора. Редакция не несет ответственности за содержание рекламы и объявлений.

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®

№ 7

Founded in 1955 (793) July 2021

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

Modern concretes

S.V. FEDOSOV, V.E. RUMYANTSEVA, I.V. KRASILNIKOV, I.A. KRASILNIKOVA

**Mathematical Modeling of Mass Transfer in the "Cement Concrete-Liquid Medium" System,
Limited by the Internal Diffusion of the Transferred Component at Liquid Corrosion of the First Type** 4

Yu.I. TILININ, D.A. ZHIVOTOV

Improvement of Dispersed Monolithic Construction on the Coastal Territory 10

Strabag AG Creates Sustainable Tunnel Systems Using Installations Made to Individual Order (Information)..... 18

**Knauf's Investments in the Mining Enterprise of the Arkhangelsk Region
in 2021 will Amount 3 Million Euros (Information)** 22

Materials and technologies

A.F. GALKIN, M.N. ZHELEZNYAK, A.F. ZHIRKOV

Increasing the Thermal Stability of the Embankment in Permafrost Regions 26

V.V. STROKOVA, M.N. SIVALNEVA, S.V. NEROVNAYA, B.B. VTOROV

**Plaster Coverings as a Regulator of Indoor Microclimate Parameters:
an Overview of Theoretical and Experimental Research** 32

Subscription to the electronic version



<https://journal-cm.ru/index.php/ru/podpiska-2021>

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)

С.В. ФЕДОСОВ¹, д-р техн. наук, академик РААСН (FedosovSV@mgsu.ru, fedosov-academic53@mail.ru);
В.Е. РУМЯНЦЕВА², д-р техн. наук, советник РААСН (varrym@gmail.com),
И.В. КРАСИЛЬНИКОВ², канд. техн. наук (korasb@mail.ru);
И.А. КРАСИЛЬНИКОВА³, инженер (irinanebukina@rambler.ru)

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

² Ивановский государственный политехнический университет (153000, г. Иваново, Шереметевский пр., 21)

³ Владимирский государственный университет им. Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых (600000, г. Владимир, ул. Горького, 87)

Математическое моделирование массопереноса в системе цементный бетон—жидкая среда, лимитируемого внутренней диффузией переносимого компонента при жидкостной коррозии первого вида

Обоснована актуальность новых научных исследований, направленных на моделирование физико-химических процессов, протекающих в цементных бетонах при их эксплуатации. Описаны основные виды коррозии бетонов. Математически сформулирована задача массообменных процессов, протекающих в плоской железобетонной стенке при жидкостной коррозии бетона первого видов. Представлена математическая задача массопереноса в безразмерном виде и в области изображений по Лапласу. Приведены полученные решения задачи при больших и малых значениях массообменного числа Фурье, описывающие безразмерные концентрации переносимого компонента по толщине бетона, позволяющие рассчитывать динамику процесса.

Ключевые слова: цементный бетон, концентрация гидроксида кальция, коррозия, массоперенос, жидкая среда, массопроводность, диффузия, критерии подобия.

Для цитирования: Федосов С.В., Румянцова В.Е., Красильников И.В., Красильникова И.А. Математическое моделирование массопереноса в системе цементный бетон—жидкая среда, лимитируемого внутренней диффузией переносимого компонента при жидкостной коррозии первого вида // *Строительные материалы*. 2021. № 7. С. 4–9.

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-793-7-4-9>

S.V. FEDOSOV¹, Doctor of Sciences (Engineering), Academician of RAACS (FedosovSV@mgsu.ru, fedosov-academic53@mail.ru);

V.E. RUMYANTSEVA², Doctor of Sciences (Engineering), Adviser of RAACS (varrym@gmail.com),

I.V. KRASILNIKOV², Candidate of Sciences (Engineering) (korasb@mail.ru); I.A. KRASILNIKOVA³, Engineer (irinanebukina@rambler.ru)

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

² Ivanovo State Polytechnical University (21, Sheremetevsky Avenue, Ivanovo, 153000, Russian Federation)

³ Vladimir State University named after Alexander and Nikolai Stoletovs (87, Gorkogo Street, Vladimir, 600000, Russian Federation)

Mathematical Modeling of Mass Transfer in the “Cement Concrete—Liquid Medium” System, Limited by the Internal Diffusion of the Transferred Component at Liquid Corrosion of the First Type

The relevance of new scientific research aimed at modeling the physico-chemical processes occurring in cement concretes during their operation is substantiated. The main types of concrete corrosion are described. The task of mass transfer processes occurring in a flat reinforced concrete wall at liquid corrosion of concrete of the first type is mathematically formulated. The mathematical problem of mass transfer in a dimensionless form and in the field of Laplace images is presented. The obtained solutions of the problem for large and small values of the Fourier mass transfer number are presented, describing the dimensionless concentrations of the transferred component over the thickness of concrete, making it possible to calculate the dynamics of the process.

Keywords: cement concrete, calcium hydroxide concentration, corrosion, mass transfer, liquid medium, mass conductivity, diffusion, similarity criteria.

For citation: Fedosov S.V., Rumyantseva V.E., Krasilnikov I.V., Krasilnikova I.A. Mathematical modeling of mass transfer in the “cement concrete—liquid medium” system, limited by the internal diffusion of the transferred component at liquid corrosion of the first type. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2021. No. 7, pp. 4–9. (In Russian).

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-793-7-4-9>

Бетон — строительный материал, известный человеку еще из глубины веков на рубеже III—IV тыс. лет до н. э., стремительно ворвался в XIX столетие и затем современниками был назван строительным материалом XX в. И в XXI в. он остается наиболее востребованным материалом для возведения уникальных сооружений и типовых зданий промышленного и гражданского назначения [1].

Вместе с тем как синтетический композит, созданный руками человека, бетон (железобетон) оста-

ется предметом пристального внимания исследователей. И наравне с вопросами решения технологических проблем создания и жизненного цикла эксплуатации железобетонных конструкций внимание исследователей сохраняется к проблеме долговечности бетонов. Проведение подобных исследований позволит сберечь уникальные сооружения для потомков, обеспечить безопасность жизнедеятельности человека, а также экономить для народного хозяйства большое количество денежных средств.

Прогнозирование долговечности конструкции – весьма сложный аналитический процесс, требующий многообразных системных знаний ряда наук: физической химии, электрохимии, термодинамики, теории и кинетики гетерогенных химических процессов, массопереноса в капиллярно-пористых телах [2].

За 150 лет исследований процессов коррозионной деструкции бетона учеными накоплен большой объем научных знаний о коррозионных процессах, протекающих в бетонах и железобетонах: установлены и исследованы принципиальные схемы химических реакций; даны математические описания некоторых коррозионных процессов; создана система нормативных документов по борьбе с коррозией в строительном комплексе.

Накопленный теоретический и практический материал дает возможность описывать процессы, происходящие при коррозии бетона, в форме математических моделей, которые позволяют с требуемой точностью рассчитывать долговечность бетонных и железобетонных конструкций.

По классификации, предложенной профессором В.М. Москвиным [3], коррозионное воздействие любых сред на бетоны подразделяют на три основных вида:

– к коррозии первого вида относят процессы, возникающие в бетоне при воздействии на него вод с малой жесткостью, когда составные части цементного камня растворяются, вымываются и уносятся перемещающейся водной средой;

– к коррозии второго вида относят процессы, которые развиваются в бетоне при воздействии на него жидких сред, содержащих химические вещества, вступающие в обменные реакции с составными частями цементного камня, с образованием продуктов легко растворимых водой, либо аморфных, не обладающих вяжущей способностью массы в зоне реакции;

– к коррозии третьего вида относят все процессы коррозии бетона под действием жидких агрессивных сред, при развитии которых в порах, капиллярах и других пустотах бетона происходит накопление малорастворимых солей, их кристаллизация вызывает возникновение значительных усилий в стенках структуры цементного камня, ограничивающих рост кристаллических образований.

Следует заметить, что в естественных условиях редко встречается коррозия того или иного вида обособленно от остальных, но обычно наблюдается преобладание какого-либо одного вида и всегда можно проследить, и учесть роль второстепенных для данного случая видов коррозии.

Известно, что за стабильность существования высокоосновных соединений бетона (алита, белита, трехкальциевого алюмината, четырехкальциевого алюмоферрита) отвечает свободный гидроксид кальция, содержащийся в порах бетона. Именно свободный гидроксид кальция определяет массоперенос в системе цементный бетон–жидкая среда, изменения содержания которого в теле бетона приводят к кор-

розии первого вида [4], а в конечном итоге – к негативным необратимым последствиям для долговечности конструкций. Ранее авторами были опубликованы работы по теоретическому исследованию процессов массопереноса при коррозии первого вида цементных бетонов, описывающие процесс на начальной стадии [5], учитывающие наличие внутреннего источника массы свободного гидроксида кальция [6] и нелинейность кривой равновесия [7]. Приведенные в работах [5–7] математические модели основаны на теории массопереноса академика А.В. Лыкова [8].

Моделируемая система схематично представлена на рис. 1, где также представлены характерные профили концентраций переносимого компонента в бетоне (динамика массопереноса в твердой фазе).

Диффузия свободного гидроксида кальция в твердой фазе бетона – достаточно медленный процесс, поэтому и коррозионные явления развиваются в бетоне годами, а порой и десятилетиями.

Тем не менее на определенной стадии развития коррозии наступает момент, когда концентрация переносимого компонента на границе с агрессивной средой становится равной нулю. При этом задача массопереноса из диффузионно-кинетической, контролируемой внешней, внутренней диффузиями и химической кинетикой, переходит в задачу массопереноса, контролируемого только внутренней диффузией и химической кинетикой.

По теории массопереноса академика А.В. Лыкова [5, 6], в общем случае для коррозии первого и второго видов диффузия гидроксида кальция в пористой структуре бетона описывается нелинейным дифференциальным уравнением массопроводности второго порядка.

При массопереносе целевого компонента, контролируемого только внутренней диффузией, подразумевается, что на границе конструкции с агрессивной средой установилось равновесие жидкой и твердой фаз, а следовательно, при решении задач необходимо применять граничные условия первого рода.

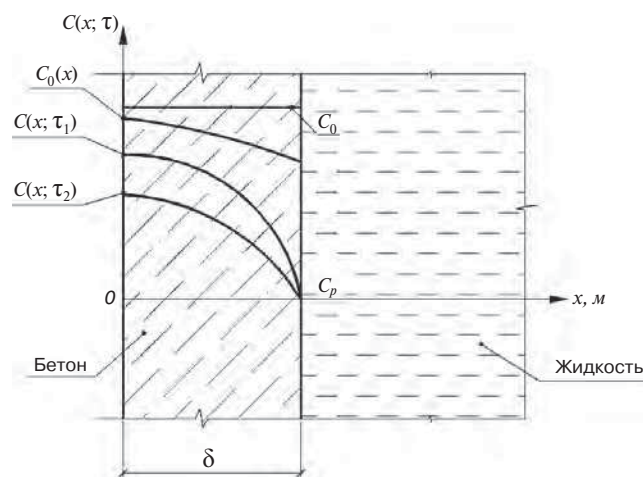


Рис. 1. Иллюстрация к постановке задачи
Fig. 1. Illustration to the problem statement

Краевая задача массопереноса с начальными и граничными условиями для неограниченной пластины, моделью которой может быть представлена бетонная (железобетонная) конструкция в соответствии с рис. 1, может быть записана следующим образом:

$$\frac{\partial C(x, \tau)}{\partial \tau} = k \frac{\partial^2 C(x, \tau)}{\partial x^2}, \tau > 0, 0 \leq x \leq \delta; \quad (1)$$

$$C(x, 0) = C_0(x); \quad (2)$$

$$\frac{\partial C(0, \tau)}{\partial x} = 0; \quad (3)$$

$$C(\delta, \tau) = C_p, \quad (4)$$

где k – коэффициент массопроводности (диффузии), m^2/c ; $C(x, \tau)$ – концентрация свободного гидроксида кальция в бетоне в момент времени τ в произвольной точке с координатой x , в пересчете на оксид кальция, кг СаО/кг бетона; $C_0(x)$ – распределение концентраций переносимого компонента в начальный момент времени; C_p – равновесная концентрация.

Условие (2) говорит о том, что в момент времени, принимаемый за начало расчета, концентрация переносимого компонента (гидроксида кальция) распределена по толщине конструкции по математической зависимости.

Условие (3), называемое условием непроницаемости, показывает отсутствие массопотока через границу конструкции, контактирующей с окружающей средой с левой стороны неограниченной пластины.

Условие (4) отражает тот факт, что в месте правой границы конструкции, соприкасающейся с агрессивной средой, установилось равновесие жидкой и твердой фаз. В частном случае это значение может быть принято равным нулю.

Для упрощения решений введем безразмерные переменные и критерии подобия, удобные для качественного анализа процессов коррозии:

$$C(\bar{x}, Fo_m) = \frac{C_0 - C(x, \tau)}{C_0 - C_p}; \quad \bar{x} = \frac{x}{\delta}; \quad Fo_m = \frac{k\tau}{\delta^2}. \quad (5)$$

Приведем систему уравнений (1) – (4) к безразмерному виду:

$$\frac{\partial C(\bar{x}, Fo_m)}{\partial Fo_m} = \frac{\partial^2 C(\bar{x}, Fo_m)}{\partial \bar{x}^2}; \quad Fo_m > 0; \quad 0 \leq \bar{x} \leq 1. \quad (6)$$

$$\text{Начальное условие: } C(\bar{x}, 0) = C_0(\bar{x}). \quad (7)$$

$$\text{Граничные условия: } \frac{\partial C(0, Fo_m)}{\partial \bar{x}} = 0; \quad (8)$$

$$C(1, Fo_m) = 1. \quad (9)$$

Решение системы уравнений (6)–(9) проведено методом интегрального преобразования Лапласа. Суть метода решения краевых задач с помощью интегрального преобразования Лапласа заключается в отображении исходного дифференциального уравнения и краевых условий в комплексную область, в выполнении математических операций для получе-

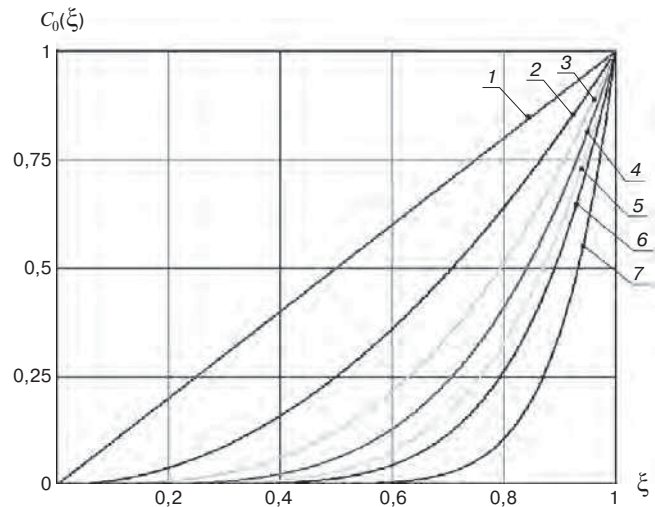


Рис. 2. Иллюстрация степенной зависимости вида ξ^n при различных показателях степени n : 1 – 1; 2 – 2; 3 – 3; 4 – 4; 5 – 5; 6 – 6; 7 – 10
 Fig. 2. Illustration of the power dependence of the form ξ^n for different exponents of degree n : 1 – 1; 2 – 2; 3 – 3; 4 – 4; 5 – 5; 6 – 6; 7 – 10

ния решения в области изображений и последующего перевода изображения в область оригиналов. Проведем прямое преобразование Лапласа по временной переменной для уравнения (6):

$$\frac{d^2 C(\bar{x}, s)}{d\bar{x}^2} - s \cdot C(\bar{x}, s) + C_0(\bar{x}) = 0. \quad (10)$$

И для граничных условий:

$$\frac{dC(0, s)}{d\bar{x}} = 0; \quad (11)$$

$$C(1, s) = \frac{1}{s}. \quad (12)$$

С учетом изложенного решение искомой краевой задачи в области изображений по Лапласу запишется следующим образом:

$$C(\bar{x}, s) = A \cdot ch(\sqrt{s}\bar{x}) + B \cdot sh(\sqrt{s}\bar{x}) - \frac{1}{\sqrt{s}} \int_0^{\bar{x}} C_0(\xi) sh[\sqrt{s}(\bar{x} - \xi)] d\xi. \quad (13)$$

Определив константы интегрирования A и B , запишем окончательное решение:

$$C(\bar{x}, s) = \frac{ch(\sqrt{s}\bar{x})}{s \cdot ch(\sqrt{s})} + \frac{ch(\sqrt{s}\bar{x})}{\sqrt{s} \cdot ch(\sqrt{s})} \int_0^1 C_0(\xi) sh[\sqrt{s}(1 - \xi)] d\xi - \frac{1}{\sqrt{s}} \int_0^{\bar{x}} C_0(\xi) sh[\sqrt{s}(\bar{x} - \xi)] d\xi. \quad (14)$$

Для возвращения в область оригиналов по временной переменной обратим внимание на то, что в соответствии с формулой обратного преобразования Лапласа [9] известно, что для множества корней, определенных рядом, необходимо рассмотреть характеристическое уравнение. Характеристическим уравнением для поиска корней в данном случае будет уравнение:

$$ch(\sqrt{s}) = 0, \text{ или } \cos(i\sqrt{s}) = 0, \quad (15)$$

где корни определяются формулой:

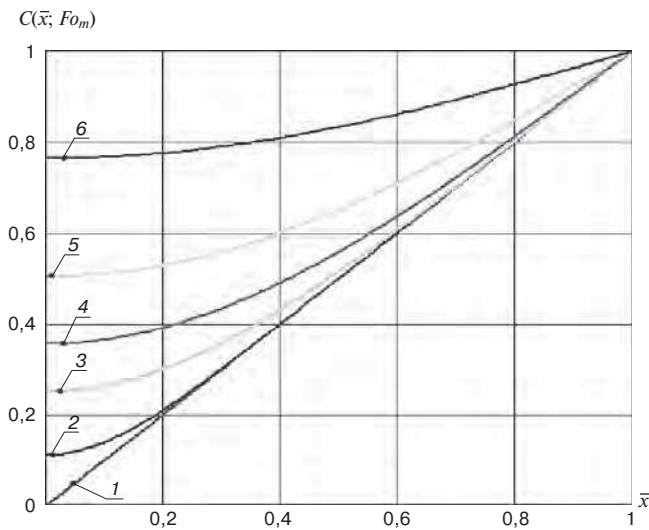


Рис. 3. Профили безразмерных концентраций по толщине конструкции при начальном распределении концентрации целевого компонента в виде зависимости $C_0(\xi) = \xi^1$ и при Fo_m , равной: 1 – 0; 2 – 0,01; 3 – 0,05; 4 – 0,1; 5 – 0,2; 6 – 0,5

Fig. 3. Profiles of dimensionless concentrations on the thickness of the structure at the initial distribution of the concentration of the target component in the form of the dependence $C_0(\xi) = \xi^1$ and at Fo_m equal to: 1 – 0; 2 – 0.01; 3 – 0.05; 4 – 0.1; 5 – 0.2; 6 – 0.5

$$\mu_m = \frac{\pi}{2}(2m-1). \quad (16)$$

С учетом характеристического уравнения после несложных преобразований выражению (5) может быть придан следующий вид:

$$C(\bar{x}, Fo_m) = 1 - \frac{4}{\pi} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{(-1)^{m+1}}{(2m-1)} \cos\left[\frac{\pi}{2}(2m-1)\bar{x}\right] \exp\left[-\frac{\pi^2}{4}(2m-1)^2 Fo_m\right] + 2 \sum_{m=1}^{\infty} \cos\left[\frac{\pi}{2}(2m-1)\bar{x}\right] \int_0^1 C_0(\xi) \cos\left[\frac{\pi}{2}(2m-1)\xi\right] d\xi \times \exp\left[-\frac{\pi^2}{4}(2m-1)^2 Fo_m\right] + 2 \int_0^1 C_0(\xi)(1-\xi) d\xi. \quad (17)$$

Из анализа решения (17) видно, что оно представляет сходящийся ряд, т. е. алгебраическую сумму косинусоид с постепенно затухающими амплитудами. Циклическая частота таких косинусоид увеличивается с увеличением m , так как она равна $(2m-1)/4$. Кроме того, при расчете профилей концентраций по выражению (17) распределение профиля целевого компонента в начальный момент времени может быть описано абсолютно любой математической функцией. В качестве примера возможностей расчета продемонстрируем результаты проведенного численного эксперимента, при котором начальное распределение принималось по степенной зависимости: $C_0(\xi) = \xi^n$. Изменение графика степенной функции при различных показателях степени показано на рис. 2. Результаты расчетов при показателях степени 1, 2 и 10 представлены на рис. 3–5.

Рассчитанные в ходе численного эксперимента графические зависимости согласуются с физическими представлениями о процессе коррозионного массопереноса по механизму первого вида [10, 11].

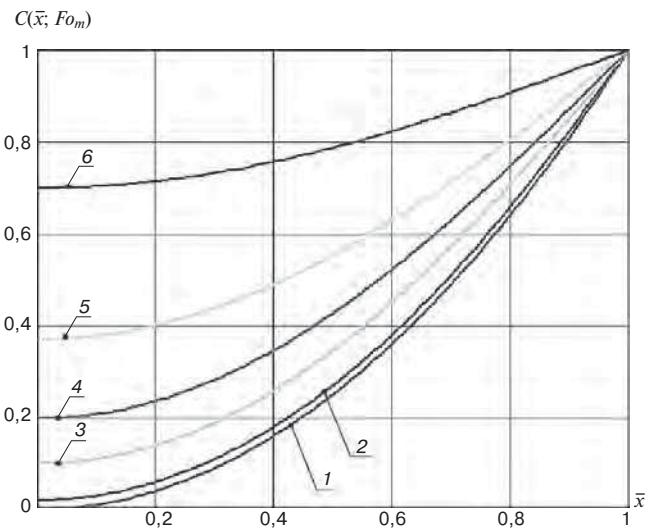


Рис. 4. Профили безразмерных концентраций по толщине конструкции при начальном распределении концентрации целевого компонента в виде зависимости $C_0(\xi) = \xi^2$ и при Fo_m , равной: 1 – 0; 2 – 0,01; 3 – 0,05; 4 – 0,1; 5 – 0,2; 6 – 0,5

Fig. 4. Profiles of dimensionless concentrations on the thickness of the structure at the initial distribution of the concentration of the target component in the form of the dependence $C_0(\xi) = \xi^2$ and at Fo_m equal to: 1 – 0; 2 – 0.01; 3 – 0.05; 4 – 0.1; 5 – 0.2; 6 – 0.5

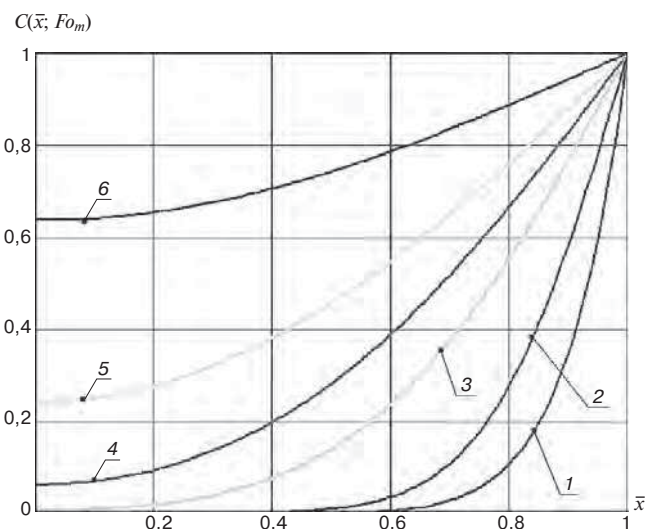


Рис. 5. Профили безразмерных концентраций по толщине конструкции при начальном распределении концентрации целевого компонента в виде зависимости $C_0(\xi) = \xi^{10}$ и при Fo_m , равной: 1 – 0; 2 – 0,01; 3 – 0,05; 4 – 0,1; 5 – 0,2; 6 – 0,5

Fig. 5. Profiles of dimensionless concentrations on the thickness of the structure at the initial distribution of the concentration of the target component in the form of the dependence $C_0(\xi) = \xi^{10}$ and at Fo_m equal to: 1 – 0; 2 – 0.01; 3 – 0.05; 4 – 0.1; 5 – 0.2; 6 – 0.5

Мерой интенсивности массообменных процессов является массообменный критерий Фурье – Fo_m (5), а если более точно, то числитель этого критерия – произведение $k \cdot \tau$. Чем более интенсивен процесс и мало время его реализации или медленнее протекает массоперенос в твердой фазе, тем меньше $k \cdot \tau$ и меньше значение критерия Fo_m .

Академик А.В. Лыков показал [12], что при значениях $Fo_m < 0,1$ целесообразнее получение приближенных решений, точность которых, кстати, возрастает с уменьшением Fo_m , а неоспоримым преимуще-

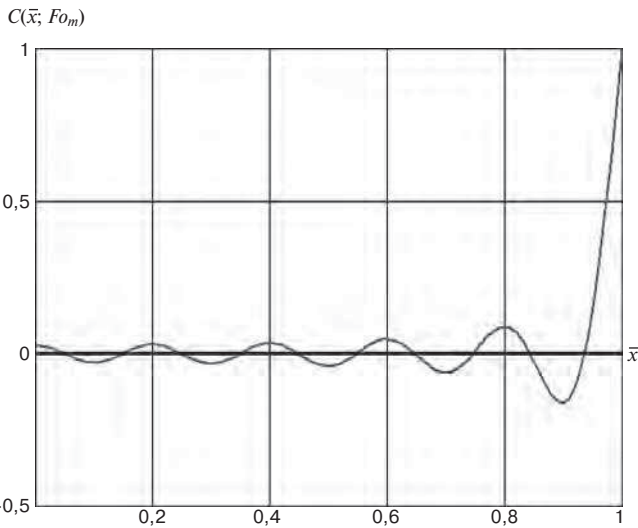


Рис. 6. Профиль безразмерных концентраций $C(\bar{x}, Fo_m)$ по толщине бетонной конструкции при числе Фурье $Fo_m=0,0001$
Fig. 6. Profile of dimensionless concentrations $C(\bar{x}, Fo_m)$ on the thickness of the concrete structure at the Fourier number $Fo_m=0,0001$

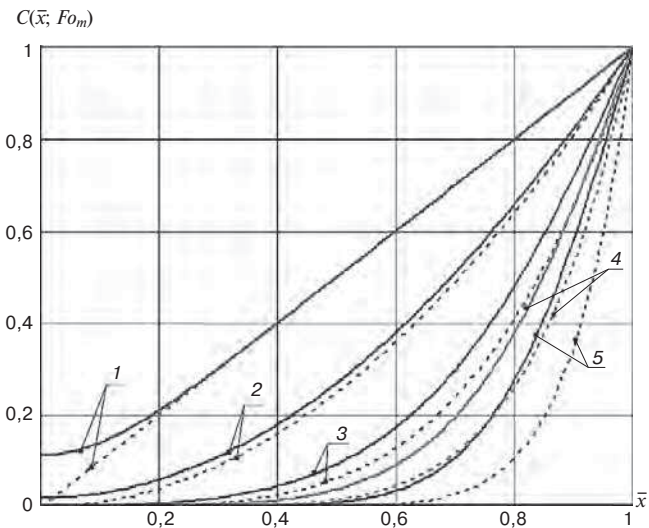


Рис. 7. Профили безразмерных концентраций по толщине конструкции при $Fo_m=0,01$ (сплошные линии) и начальном распределении концентраций целевого компонента (пунктирные линии) в виде зависимости $C_0(\xi) = \xi^n$; n равно: 1 – 1; 2 – 2; 3 – 4; 4 – 6; 5 – 10
Fig. 7. Profiles of dimensionless concentrations on the thickness of the structure at $Fo_m=0.01$ (solid lines) and the initial distribution of the concentration of the target component (dashed lines) in the form of the dependence $C_0(\xi) = \xi^n$; n is equal to: 1 – 1; 2 – 2; 3 – 4; 4 – 6; 5 – 10

ством является отсутствие необходимости поиска корней характеристического уравнения. Наглядно продемонстрируем плохую сходимость на полученном решении (17), для этого выполним расчет при значении массообменного числа Фурье $Fo_m=0,0001$. На рис. 6. видно, что концентрация изменяется по толщине стенки конструкции волнообразно, это явно противоречит физической картине процесса, а

Список литературы

1. Николаев С.В., Травуш В.И., Табунщиков Ю.А., Колубков А.Н., Соломанидин Г.Г., Магай А.А., Дубынин Н.В. Нормативная база высотного стро-

также заданным начальным и граничным условиям [13].

Обратимся к решению краевой задачи (6)–(9) в области изображений (14). Из теории функций комплексного переменного известно, что при $Fo_m \rightarrow 0$ величина s , равно как и \sqrt{s} , стремится к бесконечно большим значениям. Для этого случая справедливо записать:

$$ch(\sqrt{s}x) = \frac{1}{2}(e^{\sqrt{s}x} + e^{-\sqrt{s}x}); \quad (18)$$

$$s \cdot ch(\sqrt{s}) = s \cdot \frac{1}{2}(e^{\sqrt{s}} + e^{-\sqrt{s}}); \quad (19)$$

$$sh(\sqrt{s}x) = \frac{1}{2}(e^{\sqrt{s}x} - e^{-\sqrt{s}x}). \quad (20)$$

Учитывая, что величина $e^{-\sqrt{s}}|_{s \rightarrow \infty}$ практически превращается в ноль, и проведя возвращение полученного решения в оригиналы по правилам:

$$L^{-1}\left[\frac{1}{s}e^{-K\sqrt{s}}\right] \Rightarrow 1 - \operatorname{erf} \frac{K}{2\sqrt{Fo_m}} = \operatorname{erfc} \frac{K}{2\sqrt{Fo_m}}; \quad (21)$$

$$L^{-1}\left[\frac{1}{\sqrt{s}}\exp(-K\sqrt{s})\right] \Rightarrow \frac{1}{\sqrt{\pi Fo_m}}\exp\left[-\frac{K^2}{4Fo_m}\right], \quad (22)$$

получили решение краевой задачи (5) – (8) в безразмерных координатах при малых значениях массообменного числа Фурье ($Fo_m < 0,1$):

$$C(\bar{x}, Fo_m) = \operatorname{erfc}\left(\frac{1-\bar{x}}{2\sqrt{Fo_m}}\right) + \operatorname{erfc}\left(\frac{1+\bar{x}}{2\sqrt{Fo_m}}\right) + \frac{1}{2\sqrt{\pi Fo_m}} \int_0^1 C_0(\xi) \left\{ \exp\left[-\frac{(\xi-\bar{x})^2}{4Fo_m}\right] + \exp\left[-\frac{(\bar{x}+\xi)^2}{4Fo_m}\right] - \exp\left[-\frac{(2-\bar{x}-\xi)^2}{4Fo_m}\right] - \exp\left[-\frac{(2+\bar{x}-\xi)^2}{4Fo_m}\right] \right\} d\xi. \quad (23)$$

Влияние математической зависимости, описывающей начальное распределение концентраций переносимого компонента, на профили концентраций при малых значениях массообменного числа Фурье ($Fo_m=0,01$) продемонстрировано на рис. 7.

Полученные в ходе численного эксперимента графические зависимости хорошо согласуются с физическими представлениями о процессе коррозионно-массопереноса по механизму первого вида. Заметим также, что указанные расчеты не только качественных, но и количественных характеристик процессов возможны только при имеющейся информации о динамике и кинетике изучаемых явлений, полученной на базе обширных экспериментальных исследований, и это будет предметом дальнейшего изучения.

References

1. Nikolaev S.V., Travush V.I., Tabunshchikov Yu.A., Kolubkov A.N., Solomanidin G.G., Magai A.A., Dubynin N.V. Regulatory framework for high-rise

- ительства в России // *Жилищное строительство*. 2016. № 1–2. С. 3–7.
2. Степанова В.Ф., Розенталь Н.К. Защита от коррозии в условиях дефицита финансирования науки // *Строительная газета*. 2013. № 19 (10238). С. 1–3.
 3. Москвин В.М. Коррозия бетона. М.: Госстройиздат, 1952. 344 с.
 4. Мchedlov-Petrosyan O.P. Химия неорганических строительных материалов. М.: Стройиздат, 1988. 303 с.
 5. Федосов С.В., Румянцева В.Е., Красильников И.В., Касьяненко Н.С. Нестационарный массоперенос в процессах коррозии второго вида цементных бетонов. Малые значения чисел Фурье с внутренним источником массы // *Известия высших учебных заведений. Сер.: Химия и химическая технология*. 2015. Т. 58. № 1. С. 97–99.
 6. Федосов С.В., Румянцева В.Е., Красильников И.В., Касьяненко Н.С. Теоретические и экспериментальные исследования процессов коррозии первого вида цементных бетонов при наличии внутреннего источника массы // *Строительные материалы*. 2013. № 6. С. 44–47.
 7. Федосов С.В., Румянцева В.Е., Красильников И.В., Касьяненко Н.С. Моделирование массопереноса в процессах коррозии первого вида цементных бетонов в системе «жидкость–резервуар» при наличии внутреннего источника массы в твердой фазе // *Вестник гражданских инженеров*. 2013. № 2 (37). С. 65–70.
 8. Лыков А.В. Явления переноса в капиллярно-пористых телах. М.: Гостехиздат, 1954. 296 с.
 9. Федосов С.В. Тепло-массоперенос в технологических процессах строительной индустрии. Иваново: ИПК ПресСто, 2010. 364 с.
 10. Fedosov S.V., Romyantseva V.E., Krasilnikov I.V., Konovalova V.S. Physical and mathematical modelling of the mass transfer process in heterogeneous systems under corrosion destruction of reinforced concrete structures. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018. 012039. DOI: 10.1088/1757-899X/456/1/012039
 11. Федосов С.В., Румянцева В.Е., Красильников И.В., Логинова С.А. Исследование влияния процессов массопереноса на надежность и долговечность железобетонных конструкций, эксплуатируемых в жидких агрессивных средах // *Строительные материалы*. 2017. № 12. С. 52–57.
 12. Лыков А.В. Теория теплопроводности. М.: Высшая школа, 1967. 600 с.
 13. Федосов С.В., Румянцева В.Е., Красильников И.В., Федосова Н.Л. Исследование диффузионных процессов массопереноса при жидкостной коррозии первого вида цементных бетонов // *Известия высших учебных заведений. Сер.: Химия и химическая технология*. 2015. Т. 58. № 1. С. 99–104.
 - construction in Russia. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2016. No. 1–2, pp. 3–7. (In Russian).
 2. Stepanova V.F., Rozental' N.K. Corrosion protection in the face of a shortage of science funding. *Stroitel'naya gazeta*. 2013. No. 19 (10238), pp. 1–3. (In Russian).
 3. Moskvin V.M. Korroziya betona [Corrosion of concrete]. Moscow: Gosstroyizdat. 1952. 344 p.
 4. Mchedlov-Petrosyan O.P. Khimiya neorganicheskikh stroitel'nykh materialov [Chemistry of inorganic building materials]. Moscow: Sroyizdat. 1988. 303 p.
 5. Fedosov S.V., Romyantseva V.E., Krasilnikov I.V., Kas'yanenko N.S. Non-stationary mass transfer in the corrosion processes of the second type of cement concrete. Small values of Fourier numbers, with internal mass source. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Seriya: Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya*. 2015. Vol. 58. No. 1, pp. 97–99. (In Russian).
 6. Fedosov S.V., Romyantseva V.E., Krasilnikov I.V., Kasianenko N.S. Theoretical and experimental studies of processes of corrosion of the first kind of cement concretes in the presence of inner source of mass. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 6, pp. 44–47. (In Russian).
 7. Fedosov S.V., Romyantseva V.E., Krasilnikov I.V., Kasianenko N.S. Modeling of mass transfer in corrosion processes of the first type of cement concrete in the system “liquid-tank” in the presence of an internal source of mass in the solid phase. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*. 2013. No. 2 (37), pp. 65–70. (In Russian).
 8. Lykov A.V. Yavleniya perenosa v kapillyarno-poristykh telakh [Transfer phenomena in capillary-porous bodies]. Moscow: Gostekhizdat. 1954. 296 p.
 9. Fedosov S.V. Teplomassoperenos v tekhnologicheskikh protsessakh stroitel'noi industrii [Heat and mass transfer in technological processes of the construction industry]. Ivanovo: IPK PresSto. 2010. 364 p.
 10. Fedosov S.V., Romyantseva V.E., Krasilnikov I.V., Konovalova V.S. Physical and mathematical modelling of the mass transfer process in heterogeneous systems under corrosion destruction of reinforced concrete structures. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018. 012039. DOI: 10.1088/1757-899X/456/1/012039
 11. Fedosov S.V., Romyantseva V.E., Krasilnikov I.V., Loginova S.A. Study of effect of mass transfer processes on reliability and durability of reinforced concrete structures operating in liquid aggressive media. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 12, pp. 52–57. (In Russian).
 12. Lykov A.V. Teoriya teploprovodnosti [Thermal conductivity theory]. Moscow: Vysshaya shkola. 1967. 600 p.
 13. Fedosov S.V., Romyantseva V.E., Krasil'nikov I.V., Fedosova N.L. Investigation of diffusion mass transfer processes during liquid corrosion of the first type of cement concrete. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Seriya: Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya*. 2015. Vol. 58. No. 1, pp. 99–104. (In Russian).

Ю.И. ТИЛИНИН, канд. техн. наук (tilsp@inbox.ru),
Д.А. ЖИВОТОВ, канд. техн. наук (d.zhivotov@mail.ru)

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет
(190005, г. Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, 4)

Совершенствование рассредоточенного монолитного строительства на прибрежной территории

При поиске эффективных технологических и организационных решений строительства учитывается не только ресурсная, но и капитальная основа с учетом снижения оборотных средств и накладных расходов, необходимых для организации непрерывного строительного производства. Исходя из экономических предпосылок и проверенных строительных технологий возведения сооружений на акватории и жилых зданий на береговой территории авторами предложена монолитная технология, отличающаяся универсальностью, которая имеет ряд актуальных проблем. Главные проблемы повышения эффективности монолитного строительства заключаются в сокращении трудоемкости бетонных работ и снижении затрат на производство и доставку бетонной смеси на строительную площадку. Предлагается уменьшить трудоемкость бетонных работ путем совершенствования способа подачи бетонной смеси в опалубку монолитных конструкций. Совершенствование способа подачи бетонной смеси в опалубку осуществляется путем применения стационарного бетононасоса, шахтного подъемника, самоподъемной головки с установленной на нее распределительной стрелой. Снижение затрат на производство и доставку бетонной смеси на строительную площадку предлагается достигать рациональным размещением на обширной территории стройки бетонно-растворных узлов различной мощности, учитывая при этом размеры строительных объектов, дорожные условия и расстояния между объектами.

Ключевые слова: жилищное и портовое строительство, монолитная технология, подача бетонной смеси, распределительная стрела, бетоновод, бетононасос, шахтный подъемник, самоподъемная головка, бетонно-растворный узел.

Для цитирования: Тилинин Ю.И., Животов Д.А. Совершенствование рассредоточенного монолитного строительства на прибрежной территории // *Строительные материалы*. 2021. № 7. С. 10–17. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-793-7-10-17>

Yu.I. TILININ, Candidate of Science (Engineering) (tilsp@inbox.ru),

D.A. ZHIVOTOV, Candidate of Science (Engineering) (d.zhivotov@mail.ru)

Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (4, 2nd Krasnoarmeyskaya Street, Saint Petersburg, 190005, Russian Federation)

Improvement of Dispersed Monolithic Construction on the Coastal Territory

The article discusses the problem of searching for efficient technological and organizational solutions to the construction takes into account not only resource but also a capital-based view of reducing working capital and overheads necessary for the organization of continuous construction industry. Based on the economic prerequisites and proven construction technologies for the construction of structures in the water area and residential buildings on the coastal territory, the authors propose a monolithic technology that is versatile and has a number of urgent problems. The main problems of improving the efficiency of monolithic construction are to reduce the labor intensity of concrete work and to reduce the cost of producing and delivering concrete mix to the construction site. It is proposed to reduce the complexity of concrete work by improving the method of feeding concrete mixture into the formwork of monolithic structures. Improvement of the method for feeding concrete mixture into the formwork of monolithic structures is carried out by using a stationary concrete pump, a mine lift, a self-lifting head with a distribution boom installed on it. It is proposed to reduce the cost of production and delivery of concrete mix to the construction site by efficiently placing concrete and mortar units of various capacities on the vast territory of the construction site, taking into account the size of construction objects, road conditions and distances between objects.

Keywords: housing and port construction, monolithic technology, concrete mix supply, distribution boom, concrete pipeline, concrete pump, mine lift, self-lifting head, concrete and mortar unit.

For citation: Tilin Yu.I., Zhivotov D.A. Improvement of dispersed monolithic construction on the coastal territory. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2021. No. 7, pp. 10–17. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-793-7-10-17>

Рассматривая современные домостроительные технологии с учетом проведенных ранее исследований, авторы [1–3] пришли к выводу о применении монолитных железобетонных конструкций не только при строительстве зданий, но и при сооружении набережных и причалов прибрежной территории [4–6]. Весьма интересен опыт строительства жилых и общественных зданий на берегу Цемесской бухты Черного моря. Причалы и набережные устраивались путем возведения буронабивных свай и монолитных надводных конструкций в следующей последовательности:

- погружение обсадной трубы при помощи вибропогружателя через илистые отложения до скальной породы (рис. 1);
- крепление буровой установки на оголовки погруженной обсадной трубы и опускание внутрь обсадной трубы буровой колонны;
- в скальном основании выбуривание полости глубиной 12 м с извлечением буровой мелочи при помощи эрлифта;
- дополнительное погружение на 4 м обсадной трубы в пробуренную в скальной породе скважину;



Рис. 1. Погружение обсадной трубы вибропогружателем, подаваемым плавучим краном (<http://www.rla.com.ua/upload/catalog/5be44b37594006f131f58836366902be.pdf>)

Fig. 1. Submersion of the casing with a vibratory driver supplied by a floating crane (<http://www.rla.com.ua/upload/catalog/5be44b37594006f131f58836366902be.pdf>)

– в погруженную обсадную трубу после извлечения из нее грунта устанавливается арматурный каркас длиной до 50 м, массой до 20 т.

По завершении погружения стальной обсадной трубы вибропогружатель на ее оголовке заменяется на монтируемую буровую установку, внутрь трубы опускается буровая колонна, при помощи которой пробуривается скважина в скальном флише глубиной 12 м. Одновременно с бурением осуществляется эрлифт разбуренного грунта (рис. 2).

После окончательного погружения обсадной трубы приступают к монолитным железобетонным работам, выполняемым при устройстве буронабивных свай в неизвлекаемой обсадной трубе.

Вначале в полость скважины устанавливается арматурный каркас, который в зависимости от места погружения может в проектном положении составлять до 50 м.

Для бетонирования полости одной сваи методом вертикально перемещаемой трубы потребовалось около 90 м³ бетонной смеси марок В25 и В30 с пластифицирующими и замедляющими время схватывания добавками.

Строительство мола и причального фронта, а также жилых и общественных зданий береговой инфраструктуры порта обеспечивались бетонно-распорным узлом с производительностью 60 м³/ч бетонной смеси.

При устройстве монолитных свай в Цемесской бухте осуществлялись следующие технологические процессы:

- доставка бетонной смеси;
- подача смеси к устью скважины;
- укладка смеси в обсадную трубу сваи по вертикально перемещаемой бетонолитной трубе;
- уплотнение бетонной смеси.

Подача бетонной смеси в обсадную трубу может осуществляться автобетононасосом, непосредственно из автобетоносмесителя, а также бункером (бадией) при помощи стрелового крана.

Из монолитного железобетона выполняется и надводная часть мола с использованием сборно-разборной инвентарной щитовой опалубки, которая применяется и при строительстве жилых зданий. При сборке щитовой опалубки применяется строительный кран и выполняются следующие технологические операции:

- строповка и подача опалубочных щитов краном;
- установка щитов опалубки с частичным креплением;
- выверка опалубки;
- расстроповка опалубки;
- крепление опалубки распорками и подкосами.

При разборке щитовой опалубки работы выполняются в такой последовательности:

- строповка опалубочных щитов;
- демонтаж креплений опалубки;
- отделение щитов опалубки от бетонной поверхности возводимой конструкции;
- складирование опалубочных щитов с расстроповкой.



Рис. 2. Установка BUMA для бурения с эрлифтом в погруженной обсадной трубе (<https://koper.pro/drilling-rig-rcd/>)

Fig. 2. Rig BUMA for drilling with airlift in submerged casing (<https://koper.pro/drilling-rig-rcd/>)

В среднем на сборку и разборку 1 м² опалубки затрачивается ручного труда около 0,5 чел.-ч и времени работы крана около 0,26 маш.-ч [7, 8].

Применение монолитной технологии для строительства не только сооружений на акватории, но и гражданских зданий на береговой территории существенно сокращает номенклатуру строительных материалов, деталей и конструкций, применяемых при возведении объектов портовой и социальной инфраструктуры по сравнению со сборным строительством, что, в свою очередь, уменьшает не только производственные запасы на строительных объектах, но и размеры строительных площадок. Это ведет к уменьшению оборотных средств, задействованных в строительстве, и снижению накладных расходов, связанных с организацией строительства. В монолитном строительстве на возведение конструкций расходуется в основном арматурная сталь, закладные детали, бетонная смесь. На объекте хранятся главным образом арматура, закладные детали и опалубка в комплекте, что во много раз ниже по стоимости и меньше по площади хранения, чем сборный железобетон. Главные проблемы повышения эффективности монолитного строительства заключаются в сокращении трудоемкости бетонных работ и в снижении затрат на производство и доставку бетонной смеси на строительную площадку.

Предлагается уменьшить трудоемкость бетонных работ путем совершенствования способа подачи бетонной смеси в опалубку монолитных конструкций [7, 8].

Снижение затрат на производство и доставку бетонной смеси на строительную площадку предлагается достигать рациональным размещением на обширной территории стройки бетонно-растворных узлов различной мощности, учитывая при этом размеры строительных объектов, дорожные условия и расстояния между объектами.

Совершенствование способа подачи бетонной смеси в опалубку монолитных конструкций осуществляется с применением стационарного бетононасоса, шахтного подъемника, самоподъемной головки с установленной на ней распределительной стрелой [9, 10]. Большое разнообразие строительной техники, применяемой для подачи бетонной смеси в опалубку монолитных строительных конструкций, послужило основанием многокритериальной экспертной оценки технологических способов вертикального транспорта бетонной смеси.

В представленной работе предлагается новый способ строительства монолитных зданий, заключающийся в совершенствовании технологии, применяемой для возведения монолитных дымовых труб.

Отечественный строительный комплекс интенсивно осваивал зарубежные технологии подачи бе-

Результаты экспертной оценки подачи бетонной смеси строительным краном в бадре и распределительной стрелой на различных видах опор
The results of an expert assessment of the supply of concrete mixture by a construction crane in a bucket and a distribution boom on various types of supports

№ п/п	Критерий сравнительной оценки	Экспертная оценка критерия по шкале 10 баллов							
		Кран строительный		Распределительная стрела с различными видами опор					
		Стреловой	Башенный	Автомобиль	Рамная опора	Башенная трубчатая опора	Башенная решетчатая опора	Башенная решетчатая опора с одной или двумя консолями	Усовершенствованный кран с бетоноводом
1	Устойчивость к ветровой нагрузке и опрокидыванию	6	9	10	6	8	8	9	9
2	Мобильность (транспортабельность)	8	4	10	6	5	4	4	4
3	Высота подачи бетонной смеси	7	10	5	7	6	7	8	8
4	Самоподъемная функция опоры стрелы	7	10	7	4	7	7	8	8
5	Максимальный вылет удерживаемой стрелы	7	10	7	6	7	7	7	8
6	Выполнение смежной (грузоподъемной) функции с учетом высоты подъема груза	8	10	1	1	1	1	3	7
7	Наличие холостого хода	1	1	10	10	10	10	10	8
8	Необходимость перестановки краном	10	10	10	1	7	7	7	10
	Итого (универсальность)	54	64	60	41	51	51	56	62

тонной смеси в опалубку при строительстве монолитных и сборно-монолитных зданий. Однако большие достижения в области монолитного строительства высотных сооружений, таких как Останкинская телебашня, применяемые Министерством специального строительства СССР, незаслуженно забываются. Эти технологические процессы эффективны и вполне применимы в современной практике возведения не только сооружений, но и в монолитном домостроении при крупномасштабном жилищном строительстве рассредоточенных объектов портовой инфраструктуры на основе соответствующей научно-исследовательской доработки.

Широко распространено монолитное строительство 25-этажных зданий и выше в I–IV климатических районах, как в обычных условиях, так и в условиях повышенной сейсмической активности до 8 баллов. Возможно также строительство зданий высотой до 16 этажей и в районах с сейсмичностью до 9 баллов [9, 10].

Основным направлением повышения эффективности монолитного строительства наряду с управленческими и организационными инновациями [11] является совершенствование способов подачи бетонной смеси в опалубку монолитных конструкций возводимых монолитных и сборно-монолитных зданий.

Подача готовой бетонной смеси башенным краном является наиболее распространенным традиционным способом. Традиционный способ подачи бетонной смеси в опалубку заключается в перемещении бадьи или неповоротного бункера с бетонной смесью при помощи строительного крана [12]. Недостатком этого способа является низкая интенсивность бетонирования, составляющая около 27 м^3 бетонной смеси в смену.

Для интенсификации процесса монолитного строительства применяют кроме строительного крана бетононасосы и распределительные стрелы российского и зарубежного производства, устанавливаемые на различных опорах:

- на рамной опоре;
- на башенной трубчатой опоре;
- на башенной решетчатой опоре;
- на башенной решетчатой опоре с одной или двумя консолями [5].

На современном строительном рынке России применяются строительные машины немецкого, японского, китайского, российского и иного производства, что вполне соответствует зарубежному опыту строительства, в том числе применяемому при возведении монолитных зданий [6–9]. Поэтому актуальность настоящего исследования выходит за рамки национального строительного рынка.

С целью совершенствования технологического процесса вертикального транспортирования и распределения бетонной смеси в процессе подачи ее в опалубку авторами проведена многокритериальная экспертная оценка применения различных технических средств перекачки и подачи бадьями бетонной

смеси при бетонировании. Результаты экспертной оценки приведены в таблице.

Проводя анализ результатов экспертной оценки, авторы определили область применения способов подачи бетона в опалубку.

Технология подачи бетонной смеси в опалубку при помощи строительного крана, поднимающего смесь в бадьях или неповоротных бункерах, является наиболее универсальной при возведении монолитных фундаментов и особенно надземной части жилых зданий средней и повышенной этажности. Однако малая скорость (около 20 м/мин) и наличие холостого хода крюка крана снижают его производительность при подаче бетонной смеси на высоту более 40 м.

Перекачка бетонной смеси автобетононасосами, оборудованными распределительной стрелой, наиболее эффективна при высоте подачи до 40 м. Для подачи бетонной смеси на высоту более 40 м применяется стационарный бетононасос и распределительная стела с опорой в виде рамы, переставляемая башенным краном.

Выбор технических средств подачи бетонной смеси в реальных условиях строительства зависит от характеристик строительного объекта и строительной площадки [13, 14].

При выборе бетононасоса часто пользуются приблизительными расчетами, заключающимися в приведении всех вертикальных перемещений смеси к горизонтальному эквиваленту путем трехкратного увеличения суммы всех вертикальных участков бетоновода и прибавления к ним длин горизонтальных бетоноводов. Затем выбирается бетононасос с дальностью горизонтальной перекачки не ниже расчетной. По производительности бетононасос выбирают, ориентируясь на объем бетонирования; так, при объеме бетонирования до 1500 м^3 выбирают насос с производительностью $10 \text{ м}^3/\text{ч}$, при объеме от $1,6$ до 4 тыс. м^3 – $20 \text{ м}^3/\text{ч}$, а при объеме 10 тыс. м^3 – $40 \text{ м}^3/\text{ч}$ [15, 16].

Если увеличение срока строительства не приводит к существенному росту накладных расходов и укладывается в сроки контракта, то рекомендуется выбирать бетононасос со средними параметрами, руководствуясь более низкой ценой аренды.

В предшествующих работах авторы рассматривали вариант подачи бетонной смеси в опалубку с помощью усовершенствованного подъемного крана, оснащенного бетоноводами, но проблему составляет устройство горизонтального бетоновода стрелы крана. При решении этой проблемы целесообразно принять во внимание наработки в области создания бетоноводов строительных принтеров [16]. Эти наработки уже на современном этапе могут быть внедрены машиностроителями при создании многофункционального подъемного крана с элементами роботизации.

Авторы в настоящей работе рассмотрели в процессе анализа варианты технологии бетонирования с

использованием уже имеющихся реальных достижений, применяемых в практике строительства монолитных зданий.

Таким образом, методом экспертного сравнения способов подачи бетонной смеси в опалубку установлено:

- при строительстве монолитных зданий средней и повышенной этажности наиболее экономичны башенные краны;
- при подаче бетонной смеси на высоту до пяти этажей в стесненных условиях, по результатам экспертной оценки, является способ с использованием распределительных стрел, установленных на вертикальных опорах-вышках.

Однако на сегодняшний момент решение проблемы подачи бетонной смеси краном с бетоноводом технически неразрешимо и авторы предлагают новую технологию бетонирования: совместное применение распределительной стрелы на рамной опоре, стационарного бетононасоса и шахтного подъемника с подъемной головкой.

Для высотного строительства авторами предлагается усовершенствованный способ подачи бетонной смеси бетононасосом и распределительной стрелой, установленной на самоподъемной головке шахтного подъемника, применявшегося для строительства железобетонных дымовых труб и при строительстве Останкинской телевизионной башни в Москве.

В процессе работы для подъема на очередной этаж наращивается сборная решетчатая многоклеточная шахта. В одной из клеток шахты устраивается пассажирская клетка, а в другой – грузовая клетка для малогабаритных грузов.

Авторами предлагается установить распределительную стрелу на самоподъемную головку, перемещаемую по шахтному подъемнику с помощью подъемного механизма на очередной ярус (этаж). При строительстве зданий шахтный подъемник следует устанавливать в специально оставляемых проемах в междуэтажных перекрытиях или в лифтовой шахте строящегося здания (рис. 3). В одной из клеток шахтного подъемника прокладывается вертикально бетоновод, по которому поступает бетонная смесь от бетононасоса к распределительной стреле.

При возведении очередного этажа здания предусматривается такая последовательность работ:

- наращивание шахтного подъемника на высоту яруса, равного высоте этажа;
- перемещение по шахтному подъемнику самоподъемной головки на высоту этажа;

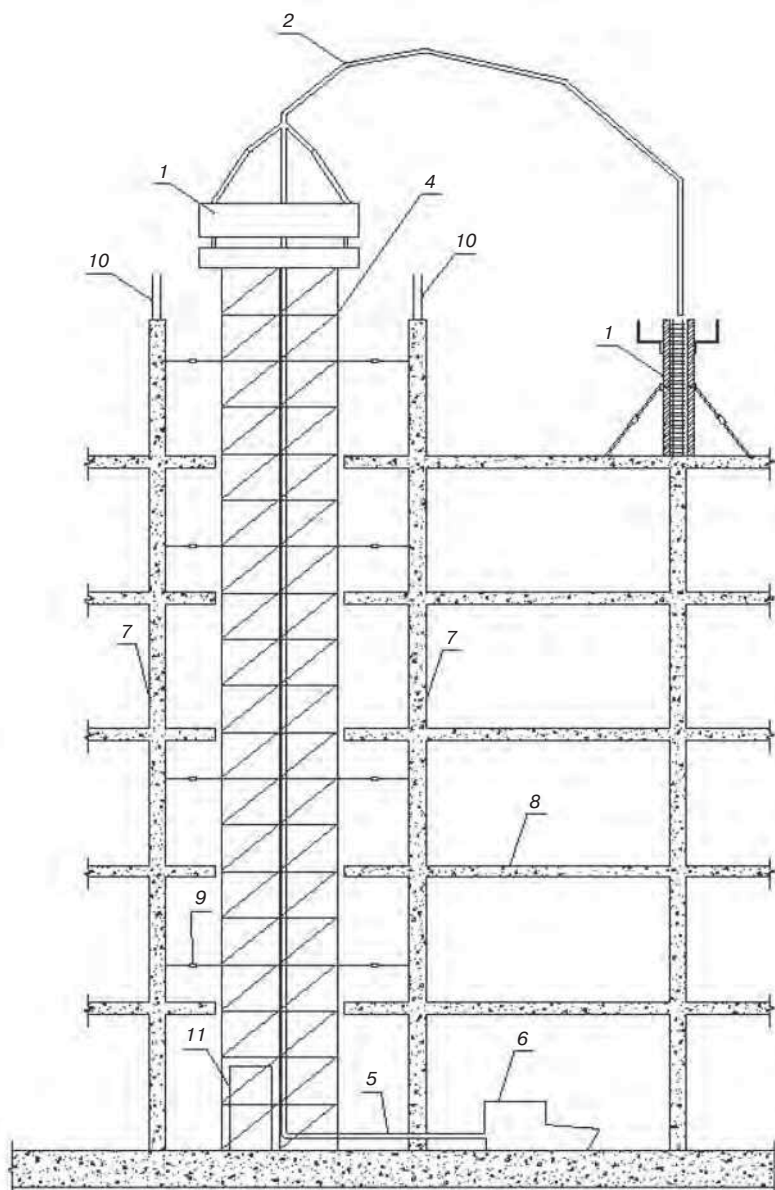


Рис. 3. Шахтный подъемник с самоподъемной головкой и распределительной стрелой при возведении монолитного высотного здания: 1 – самоподъемная головка; 2 – распределительная стрела; 3 – сборно-разборная щитовая опалубка стен; 4 – собираемый из трубчатых элементов многоклеточный шахтный подъемник; 5 – бетоновод; 6 – бетононасос; 7 – железобетонная монолитная стена; 8 – железобетонное монолитное перекрытие; 9 – натяжная муфта центрального троса; 10 – стержни вертикальной арматуры стен; 11 – клетка подъема людей и грузов

Fig. 3. A mine hoist with a self-lifting head and a distribution boom when erecting a monolithic high-rise building: 1 – self-lifting head; 2 – distribution boom; 3 – collapsible panel wall formwork; 4 – multicellular mine elevator assembled from tubular elements; 5 – concrete pipeline; 6 – concrete pump; 7 – reinforced concrete monolithic wall; 8 – reinforced concrete monolithic floor; 9 – tension clutch of the centering cable; 10 – bars of vertical wall reinforcement; 11 – cage for lifting people and goods

- наращивание вертикального бетоновода;
- подача бетонной смеси распределительной стрелой в установленную ранее опалубку междуэтажного перекрытия;
- технологический перерыв, уход за твердеющим бетоном;
- установка арматуры и опалубки стен;
- подача бетонной смеси в опалубку стен распределительной стрелой;
- технологический перерыв, уход за твердеющим бетоном.

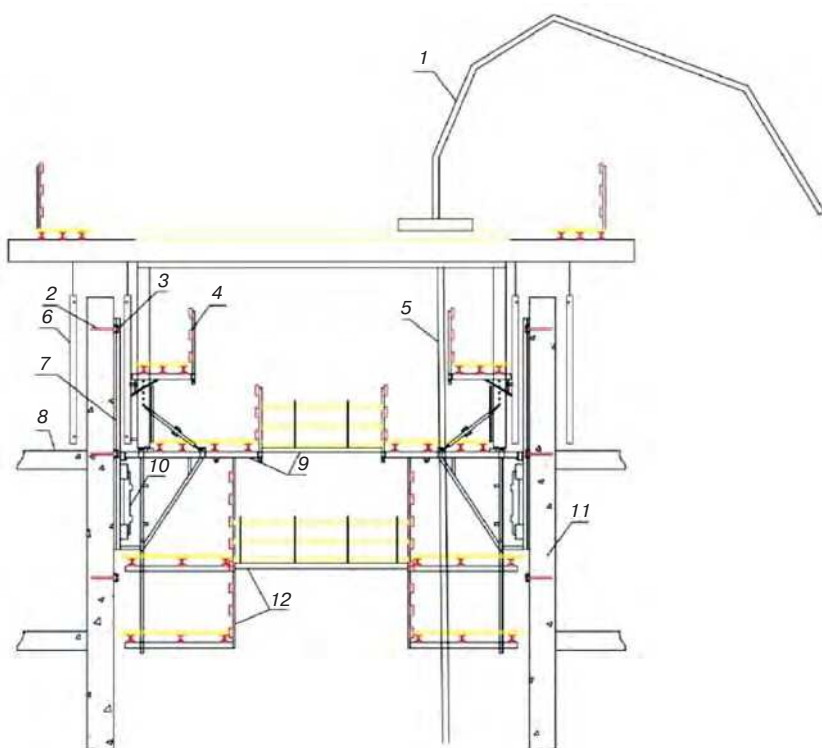


Рис. 4. Система самоподъемной опалубки с распределительной стрелой при возведении монолитного здания: 1 – распределительная стрела; 2 – крепежный анкер; 3 – навесной башмак с гравитационным механизмом; 4 – подмости для выполнения бетонных работ и вибрирования; 5 – бетоновод; 6 – щит опалубки; 7 – направляющая балка; 8 – железобетонное монолитное перекрытие; 9 – подмости рабочие; 10 – гидравлический домкрат; 11 – железобетонная монолитная стена; 12 – подмости нижние

Fig. 4. A self-climbing formwork system with a distribution boom during the erection of a monolithic building: 1 – a distribution boom; 2 – fastening anchor; 3 – a hinged shoe with a gravitational mechanism; 4 – scaffolding for concrete work and vibration; 5 – concrete pipeline; 6 – formwork board; 7 – guide beam; 8 – reinforced concrete monolithic floor; 9 – working scaffolds; 10 – hydraulic jack; 11 – reinforced concrete monolithic wall; 12 – lower scaffolding

При подаче бетонной смеси в опалубку выполняется уплотнение глубинным электрическим вибратором укладываемой бетонной смеси до появления на ровной поверхности смеси цементного молока.

При наращивании многоклеточного шахтного подъемника производится его центровка по специальному отвесу при помощи толстых тросов и натяжных муфт. Тонкий трос отвеса закреплен в центре верхней части шахтного подъемника. В плите фундамента забетонирован вертикальный стальной стержень для наведения на него отвеса. Вместо отвеса может применяться лазерный прибор.

Наиболее приемлем в монолитном строительстве зданий шахтный подъемник с ячейкой 900 мм. В двух ячейках размещаются пассажирская и грузовая клетки. Стойки изготавливаются из труб диаметром 60 мм с толщиной стенки 5,5 мм; ригели и раскосы шахтного подъемника изготавливают из труб диаметром 40 мм с толщиной стенки 4 мм.

Нарращивание шахтного подъемника выполняется путем монтажа стоек, ригелей, раскосов и направляющих для движения клеток с выверкой смонтированной части шахтного подъемника и окончательной затяжкой болтовых соединений. Внутри ячейки шахтного подъемника устанавливаются пе-

реходные площадки и навешиваются лестницы. Работа выполняется звеном трубокладов 5-го разряда (два человека) и 4-го разряда (1 человек). С учетом подачи сборных элементов к месту монтажа на сборку одного яруса шахтного подъемника затрачивается не более 2 ч.

Ориентируясь на технические характеристики имеющихся на рынке бетононасосов и распределительных стрел, авторы планируют достичь фактической сменной производительности по бетону не менее 800 м³ при горизонтальной подаче на расстояние не менее 50 м. Диаметр бетоновода предлагается стандартный 125 мм.

Также представляет интерес исследование опалубочных систем, применяемых для строительства монолитных многоэтажных зданий. В практике современного строительства в основном применяются:

- балочно-ригельная;
- крупнощитовая и мелкощитовая опалубка;
- модульная опалубка (разборно-переставная, блочная, подъемно-переставная, объемно-переставная, скользящая и горизонтально-перемещаемая опалубка).

В зарубежной практике применяются самоподъемные переставные опалубки, опирающиеся на возведенную монолитную конструкцию, перемещаемые вверх без строительного крана при помощи гидравлического привода.

Опалубка состоит из опалубочной формы, установленной по периметру стен возводимого здания или сооружения, и гидропривода опалубки, включающего в себя насосную станцию с электрическим пультом управления и гидроцилиндры, которые соединяются с насосной станцией комплектом гибких трубопроводов высокого давления. Подъемно-переставная опалубка с гидравлическим приводом показана на рис. 2. Опалубка перемещается вверх с помощью гидроцилиндров по вертикально закрепленным к стене направляющим, после подъема опалубки и ее расклинивания направляющие подтягиваются вверх.

Перед перестановкой опалубка отводится от набравшей прочность стены на 60 см, затем производится перестановка опалубки на очередной этаж и выполняется армирование, после армирования опалубка подводится к стене, фиксируется стяжными болтами и выверяется перед бетонированием. В среднем выполняется пять подъемов в месяц. Применение самоподъемной опалубки целесообразно при высоте

здания более 40 м, так как на монтаж и демонтаж оборудования в среднем затрачивается соответственно четыре и три недели.

При использовании самоподъемной опалубки нет затрат на монтаж шахтного подъемника, но теряется время около 3 сут на ожидание набора прочности монолитной конструкцией и имеются затраты времени на перестановку направляющих для очередного подъема опалубки.

Организационная проблема монолитного строительства заключается в рациональном размещении собственного бетонно-растворного комплекса на территории стройки, потому что своевременное и бесперебойное обеспечение ведущего процесса бетонирования смесью непосредственно влияет на продолжительность и непрерывность работ. Кроме того, необходимо сопоставлять затраты на создание и эксплуатацию бетонно-растворного комплекса с транспортными затратами по доставке смеси с бетонно-растворных узлов на строительные площадки возводимых объектов.

Обеспечение объектов стройки бетонной смесью рассредоточенными, приближенными к объектам менее мощными бетонными узлами снижает транспортные затраты на перевозку, но повышает капитальные затраты на создание и эксплуатационные расходы на содержание бетонно-растворного ком-

плекса. Большое значение в этом случае имеет размер и рассредоточенность строительных объектов по обширной территории строительства, а также дорожные условия территории строительства.

Бетонно-растворные узлы имеют производительность в среднем до 60 м³/ч бетонной смеси. Более мощные бетонные заводы имеют производительность приблизительно до 180 м³/ч бетонной смеси.

Таким образом, расчет мощности и размещение на местности относительно строительных объектов бетонно-растворных узлов стройки – важная организационная задача, влияющая на сроки и непрерывность строительного производства; выбор монолитной технологии работ для возведения строительных объектов продиктован эффективностью использования оборотных средств и обеспеченностью строительного рынка строительными машинами и опалубками для монолитного строительства. Совершенствование технологии возведения монолитных зданий с целью снижения трудоемкости работ за счет применения шахтного подъемника и самоподъемной головки является еще одним элементом в системе задач технологии и организации строительства комплекса объектов портовой и социальной инфраструктуры. В массовом жилищном строительстве наиболее эффективно по-прежнему панельное домостроение [5].

Список литературы

1. Рыбнов Е.И., Егоров А.Н., Хайдуцкий З., Гдимиян Н.Г. Организация и планирование работы производственных структур при крупномасштабном жилищном строительстве // *Вестник гражданских инженеров*. 2018. № 3 (68). С. 98–102. <https://doi.org/10.23968/1999-5571-2018-15-3-98-102>
2. Головина С.Г., Сокол Ю.В. К вопросу исследования совместной работы строительных материалов в наружных ограждающих конструкциях в бывших доходных домах исторического центра Санкт-Петербурга // *Вестник гражданских инженеров*. 2018. № 3 (68). С. 112–117. <https://doi.org/10.23968/1999-5571-2018-15-3-112-117>
3. Дьячкова О.Н., Тилинин Ю.И., Ратушин В.А. Рациональное применение домостроительных технологий // *Жилищное строительство*. 2020. № 1–2. С. 11–15. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2020-1-2-11-15>
4. Юдина А.Ф., Дьячкова О.Н. Анализ вариантов проектно-строительных решений жилых многоэтажных зданий (на примере Санкт-Петербурга) // *Вестник гражданских инженеров*. 2010. № 2 (23). С. 115–122.
5. Юмашева Е.И., Сапачева Л.В. Крупнопанельное домостроение остается самым быстрым и экономичным // *Жилищное строительство*. 2014. № 10. С. 3–10.

References

1. Rybnov E.I., Egorov A.N., Khaidutskiy Z., Gdimiyann N.G. Organization and planning of the work of industrial structures in large-scale housing construction. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*. 2018. No. 3 (68), pp. 98–102. (In Russian). <https://doi.org/10.23968/1999-5571-2018-15-3-98-102>
2. Golovina S.G., Sokol Yu.V. On the study of the joint work of building materials in external enclosing structures in the former apartment buildings of the historical center of St. Petersburg. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*. 2018. No. 3 (68), pp. 112–117. (In Russian). <https://doi.org/10.23968/1999-5571-2018-15-3-112-117>
3. Diachkova O.N., Tilinin Yu.I., Ratushin V.A. Rational application of house-building technologies. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2020. No. 1–2, pp. 11–15. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2020-1-2-11-15>
4. Yudina A.F., Diachkova O.N. Analysis of options for design and construction solutions for residential multi-storey buildings (on the example of St. Petersburg). *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*. 2010. No. 2 (23), pp. 115–122. (In Russian).
5. Yumasheva E.I., Sapacheva L.V. Large-panel housing construction remains the fastest and most economical. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2014. No. 10, pp. 3–10. (In Russian).

6. Евтюков С.А., Тилинин Ю.И., Щербakov А.П. К вопросу автоматизации процессов монолитного домостроения с учетом исследования конструкционных сталей в строительной робототехнике // *Вестник гражданских инженеров*. 2019. № 3 (74). С. 72–79. <https://doi.org/10.23968/1999-5571-2019-16-3-72-79>
7. Тилинин Ю.И., Юдина А.Ф. Влияние технологии устройства дренажных систем на консолидацию намывного песчаного массива // *Вестник гражданских инженеров*. 2018. № 6 (71). С. 62–67. <https://doi.org/10.23968/1999-5571-2018-15-6-62-67>
8. Гайдо А.Н., Верстов В.В. К вопросу определения технологических параметров производства свайных работ в стесненных условиях // *Вестник гражданских инженеров*. 2017. № 3 (62). С. 84–94. <https://doi.org/10.23968/1999-5571-2017-14-3-84-94>
9. Гайдо А.Н. Пути совершенствования технологических решений устройства свайных фундаментов жилых зданий в условиях городской застройки // *Жилищное строительство*. 2015. № 9. С. 12–15.
10. Тилинин Ю.И., Бахтинов С.А. Развитие организации и технологии крупнопанельного домостроения в условиях городского строительства. В сборнике: *Организация строительного производства. Материалы II Всероссийской научной конференции*. СПб., 2020. С. 85–93.
11. Yudina A. Enhancing technological processes in building construction and reconstruction by means of new technologies. *Asian Journal of Civil Engineering*. 2019. Vol. 20, pp. 727–732. <https://doi.org/10.1007/s42107-019-00139-9>
12. Yudina A. Non-reagent methods for the activation of concrete mix raw components in the construction industry // *Architecture and Engineering*. 2020. No. 5. Iss. 1, pp. 30–35. DOI: 10.23968/2500-0055-2020-5-1-30-35
13. Yudina A., Oganyan R. Technology of winter concreting of monolithic constructions with application of heating cable // *Architecture and Engineering*. 2017. Vol. 2. Iss. 2, pp. 43–48.
14. Кадыров А.С., Курмашева Б.К., Георгиади И.В. Экономико-математическое моделирование технологии строительства фундаментов способом «Стена в грунте» // *Вестник СибАДИ*. 2018. № 15 (2). С. 179–188. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2018-2-179-188>
15. Рыбнов Е.И., Егоров А.Н., Горовая Н.С. Развитие технологии контурного строительства // *Вестник гражданских инженеров*. 2018. № 2 (67). С. 135–140.
16. Колчеданцев Л.М., Васин А.П., Осипенкова И.Г., Ступакова О.Г. Технологические основы монолитного бетона. Зимнее бетонирование: Монография / Под ред. Л.М. Колчеданцева. СПб.: Лань, 2016. 280 с.
6. Evtuykov S.A., Tilinin Yu.I., Shcherbakov A.P. On the issue of automation of monolithic housing construction processes taking into account the study of structural steels in construction robotics. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*. 2019. No. 3 (74), pp. 72–79. (In Russian). <https://doi.org/10.23968/1999-5571-2019-16-3-72-79>
7. Tilinin Yu.I., Yudina A.F. Influence of the technology of the device of drainage systems on the consolidation of the alluvial sand massif. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*. 2018. No. 6 (71), pp. 62–67. (In Russian). <https://doi.org/10.23968/1999-5571-2018-15-6-62-67>
8. Gaido A.N., Verstov V.V. On the issue of determining the technological parameters of the production of pile works in cramped conditions. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*. 2017. No. 3 (62), pp. 84–94. (In Russian).
9. Gaydo A.N. Ways of improving technological solutions of construction of pile foundations of residential buildings under conditions of urban development. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2015. No. 9, pp. 12–15. (In Russian).
10. Tilinin Yu.I., Bakhtinov S.A. Development of the organization and technology of large-panel housing construction in the conditions of urban construction. *In the collection: Organization of construction production. Materials of the II All-Russian Scientific Conference*. St. Petersburg, 2020, pp. 85–93. (In Russian).
11. Yudina A. Enhancing technological processes in building construction and reconstruction by means of new technologies. *Asian Journal of Civil Engineering*. 2019. Vol. 20, pp. 727–732. <https://doi.org/10.1007/s42107-019-00139-9>
12. Yudina A. Non-reagent methods for the activation of concrete mix raw components in the construction industry. *Architecture and Engineering*. 2020. No. 5. Iss. 1, pp. 30–35. DOI: 10.23968/2500-0055-2020-5-1-30-35.
13. Yudina A., Oganyan R. Technology of winter concreting of monolithic constructions with application of heating cable. *Architecture and Engineering*. 2017. Vol. 2. Iss. 2, pp. 43–48.
14. Kadyrov A.S., Kurmasheva B.K., Georgiadi I.V. Economic-mathematical modeling of foundation construction technology by the “wall in the ground” method. *Vestnik SibADI*. 2018. No. 15 (2), pp. 179–188. (In Russian). <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2018-2-179-188>
15. Rybnov E.I., Egorov A.N., Gorovaya N.S. Development of contour construction technology. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*. 2018. No. 2 (67), pp. 135–140. (In Russian).
16. Kolchedantsev L.M., Vasin A.P., Osipenkova I.G., Stupakova O.G. Tekhnologicheskiye osnovy monolitnogo betona. *Zimneye betonirovaniye: Monografiya / Pod red. L.M. Kolchedantseva* [Technological foundations of monolithic concrete. Winter concreting: Monograph / Ed. by L.M. Kolchedantsev]. SPb.: Lan'. 2016. 280 p.

Strabag AG

**СОЗДАЕТ УСТОЙЧИВЫЕ ТОННЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УСТАНОВОК,
ИЗГОТОВЛЕННЫХ ПО ИНДИВИДУАЛЬНОМУ ЗАКАЗУ***

Strabag AG creates sustainable tunnel systems using installations made to individual order

Strabag AG – европейский технологический строительный концерн, реализующий сложные строительные проекты, выходящие далеко за рамки традиционного дорожного строительства. Группа компаний Strabag SE, в которую входит Strabag AG, насчитывает более девяноста лет работы на ведущих позициях на рынке дорожно-транспортного строительства. Ассортимент продукции и услуг компании охватывает все области строительной отрасли и всю цепочку создания стоимости в этом секторе. Компания Strabag AG представлена примерно в тридцати странах мира и с марта 2011 г. ведет активную деятельность в Великобритании в области высотного и гражданского строительства, тоннелестроения и специального подземного строительства. Компания продолжает диверсифицировать свою деятельность по развитию бизнеса, особенно в области тоннелестроения и инфраструктурного строительства.

Strabag AG is a European technological construction concern that implements complex construction projects that go far beyond traditional road construction. The Strabag SE Group of companies, which includes Strabag AG, has more than 90 years of experience in leading positions in the road transport construction market. The company's range of products and services covers all areas of the construction industry and the entire value chain in this sector. Strabag AG is represented in about 30 countries around the world and since March 2011 has been active in the UK in the field of high-rise and civil construction, tunnel construction and special underground construction. The company continues to diversify its business development activities, especially in the field of tunnel construction and infrastructure construction.

Для реализации проектов по строительству тоннелей Strabag использует индивидуально разработанные установки фирмы Progress Maschinen & Automation, входящей в группу Progress Group. Для проекта в Северном Йоркшире фирма Strabag возвела на стройплощадке завод по производству сборного железобетона и заказала среди прочего сетко-сварочную систему M-System BlueMesh, машину для сварки арматуры Tunnel Master и автоматическую установку для производства хомутов EBA S 16.

ПРОЕКТ ГРАНДИОЗНОГО МАСШТАБА

На северо-востоке Англии, посреди национально-го парка Норт-Йорк-Мурс, создается система транспортных тоннелей протяженностью 37 км. Проект Strabag North Yorkshire Polyhalite является частью проекта Woodsmith (Великобритания), принадлежа-

щего Anglo American, одной из крупнейших горнодобывающих компаний в мире.

Он используется для добычи полезных ископаемых на крупнейшем в мире месторождении полигалита – минерала, используемого для производства удобрений. Из предполагаемых 2,66 млрд т залежей полигалита 280 млн т находятся в пределах 5 км вокруг предполагаемого рудника. На фоне интенсивной урбанизации и роста численности населения миру постоянно требуется больше удобрений для эффективного производства продуктов питания. Полигалит представляет собой надежное и экологичное решение этой проблемы. Его добывают в шахтах с глубины 1,5 км и доставляют под землей с помощью транспортной системы MTS (Mineral Transport System) в обрабатывающий цех в Тиссайд. После обработки продукт транспортируется в

* Материал опубликован в журнале «СРІ – Международное бетонное производство». 2021. № 3.

порт и в основном экспортируется за границу. Компания Strabag получила контракт на проектирование и строительство 37-километрового тоннеля, включая транспортную систему.

ТРУДНОСТИ В СВЯЗИ С ЧАСАМИ ПИК

Важнейшими проблемами при прокладке тоннелей являются меры безопасности и стратегия эвакуации. Высокие стандарты безопасности, плотный график, сложности с финансированием и изменения в контрактах со временем создали дополнительные трудности для проекта. Тесное сотрудничество с командой заказчика на месте позволило добиться наилучших результатов в имеющихся условиях.

БОЛЬШЕ ЭКОЛОГИЧНОСТИ

Начиная с этапа проектирования основное внимание уделялось устойчивому и экологически безопасному строительству. Сама МТС является экологически чистой транспортной системой в шахте, не требующей использования автодорог или другого наземного транспорта. Построенный на месте завод сборного железобетона также вписывается в эту концепцию. Политика устойчивых закупок определяет подход к поставке сырья. Руководством было принято решение заблаговременно добывать песок и щебень из местных карьеров, а транспортные маршруты были выбраны специально так, чтобы не нарушить размеренную жизнь национального парка. Современные дизель-электрические гибридные тоннельные локомотивы функционируют на физическом принципе рекуперации кинетической энергии, что позволяет максимально эффективно использовать крутой профиль и длину тоннеля, способствуя существенному сокращению выбросов и минимизации требований к вентиляции.



Слева направо: Крейг Сьюэлл – начальник строительного участка; Эрнст Гшнитцер – директор проекта; Курт Узель – эксперт, разработчик и руководитель проектов по автоматизации; Эдгар Шёмиг – начальник подразделения по тоннелестроению в Strabag; Джакомо Волларо – менеджер проекта в производственном сегменте

ЭФФЕКТИВНОЕ ПРОИЗВОДСТВО ТЮБИНГОВ

Сегмент внешней оболочки шахты или тоннеля называется тьюбингом. На площадке в Редкаре, городе в графстве Северный Йоркшир в Англии, компоненты тоннеля производятся на полевом заводе, что позволяет избежать длинных транспортных маршрутов. Вся производственная линия рассчитана на скорость тоннелепроходческого щита 20 м/сут. Ожидаемая производительность была достигнута за счет использования представителей местной рабочей силы, многие из которых не имели опыта в производстве тоннельных сегментов. После обучения, продолжавшегося всего около трех месяцев, рабочие получили необходимую квалификацию. Несмотря на более высокую, чем ожидалось, скорость – более 17 колец в



Заводской цех проекта Strabag North Yorkshire Polyhalite с установками Progress



Автомат Tunnel Master оснащен компьютерным управлением для сварки изогнутых тоннельных сегментов



Линия M-System BlueMesh для сварки индивидуальных арматурных сеток

день, или 26 м тоннеля, суточная скорость продвижения проходческого щита вплоть до 52,65 м превысила производительность по сегментам. Среди нововведений стоит отметить использование вспомогательной роботизированной техники и автоматизированной сварки для изготовления армокаркасов.

МНОГОЛЕТНИЙ ОПЫТ РЕАЛИЗАЦИИ СЛОЖНЫХ ТОННЕЛЬНЫХ ПРОЕКТОВ

Для совместных проектов строительства тоннелей Progress Maschinen & Automation и Strabag разработали индивидуальные решения, гарантирующие высокое качество и функциональность конечных изделий. Так, была спроектирована специальная система сварки арматурной сетки на базе модельного ряда M-System BlueMesh с устройством для скатывания



Устройство для сворачивания в рулоны позволяет загибать армосетки вверх или вниз



Предварительно изготовленные арматурные решетки свариваются с армосетками с помощью сварочных роботов (видны на заднем плане), образуя готовый армокаркас для элементов тоннеля

сетки в рулоны. Эта универсальная производственная система позволяет сваривать проволочную сетку с бухты в точном соответствии с определенными индивидуальными требованиями. Необходимые производственные данные берутся из статистического программного обеспечения на основании списка гибочных параметров, обрабатываются соответствующим образом и передаются на станок. Это позволяет заранее точно настроить правильную длину и расстояние между стержнями. Сварочный аппарат Tunnel Master фирмы Progress служит для изготовления прямых и изогнутых тоннельных арматурных решеток с бухты. Эта надежная сварочная установка, не требующая особого техобслуживания, предназначена для быстрого и экономичного производства арматуры для тоннельных сегментов. Tunnel Master обрабатывает до четырех продольных прутков и укладывает их вместе с поперечными стержнями с помощью раstra с плавно регулируемым шагом. Эта система обеспечивает быстрое, технически сложное и рентабельное изготовление прямых и изогнутых арматурных элементов для тоннельных сегментов и аналогичных сборных железобетонных изделий. В сочетании с автоматом для гибки хомутов Progress предлагает комплексное решение для производства арматуры для тоннельных элементов. Автоматический станок для гибки хомутов является частью линейки EBA S и рассчитан на обработку проволоки диаметром от 6 до 16 мм. Автоматические гибочные установки EBA S просты в эксплуатации, а благодаря встроенной системе контроля качества они достигают очень высокой производительности и точности. Это последнее поколение машин отличается особенно высокой функциональной гибкостью, а также низкими затратами на эксплуатацию, техническое обслуживание и замену изношенных деталей.



Тоннелепроходческий щит S-1175 компании Strabag AG



Склад для промежуточного хранения тюбингов – сборных ж/б элементов для тоннельной обделки

КОМПЛЕКСНОЕ РЕШЕНИЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА АРМАТУРЫ В ТОННЕЛЕСТРОЕНИИ

С помощью специальных роботов арматурные решетки, сетки и хомуты полностью автоматически свариваются друг с другом, формируя арматурный каркас. Таким образом, процесс армирования для проекта строительства туннеля в Северном Йоркшире полностью автоматизирован, а сборка с использованием установок Progress позволяет сэкономить время.

По словам Курта Узеля, эксперта, разработчика и менеджера проектов по автоматизации в Strabag AG, сотрудничество с фирмой Progress в разработке оборудования для этого особого проекта прошло на высоком профессиональном уровне. Он отмечает, что в условиях такой разработки прототипов в ходе текущего строительства с ограниченными испытательными возможностями необходимо интенсивное коллективное сотрудничество.

Вся концепция оборудования Progress соответствует целям Strabag и открывает путь для производства качественной продукции на заводе с использованием всего нескольких переменных производственных процессов, обеспечивая высокую конкурентоспособность в долгосрочной перспективе.

STRABAG

progress
Maschinen & Automation
PROGRESS GROUP

Strabag AG – UK Branch
Wilton Site, Gate No 3
TS10 4RG Redcar
United Kingdom
uk.info@strabag.com
www.strabag.com

Progress Maschinen & Automation AG
Julius-Durst-Straße 100
39042 Brixen, Italien
T +39 0472 979 100
info@progress-m.com
www.progress-m.com

В 2021 г. КНАУФ инвестирует в горнодобывающее предприятие Архангельской области 3 млн евро

Knauf's Investments in the Mining Enterprise of the Arkhangelsk Region in 2021 will Amount 3 Million Euros

Компания КНАУФ – признанный мировой лидер в области производства строительных материалов на основе гипса. На протяжении более 25 лет она ведет сбалансированную инвестиционно-производственную деятельность в России. Важным аспектом корпоративной политики компании КНАУФ является информационная открытость. Многие годы компания сотрудничает с ведущими российскими изданиями строительного профиля. Эффективным инструментом такого взаимодействия являются пресс-туры на предприятия компании. Журналисты могут воочию познакомиться с производством, побеседовать с работниками, составить собственное объективное мнение о деятельности предприятия. В июне 2021 г. группа журналистов совместно с сотрудниками службы корпоративных коммуникаций компании КНАУФ под руководством Л.М. Лося отправилась на родину М.В. Ломоносова, где с 2006 г. действует гипсодобывающее предприятие КНАУФ. Его основной задачей остается снабжение сырьем завода КНАУФ в Колпино (Санкт-Петербург) и предприятий цементной промышленности Северо-Западного региона России. В 2021 г. архангельский филиал компании получит инвестиции в размере 3 млн евро, которые будут направлены на модернизацию техники, используемой при добыче гипсового камня.

KNAUF Company is a recognized world leader in the production of building materials based on gypsum. Over 25 years, it has been conducting balanced investment and production activities in Russia. An important aspect of KNAUF's corporate policy is information openness. For many years, the company has been cooperating with leading Russian construction publications. Press tours to the company's enterprises are an effective tool for such interaction. Journalists can get acquainted with the production in reality, talk to employees, make their own objective opinion about the enterprise activities. In June 2021, a group of journalists together with employees of the corporate communications service of KNAUF under the leadership of **L.M. Loss** went to the homeland of M.V. Lomonosov to then inform readers about the new contribution of KNAUF to the development of the enterprise, where the gypsum-mining enterprise Knauf has been operating since 2006. Its main task remains the supply of raw materials to the KNAUF plant in Kolpino (Saint Petersburg) and enterprises of the cement industry in the North-West region of Russia. In 2021 Arkhangelsk branch of the company will receive investments in the amount of 3 million euros, which will be directed to the modernization of equipment used in the mining of gypsum.

Для горного предприятия, добывающего общераспространенные полезные ископаемые открытым способом, 3 млн евро – инвестиции внушительные. Такая сумма диктуется необходимостью своевременно реагировать на увеличивающиеся потребности в сырье и оптимизации экономических показателей. Представляя свое предприятие, директор Архангельского филиала КНАУФ **В.А. Наход** отметил, что в настоящее время основная задача со-

стоит в повышении производительности и снижении себестоимости добычи гипсового камня. Кроме того, модернизация техники позволит повысить безопасность труда рабочих, что является одним из приоритетов компании КНАУФ. В рамках технического перевооружения на предприятие поступят два новых экскаватора Volvo, фронтальный погрузчик Liebherr, шарнирно-сочлененный самосвал Volvo, самосвал Scania грузоподъемностью 40 т и дробилка Kleemann MC125Z массой 140 т.

Предприятие является одним из крупнейших работодателей и налогоплательщиков в Холмогорском районе, оно стабильно развивается на протяжении пятнадцати лет.

Лицензия на разработку получена «КНАУФ Гипс Колпино» не на один участок, а на Чугскую площадь (122 км²), которая включает четыре крупных месторождения: Глубокое, Участок Южный, Озеро Сенное и Позера.

На 1 января 2021 г. запасы месторождения «Глубокое», разработка которого производится в настоящее время, оценивались в 13,7 млн т. Полная отработка карьера и начало работ по рекультивации земель планируется на 2035 г., однако в зависимости от масштаба добычи сроки могут меняться.

Первые отгрузки гипсового камня начались в 2008 г. Благодаря отлаженному взаимодействию с железнодорожной станцией



Директор Архангельского филиала КНАУФ В.А. Наход



Глубокое-Новое, находящейся в 10 км от карьера, филиал в среднем за год отгружает более 8 тыс. вагонов. Всего за период с 2008 по 2021 г. было отгружено почти 8 млн т гипсового камня.

Главный потребитель продукции – завод по производству строительных материалов ООО «КНАУФ ГИПС КОЛПИНО», на его долю приходится 60% (порядка 400 тыс. т) добываемого гипсового камня фракции 0–300. Остальную продукцию потребляют цементные заводы ЕВРОЦЕМЕНТ ГРУП, расположенные на Северо-Западе, – ООО «Петербургцемент» и ЗАО «Пикалевский цемент», а также ряд средних и небольших предприятий.

Добыча

На предприятии реализована добыча с внутренним отвалообразованием, т. е. выработанное пространство сразу засыпается вскрышными породами.

На первом этапе проводится вскрыша. Вскрышные породы в основном представлены глинами, мощность слоев которых колеблется в пределах 7–12 м; иногда встречается выход гипса на поверхность. На вскрышных работах используются гидравлические экскаваторы и сочлененные самосвалы.

Бурение шурфов осуществляется собственным станком фирмы Atlas copco. Взрывные работы проводятся подрядной организацией ООО «Карелвзрывпром».

Изначально на предприятии стояли дробильные комплексы, производительность которых уже не удовлетворяет растущие потребности, кроме того, они выработали свой ресурс. В 2014 г. был приобретен мобильный дробильный комплекс Kleemann. Его масса составляет 130 т, приемный бункер 1250×1000 мм, что позволяет сокращать затраты на взрывные работы, так как в дробилку можно загружать породу кусками до 900 мм.

Перевозка по внутренней технологической дороге осуществляется собственными автосамосвалами. Одним из ключевых этапов оптимизации горных работ явилось увеличение грузоподъемности автосамосвалов. Изначально это были машины грузоподъемностью 20 т, в настоящее время используются самосвалы Scania грузоподъемностью 40 т.

На месторождении свой железнодорожный участок длиной 2,4 км, который обслуживается самостоятельно; тепловоз ТГМ6Д; подвижной состав (вагоны) – арендованный.

Для обслуживания и ремонта техники на предприятии есть собственная ремонтно-механическая мастерская, механическая служба (механики, слесари, сварщики); минимальные работы выполняют операторы. На всех участках вводится программа 5S*.

Средняя чистота добываемого камня по геологоразведке составляет 88,9; на предприятии в Колпино поставляется камень чистотой 82–85 (в него добавляется эттрингит). Это связано с необходимостью понижения влажности, а так как эттрингит не впитывает воду, получается более сухой камень, что экономит затраты непосредственно на заводе. По заказу клиентов предприятие готово поставлять гипсовый камень различных фракций и сортов.



* 5S — система организации и рационализации рабочего места (рабочего пространства), один из инструментов бережливого производства.



Технические показатели

Первоначально проект разработки месторождения подразумевал согласованную добычу 600 тыс т, но в связи с появившимся спросом в 2010 г. было согласовано увеличение производительности до 1 млн т. В 2012–2013 гг. отгрузка продукции достигала 735 тыс т. В силу сложившейся экономической ситуации в 2020 г. наблюдался некоторый спад производительности, однако динамика 2021 г. показывает, что темпы добычи будут восстановлены.

Социальная деятельность

Как и все предприятия КНАУФ в мире, Архангельский филиал ведет активную работу по реализации социальных проектов, оказывает помощь социальным и некоммерческим учреждениям. В п. Светлый Холмогорского р-на Архангельской области, где проживает часть сотрудников предприятия, для Светлозерской амбулатории были закуплены аппараты физиотерапии и оборудование хозяйственного назначения; в детском саду «Светлячок» установлены входные металлические двери и приобретена электромагнитная интерактивная доска; Светлозерская средняя школа при поддержке филиала приобрела инвентарь для детской хоккейной команды. Для этих целей предприятие ежегодно выделяет средства из прибыли, что соответствует обязательствам в области КСО всей группы компаний КНАУФ.



Руководитель службы корпоративных коммуникаций компании КНАУФ Л.М. Лось и директор Техникума строительства и городского хозяйства О.С. Журавлева

В рамках деловой поездки журналисты встретились с руководителем учебного центра «КНАУФ Северо-Запад» **Г.Н. Смирновым**. Он отметил, что компания КНАУФ уделяет большое внимание вопросам консультирования и обучения потребителей продукции. Одна из учебных площадок, работающих по единым стандартам компании, реализована в Архангельске на базе техникума строительства и городского хозяйства, где в 2009 г. был открыт Ресурсный центр Академии КНАУФ.

В сентябре 2021 г. техникум строительства и городского хозяйства отметит 60-летие. Он может гордиться своей историей и людьми, которые его создавали. За долгие годы работы было подготовлено большое количество квалифицированных рабочих реального сектора экономики Архангельской области. Техникум

стабильно и успешно развивается, обновляется материальная база, внедряются современные строительные, образовательные и информационные технологии.

В Ресурсном центре проводится обучение как студентов техникума, так и специалистов-строителей по стандартным программам Академии: «Сухое строительство», «Устройство криволинейных перегородок», «Штукатурные работы с применением материалов КНАУФ» и др. Учащиеся получают навыки работы с материалами и технологиями КНАУФ, консультации по применению продукции, доступ к актуальным учебно-методическим пособиям, нормативно-техническим документам, и в итоге повышают свою компетентность и конкурентоспособность на рынке труда.



Руководитель учебного центра «КНАУФ Северо-Запад» Г.Н. Смирнов

Бизнес-центр «Дельта», гостиница Novotel и жилые комплексы Архангельска, в отделке которых были использованы материалы КНАУФ



Горькая страница истории Великой Отечественной войны, о которой мало кто знает, заслуживает нескольких слов в этой статье.

Автором памятника тюленю – спасителю жителей Архангельска и блокадного Ленинграда стал архангельский архитектор и скульптор Игорь Скрипкин. Малоизвестный факт: в годы Великой Отечественной войны в Архангельске суточная норма хлеба снижалась в некоторые месяцы до 125 г на человека, что соответствовало

минимальной норме в блокадном Ленинграде. Архангельск был вторым (после Ленинграда) городом в СССР по смертности от голода, несмотря на то что через его порт проходили тысячи тонн продовольствия, импортируемого по ленд-лизу. Каждый седьмой житель Архангельска умер от голода в военное лихолетье!

Для улучшения продовольственного снабжения были организованы промысловые экспедиции для охоты на тюленя в Белом и Баренцевом морях. Добытое мясо, жир и шкуры тюленей спасли от голодной смерти и холода тысячи нуждающихся людей не только в Архангельске и его пригородах, а также в Ленинграде, куда из Архангельска было отправлено более 1000 т пищевого и медицинского жира из тюленьего сала.

И конечно, по традиции пресс-туров компании КНАУФ журналисты получают уникальную возможность ближе познакомиться с регионом, где расположены предприятия КНАУФ. Мы погуляли по историческому центру Архангельска, где, кстати, расположен офис филиала – на главной исторической улице Чумбарова-Лучинского, прошли по набережной, где увидели уникальный, почитаемый архангелогородцами памятник тюленю.



Также мы посетили музей деревянного зодчества и народного искусства северных районов России «Малые Корелы» – место, где можно окунуться в незабываемую атмосферу старинного Севера, и жемчужину северных народных промыслов – Холмогорскую фабрику резьбы по кости в п. Ломоносове. И даже сами почувствовали себя народными умельцами.

Т. Абакумова
Фото автора и Д. Ромашкова



А.Ф. ГАЛКИН, д-р техн. наук (afgalkin@mail.ru),
М.Н. ЖЕЛЕЗНЯК, д-р геол.-минер. наук (fe1956@mail.ru),
А.Ф. ЖИРКОВ, канд. техн. наук (zhirkov_af@mail.ru)

Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН (677010, г. Якутск, ул. Мерзлотная, 36)

Повышение тепловой устойчивости дорожных одежд в криолитозоне

Во многих практически значимых случаях тепловой фактор определяет надежность и безопасность эксплуатации автомобильных дорог в криолитозоне, особенно в условиях резко континентального климата, когда суточные изменения температуры воздуха и поверхности дорог могут достигать десятков градусов. Снизить отрицательное влияние резких перепадов суточной температуры на несущую способность дорог можно используя в дорожных одеждах конструктивные слои из материалов с большим значением тепловой массивности. Получены количественные закономерности изменения оптимальной концентрации теплоемкого наполнителя в конструктивном слое для достижения максимального показателя тепловой массивности дорожных одежд. Представлены 2D и 3D графики, позволяющие как в широком, так и характерном диапазоне изменения исходных величин оценить возможный диапазон изменения оптимальной концентрации теплоемкого наполнителя в конструктивном теплозащитном слое дорожной одежды.

Ключевые слова: автомобильная дорога, многолетняя мерзлота, тепловая массивность, температура, оптимизация.

Для цитирования: Галкин А.Ф., Железняк М.Н., Жирков А.Ф. Повышение тепловой устойчивости дорожных одежд в криолитозоне // *Строительные материалы*. 2021. № 7. С. 26–31. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-793-7-26-31>

A.F. GALKIN, Doctor of Sciences (Engineering) (afgalkin@mail.ru);
M.N. ZHELEZNYAK, Doctor of Sciences (Geology and Mineralogy) (fe1956@mail.ru),
A.F. ZHIRKOV, Candidate of Sciences (Engineering), (zhirkov_af@mail.ru)
Melnikov Permafrost Institute Siberian Branch Russian Academy of Sciences (36, Merzlotnaya Street, Yakutsk, 677010, Russian Federation)

Increasing the Thermal Stability of the Embankment in Permafrost Regions

In many, practically significant cases, the thermal factor determines the reliability and safety of the operation of roads in permafrost, especially in a sharply continental climate, when daily changes in air temperature and road surface can reach tens of degrees. To reduce the negative impact of sudden changes in daily temperatures on the load-bearing capacity of roads, you can use structural layers of materials with a high value of thermal massiveness in road clothing. Quantitative regularities of changes in the optimal concentration of heat-intensive filler in the structural layer to achieve the maximum index of thermal massiveness of road surfaces are obtained. 2D and 3D graphs are presented that allow us to estimate the possible range of changes in the optimal concentration of heat-intensive filler in the structural heat-protective layer of the road surface both in a wide and characteristic range of changes in the initial values.

Keywords: : automobile road, permafrost, thermal massiveness, temperature, optimization.

For citation: Galkin A.F., Zheleznyak M.N., Zhirkov A.F. Increasing the thermal stability of the embankment in permafrost regions. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2021. No. 7, pp. 26–31. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-793-7-26-31>

Эксплуатация автомобильных дорог в криолитозоне в районах с резко континентальным климатом является проблемной и требует значительно больше затрат, чем на аналогичных объектах, например средней полосы России. Это объясняется негативным комплексным воздействием температурного фактора на прочностные характеристики дорожной одежды. Амплитуда колебаний суточной температуры на поверхности дорожного полотна в осенний и весенний периоды года может достигать 25–30°C. По мнению ряда исследователей, во многих практически значимых случаях тепловой фактор определяет надежность и безопасность эксплуатации автомобильных дорог в криолитозоне [1–5]. Такие негативные процессы, как пучение и морозобойное растрескивание дорожного полотна, особенно активно протекают при резких суточных и декадных колебаниях температуры наружного воздуха и определяются скоростью изменения температуры

по глубине [5–8]. Например, в работе «Глубина и скорость промерзания грунтов и их влияние на процессы пучения» (<https://sground.ru/glubina-i-skorost-promerzaniya-grunta-i-ih-vlijanie-na-processy-puchenija/>) отмечается экспериментально установленная закономерность: чем меньше скорость промерзания, тем больше величина пучения грунтов. Одним из эффективных способов защиты дорожного полотна от негативных криогенных воздействий является использование в конструкции дорожных одежд различных теплоизоляционных материалов [1, 9–12]. В то же время ряд исследователей считают, что более эффективным является комплексная тепловая защита, включающая как теплоизоляционную, так и теплоаккумулирующую составляющие [13, 14]. В работе [13] показано, что использование, например, теплозащитных экранов, состоящих из двух слоев (теплоизоляционного и теплоаккумулирующего), позволяет добиться бо-

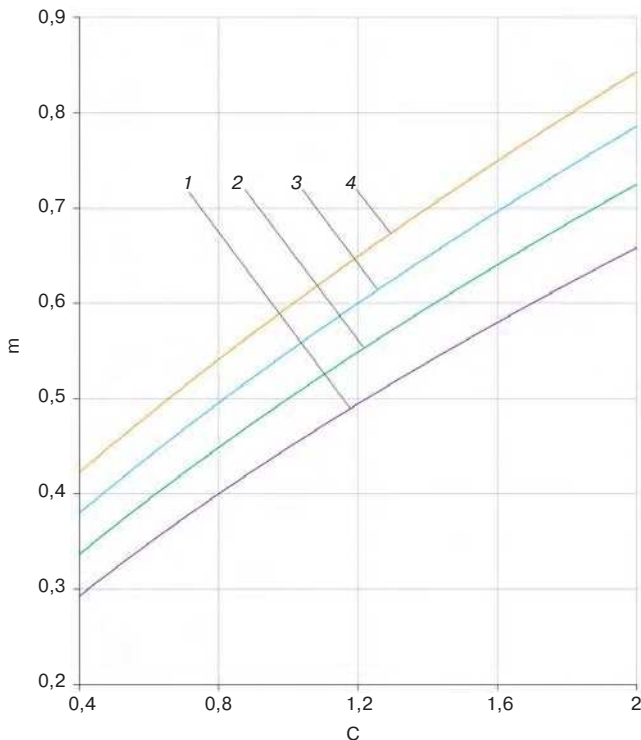


Рис. 1. Изменение оптимальной концентрации теплоаккумулирующего наполнителя в теплоизоляционном связующем в зависимости от безразмерного комплекса c при разных значениях безразмерного комплекса b : 1 – 0,4; 2 – 0,5; 3 – 0,6; 4 – 0,7

Fig. 1. Change in the optimal concentration of the heat-accumulating filler in the heat-insulating binder depending on the dimensionless complex c at different values of the dimensionless complex b : 1 – 0.4; 2 – 0.5; 3 – 0.6; 4 – 0.7

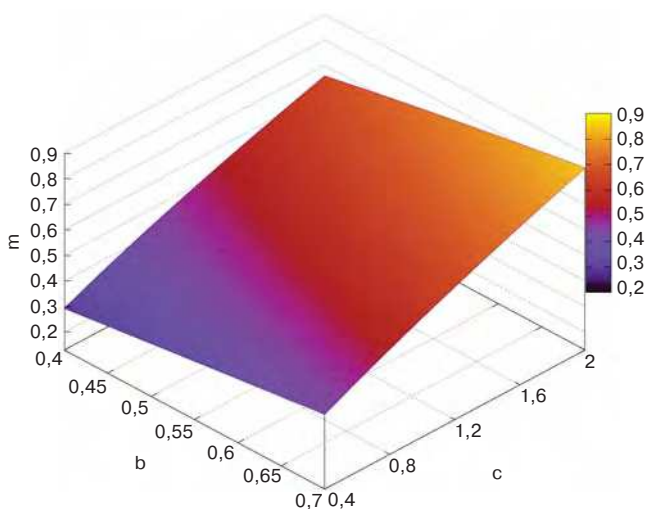


Рис. 2. Изменение оптимальной концентрации теплоаккумулирующего наполнителя в теплоизоляционном связующем в зависимости от безразмерных комплексов c и b

Fig. 2. Change in the optimal concentration of the heat-accumulating filler in the heat-insulating binder depending on the dimensionless complexes c and b

лее значимого как в технологическом, так и экономическом плане эффекта, чем просто использование теплозащитного слоя. В работах [15, 16] авторами показано, что тепловой поток на границе дорожного полотна существенно зависит от коэффициента теплоусвоения слоев дорожной одежды. В работе [17] установлено, что существует оптимальный состав компонентов для теплоаккумули-

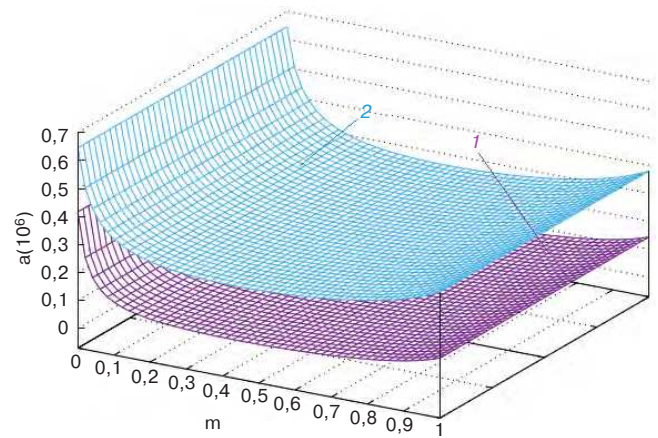


Рис. 3. Изменение коэффициента температуропроводности смеси a – 1 и параметра \sqrt{a} – 2 в зависимости от концентрации наполнителя в теплозащитном слое дорожной одежды

Fig. 3. Change in the coefficient of thermal conductivity of the mixture a – 1 and the parameter \sqrt{a} – 2 depending on the concentration of the filler in the heat-protective layer of the road surface

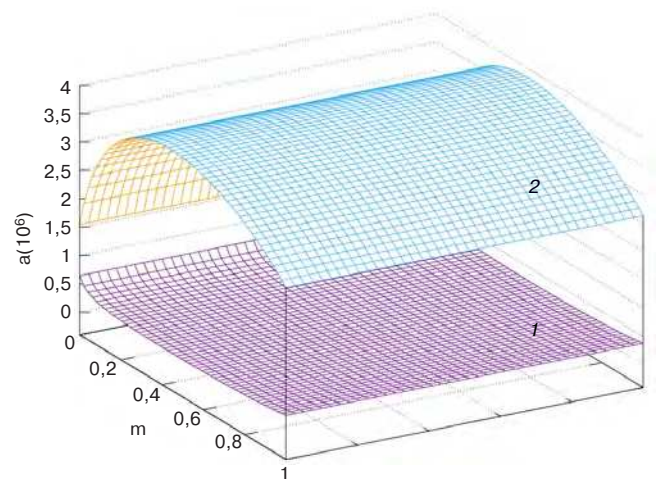


Рис. 4. Изменение параметра \sqrt{a} – 1 и $1/\sqrt{a}$ – 2 в зависимости от концентрации теплоаккумулирующего наполнителя в теплозащитном слое дорожной одежды

Fig. 4. Change of the parameter \sqrt{a} – 1 and $1/\sqrt{a}$ – 2 depending on the concentration of the heat-accumulating filler in the heat-protective layer of the road surface

Значение параметра D в зависимости от концентрации теплоаккумулирующего компонента при толщине конструктивного слоя 0,5 м
The value of the parameter D depending on the concentration of the heat-accumulating component at the thickness of the structural layer of 0.5 m

m	0	0,1	0,2	0,4	0,5	0,8	0,9
D	6,7	12,5	15,2	17,7	15,7	14,2	12,8

рующего слоя комбинированной теплоустойчивой набрызг-бетонной крепи.

Целью настоящей работы явилось определение количественных характеристик теплозащитного слоя в дорожной одежде, который позволит добиться максимальной тепловой устойчивости дорожной конструкции. Здесь и далее под тепловой устойчивостью плоской конструкции, к которой относится автомо-

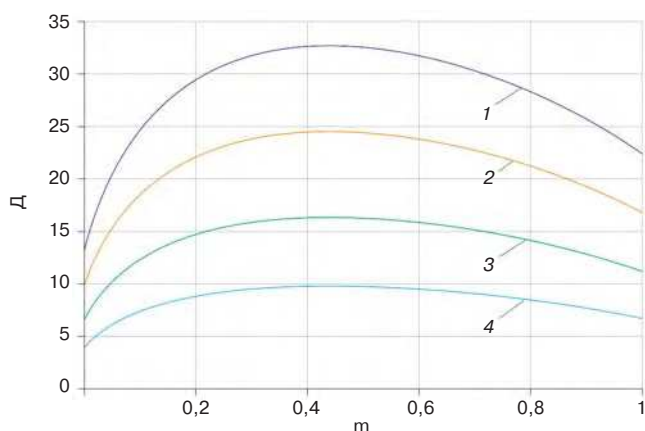


Рис. 5. Изменение показателя теплоустойчивости в зависимости от концентрации теплоаккумулирующего наполнителя в теплозащитном слое дорожной одежды различной толщины: 1 – 1 м; 2 – 0,75 м; 3 – 0,5 м; 4 – 0,3 м

Fig. 5. Change in the heat resistance index depending on the concentration of heat-accumulating filler in the heat-protective layer of road pavement of various thicknesses: 1 – 1 m; 2 – 0,75 m; 3 – 0,5 m; 4 – 0,3 m

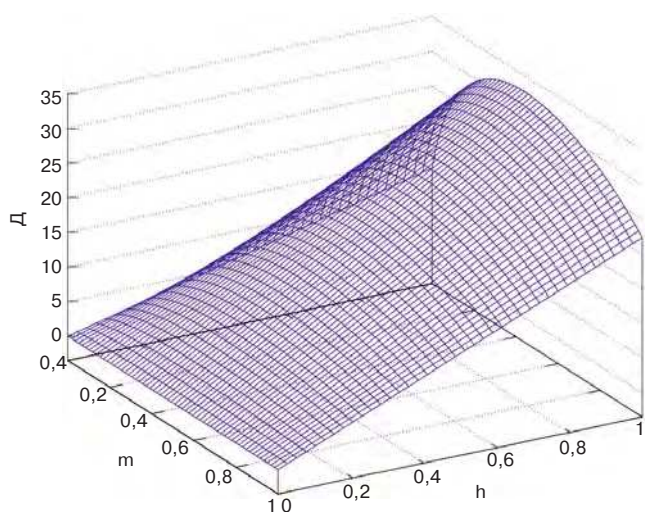


Рис. 6. Изменение показателя теплоустойчивости (D) в зависимости от концентрации теплоаккумулирующего наполнителя (m) в теплозащитном слое дорожной одежды различной толщины (h).

Fig. 6. Change in the heat resistance index (D) depending on the concentration of the heat-accumulating filler (m) in the heat-protective layer of the road surface of different thickness (h)

бильная дорога, будет использоваться формулировка, принятая для ограждающих конструкций зданий: «Теплоустойчивость ограждающей конструкции – способность сохранять относительное постоянство температуры на поверхности, обращенной в помещении, при периодических тепловых воздействиях» (ГОСТ 26253–84 «Здания и сооружения. Метод определения теплоустойчивости ограждающих конструкций»). В рассматриваемом случае под поверхностью помещения понимается температура дорожного основания или температура внутреннего слоя теплозащитной конструкции, т. е. обращенной к дорожному основанию.

Методика исследований

Тепловая массивность, или теплоустойчивость конструкции, состоящей из i слоев, определяется по

известной в строительной теплофизике формуле [18, 19]:

$$D = \sum(\delta\beta/\lambda)_i; \quad (1)$$

$$\beta = \sqrt{(2\pi c\rho\lambda/T)}, \quad (2)$$

где λ – коэффициент теплопроводности материала слоя, Вт/(м·К); δ – толщина слоя, м; c – удельная теплоемкость материала, Дж/(кг·К); ρ – плотность материала, кг/м³; T – время, с.

Если рассматриваются суточные колебания температуры, то $T=86400$ с. И соответственно формула (1) с учетом (2) преобразуется к виду:

$$D = 0,0085\delta/\sqrt{a}. \quad (3)$$

где a – коэффициент температуропроводности материала, м²/с.

Из данной формулы следует, что чем меньше параметр a , тем больше тепловая массивность конструктивного слоя. Для двухкомпонентной смеси теплоизоляционного связующего и теплоаккумулирующего наполнителя коэффициент температуропроводности может быть определен по формуле [17]:

$$a = \lambda(m)/c(m), \quad (4)$$

где: $\lambda(m)$ – коэффициент теплопроводности смеси материалов, Вт/(м·К); $c(m)$ – удельная объемная теплоемкость смеси материалов, Дж/(м³·К); m – концентрация теплоемкого компонента в материале смеси, д. е.

Коэффициент теплопроводности смеси $\lambda(m)$ может быть определен по формуле Швердфейгера [20] или Оделевского [21]. Как показали сравнительные расчеты по формулам, они дают приблизительно одинаковые результаты в широком диапазоне исходных данных и в практических расчетах можно пользоваться любой из них [22]. В данном случае воспользуемся формулой Оделевского, которую запишем в виде:

$$\lambda(m) = \lambda_1(1 - \frac{m}{\eta}); \quad \eta = 1/((1 - \mu) - (1 - m)/3), \quad (5)$$

здесь $\mu = \lambda_2/\lambda_1$.

Удельная объемная теплоемкость смеси может быть найдена из выражения:

$$c(m) = c_1 + (c_2 - c_1)m. \quad (6)$$

Решая задачу безусловной оптимизации, т. е. минимизируя функцию (4) с учетом выражений (5) и (6), можно получить оптимальную концентрацию наполнителя, которая приведет к максимальному значению теплоустойчивости конструкции дорожного полотна при суточных колебаниях температуры воздуха. Полученное выражение для определения значения оптимальной концентрации бинарной смеси материалов имеет следующий вид:

$$m = b[1 - \sqrt{3(1+c/b)}]; \quad (7)$$

$$b = (\lambda_1 + \lambda_2/2)/(\lambda_1 - \lambda_2); \quad (8)$$

$$c = c_1 / (c_2 - c_1), \quad (9)$$

где: λ_1, λ_2 – коэффициенты теплопроводности связующего и наполнителя, Вт/(м·К); c_1, c_2 – удельные теплотемкости связующего и наполнителя, Дж/(кг·К).

Результаты и обсуждение

По полученным формулам были проведены варианты расчеты, которые представлены ниже в виде графиков на рисунках и в таблице. Характеристики изменения значений оптимальной концентрации теплоаккумулирующего наполнителя в теплоизоляционном связующем, в зависимости от безразмерного комплекса c , при разных значениях безразмерного комплекса b приведены на рис. 1. Как видно из графиков, эта зависимость близка к линейной, что объясняется небольшим диапазоном изменения безразмерных комплексов b и c , характерных для материалов, используемых в дорожном строительстве.

Для наглядности на рис. 2 приведен трехмерный график зависимости оптимальной концентрации наполнителя в теплозащитной смеси от безразмерных комплексов, характеризующих теплопроводность и теплоемкость двухкомпонентной смеси. Задаваясь возможными теплофизическими характеристиками исходных материалов теплозащитного слоя дорожной одежды, с помощью данного графика можно оперативно определить оптимальную концентрацию теплоемкого наполнителя в смеси строительных материалов.

Произведена оценка изменения коэффициента температуропроводности двухкомпонентной смеси теплоаккумулирующего наполнителя и теплоизоляционного связующего в зависимости от концентрации наполнителя (рис. 3). При расчетах использовались следующие исходные данные: $\lambda_1=0,05$ Вт/(м·К); $\lambda_2=0,6$ Вт/(м·К); $c_1=12 \cdot 10^4$ Дж/(м³·К); $c_2=408 \cdot 10^4$ Дж/(м³·К). На этом же графике приведено изменение знаменателя в формуле (3). График наглядно показывает, что оптимальное содержание наполнителя в связующем несколько размыто и имеет небольшое отклонение в достаточно широком диапазоне, хотя параметр \sqrt{a} (плоскость 2 на рис. 3) уже более представительен.

Произведено сравнение изменения двух параметров \sqrt{a} и $1/\sqrt{a}$ (рис. 4), которое уже однозначно позволяет утверждать, что существует оптимальная концентрация наполнителя (плоскость 2 на рис. 4), которая позволяет добиться максимальной теплоустойчивости конструктивного слоя в дорожной одежде. Для рассматриваемого примера значение оптимальной концентрации находится в диапазоне 0,4–0,5.

Изменение показателя теплоустойчивости «Д» в зависимости от концентрации наполнителя в теплозащитном слое дорожной одежды различной толщины представлено на рис. 5. Оно также подтверждает существование оптимальной концентрации теплоизолирующего наполнителя.

Из графиков на рис. 5 следует, что независимо от толщины теплозащитного слоя оптимальная кон-

центрация теплоаккумулирующего наполнителя является постоянной величиной. Причем диапазон изменения концентрации наполнителя от минимального значения (например, $m=0,1$) до оптимального значения ($m=0,44$) дает более значительный рост показателя тепловой устойчивости, чем такое же изменение концентрации после достижения оптимального значения. Это поясняют данные, приведенные в таблице.

Следовательно, введение теплоаккумулирующего компонента всегда приводит к повышению теплоустойчивости конструкции, но оптимальное его содержание должно определяться по полученной формуле. В данном примере расчет оптимальной концентрации по формуле (4) дает значение $m=0,44$, что соответствует данным, приведенным в таблице. Даже минимальная концентрация наполнителя (10%) приводит к увеличению значения теплоустойчивости конструкции почти в два раза, а при оптимальной концентрации (44%) она увеличивается почти в три раза. Дальнейшее увеличение концентрации приводит к снижению значений параметра теплоустойчивости и не имеет смысла.

На рис. 6 приведен 3D график для определения параметра «Д», характеризующего теплоустойчивость конструктивного теплозащитного слоя в дорожной одежде в зависимости от его толщины и концентрации теплоаккумулирующего компонента.

График на рис. 6 наглядно показывает степень изменения показателя тепловой устойчивости в зависимости от толщины и содержания теплоаккумулирующего компонента в теплозащитном слое.

Заключение

На основе решения задачи безусловной оптимизации коэффициента температуропроводности бинарной смеси, состоящей из теплоаккумулирующего наполнителя и теплоизоляционного связующего, получены простые инженерные зависимости для нахождения значения оптимальной концентрации наполнителя. Построен трехмерный график зависимости оптимальной концентрации наполнителя в теплозащитной смеси от безразмерных комплексов, характеризующих теплопроводность и теплоемкость двухкомпонентной смеси. Задаваясь возможными теплофизическими характеристиками исходных материалов теплозащитного слоя дорожной одежды, с помощью данного графика можно оперативно определить оптимальную концентрацию теплоемкого наполнителя в смеси материалов. На конкретном примере с использованием характерных исходных данных показано, что введение теплоаккумулирующего компонента всегда приводит к повышению теплоустойчивости конструкции, но оптимальное его содержание должно определяться по полученной формуле. Установлено, что, независимо от толщины теплозащитного слоя, оптимальная концентрация теплоаккумулирующего наполнителя является постоянной величиной. Показано, в частности, что

даже минимальная концентрация наполнителя (10%) приводит к увеличению значения теплоустойчивости конструкции почти в два раза, а при оптимальной концентрации (44%) она увеличивается почти в три раза. Увеличение концентрации больше оптимального значения приводит к снижению параметра теплоустойчивости и особого смысла не име-

ет. Дальнейшие исследования в этой области должны быть направлены на обоснование и разработку эффективных технических решений, позволяющих реализовать полученные теоретические закономерности в практике проектирования и строительства автомобильных дорог в криолитозоне, в районах с резко континентальным климатом.

Список литературы

1. Шац М.М. Современное состояние городской инфраструктуры г. Якутска и пути повышения ее надежности // *Геориск*. 2011. № 2. С. 40–46.
2. Панков В.Ю., Бурнашева С.Г. Анализ способов защиты автомобильных дорог от негативных криогенных процессов. В сб.: *Лучшая студенческая статья 2020. МЦНС «Наука и просвещение»*. М., 2020. С. 52–55.
3. Шестернев Д.М., Литовко А.В. Комплексные исследования по выявлению деформаций на автомобильной дороге «Амур». *Материалы докладов Четырнадцатой Общероссийской научно-практической конференции и выставки изыскательских организаций «Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации»*. Москва. 11–14 декабря 2018. С. 309–314.
4. Железняк М.Н., Шестернев Д.М., Литовко А.В. Проблемы устойчивости автомобильных дорог в криолитозоне. *Материалы докладов Четырнадцатой Общероссийской научно-практической конференции и выставки изыскательских организаций «Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации»*. Москва. 11–14 декабря 2018. С. 223–227.
5. Кондратьев В.Г., Кондратьев С.В. Как защитить федеральную автодорогу «Амур» Чита – Хабаровск от опасных инженерно-геокриологических процессов и явлений // *Инженерная геология*. 2013. № 5. С. 40–47.
6. Шестернев Д.М., Соколова В.С., Ёлгина А.И. Влияние скорости промерзания на пучение пород различного состава, строения и свойств. В сб.: *Кулагинские чтения: техника и технология производственных процессов*. Чита. 28–30 ноября 2016. С. 191–196.
7. Соколова О.В., Горковенко Н.Б. Оценка морозоопасности крупнообломочных грунтов с пылеватоглинистым заполнителем // *Основания и фундаменты*. 1997. № 2. С. 11–15.
8. Сериков С.И., Шац М.М. Морозобойное растрескивание грунтов и его роль в состоянии поверхности и инфраструктуры г. Якутска // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика*. 2018. № 1. С. 56–69. DOI: 10.15593/2409-5125/2018.01.04

References

1. Shats M.M. The current state of the Yakutsk urban infrastructure and ways to improve its reliability. *Georisk*. 2011. No. 2, pp. 40–46. (In Russian).
2. Pankov V.Yu., Burnasheva S.G. Analysis of ways to protect highways from negative cryogenic processes. *In the collection “The best student article 2020”. ICNS “Science and Education”*. Moscow. 2020, pp. 52–55. (In Russian)
3. Shesternev D.M., Litovko A.V. Complex studies on the detection of deformations on the Amur highway. *Proceedings of the Fourteenth All-Russian Scientific and Practical Conference and Exhibition of Research Organizations “Prospects for the Development of Engineering Research in Construction in the Russian Federation”*. Moscow. December 11–14, 2018, pp. 309–314. (In Russian)
4. Zheleznyak M.N., Shesternev D.M., Litovko A.V. Problems of stability of highways in the cryolithozone. *Proceedings of the Fourteenth All-Russian Scientific and Practical Conference and Exhibition of Research Organizations “Prospects for the Development of Engineering Research in Construction in the Russian Federation”*. Moscow. December 11–14, 2018, pp. 223–227. (In Russian)
5. Kondrat’ev V.G., Kondrat’ev S.V. How to protect Federal highway “Amur” Chita – Khabarovsk threat from engineering-geocryological processes and phenomena. *Inzhenernaya geologiya*. 2013. No. 5, pp. 40–47. (In Russian).
6. Shesternev D.M., Sokolova V.S., Elgina A.I. Influence of the freezing rate on the heaving of rocks of different composition, structure and properties. *In the collection «Kulagin readings: technique and technology of production processes»*. Chita, November 28–30, 2016, pp. 191–196. (In Russian).
7. Sokolova O.V., Gorkovenko N.B. Assessment of the frost hazard of large-scale clastic soils with a dusty-clay aggregate. *Osnovaniya i fundamentey*. 1997. No. 2, pp. 11–15. (In Russian).
8. Serikov S.I., Shats M.M. Frost-breaking cracking of soils and its role in the state of the surface and infrastructure of Yakutsk. *Vestnik Permskogo natsional’nogo issledovatel’skogo politekhnicheskogo universiteta. Prikladnaya ekologiya. Urbanistika*. 2018. No. 1, pp. 56–69. (In Russian). DOI: 10.15593/2409-5125/2018.01.04
9. Zheleznyak I.I., Sakisyan R.M. Metody upravleniya sezonnyim promerzaniem gruntov v Zabaikal’e

9. Железняк И.И., Саркисян Р.М. Методы управления сезонным промерзанием грунтов в Забайкалье. Новосибирск: Наука, 1987. 128 с.
10. Galkin A.F. Efficiency evaluation of thermal insulation use in criolithic zone mine openings // *Metallurgical and Mining Industry*. 2015. No. 10, pp. 234–237. https://www.metaljournal.com.ua/assets/Journal/english-edition/MMI_2015_10/037Galkin.pdf
11. Галкин А.Ф., Курта И.В., Панков В.Ю., Потапов А.В. Оценка эффективности использования слоистой конструкции тепловой защиты при строительстве дорог в криолитозоне // *Энергобезопасность и энергосбережение*. 2020. № 4. С. 24–28. DOI: 10.18635/2071-2219-2020-4-24-28
12. Клочков Я.В., Непомнящих Е.В., Линейцев В.Ю. Применение пеностекла для регулирования теплового режима грунтов в сложных климатических условиях // *Вестник ЗабГУ*. 2015. № 6 (121). С. 9–15.
13. Патент РФ 2241798. Теплозащитный экран / Гречищев С.Е., Коробков Н.Ф., Павлов А.В., Шешин Ю.Б. Заявл. 12.01.2004. Оpubл. 10.12.2004. Бюл. №12.
14. Патент РФ 1073403. Многослойная панель / Уржумцев Ю.С., Никитина Л.М., Тимошенко А.Т., Попов Г.Г., Толстяков Д.Н. Заявл. 07.04.1982. Оpubл. 15.02.1984. Бюл. № 6.
15. Панков В.Ю., Потапов А.В. Тепловой поток на поверхности дорожного полотна // *Тенденции развития науки и образования*. 2020. № 7. С. 91–93. DOI: 10.18411/lj-07-2020-79
16. Панков В.Ю., Бурнашева С.Г. Влияние скорости ветра на температуру поверхности дорожного полотна // *Тенденции развития науки и образования*. 2020. № 8. С. 116–121. DOI: 10.18411/lj-08-2020-63
17. Галкин А.Ф., Киселев В.В., Курилко А.С. Набрызг-бетонная теплозащитная крепь. Якутск: ЯНЦ СО РАН, 1992. 164 с.
18. Богословский В.Н., Щеглов В.П., Разумов Н.Н. Отопление и вентиляция. М.: Стройиздат, 1980. 295 с.
19. Поднебесный С.В., Богатикова Н.П., Зайцев О.Н. Влияние на тепловой режим помещения инерционности ограждающих конструкций и отопительных приборов // *Строительство и техногенная безопасность*. 2016. № 3 (55). С. 87–91.
20. Schwerdtfeger P. The thermal properties of sea ice. *Journal of Glaciology*. 1963. Vol. 4. Iss. 36, pp. 789–807. doi:10.3189/S0022143000028379
21. Оделевский В.И. Расчет обобщенной проводимости гетерогенных систем // *ЖТФ*. 1951. Т. 21. Вып. 6. С. 667–685.
22. Galkin A.F., Kurta I.V., Pankov V.Yu. Calculation of thermal conductivity coefficient of thermal insulation mixtures. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. VIII International Scientific Conference Transport of Siberia*. 2020. Vol. 012009. doi:10.1088/1757-899X/918/1/012009 [Management methods seasonal freezing of soil in Zabaikalye]. Novosibirsk: Nauka. 1987. 128 p.
10. Galkin A.F. Efficiency evaluation of thermal insulation use in criolithic zone mine openings. *Metallurgical and Mining Industry*. 2015. No. 10, pp. 234–237. https://www.metaljournal.com.ua/assets/Journal/english-edition/MMI_2015_10/037Galkin.pdf
11. Galkin A.F., Kurta I.V., Pankov V.Yu., Potapov A.V. Evaluation of the effectiveness of the use of layered thermal protection structures in the construction of roads in the cryolithozone. *Energobezopasnost' i energosberezhenie*. 2020. No. 4, pp. 24–28. (In Russian). DOI: 10.18635/2071-2219-2020-4-24-28
12. Klochkov Ya.V., Nepomnyashchikh E.V., Lineitsev V.Yu. The use of foam glass for regulating the thermal regime of soils in difficult climatic conditions. *Vestnik ZabGU*. 2015. No. 6 (121), pp. 9–15. (In Russian).
13. Patent RF 2241798. *Teplozashchitnyi ekran* [Heat shield] Grechishev S.E., Korobkov N.F., Pavlov A.V., Sheshin Yu.B. Declared 12.01.2004. Published 10.12.2004. Bulletin No. 12. (In Russian).
14. Patent RF 1073403. *Mnogosloinaya panel'* [Multi-layer panel]. Urzhumtsev Yu.S., Nikitina L.M., Timoshenko A.T., Popov G.G., Tolctyakov D.N. Declared 07.04.1982. Published 15.02.1984. Bulletin No. 6. (In Russian).
15. Pankov V.Yu., Potapov A.V. Heat flow on the surface of the roadbed. *Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya*. 2020. No. 7, pp. 91–93. (In Russian). DOI: 10.18411/lj-07-2020-79
16. Pankov V.Yu., Burnasheva S.G. Influence of wind speed on road surface temperature. *Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya*. 2020. No. 8, pp. 116–121. (In Russian). DOI: 10.18411/lj-08-2020-63
17. Galkin A.F., Kiselev V.V., Kurilko A.S. *Nabryzg-betonnyaya teplozashchitnaya krep'* [Spray-concrete heat-protective support]. Yakutsk: YaNTs SO RAN. 1992. 164 p.
18. Bogoslovskiy V.N., Shcheglov V.P., Razumov N.N. *Otoplenie i ventilyatsiya* [Heating and ventilation]. Moscow: Sroyizdat. 1980. 295 p.
19. Podnebesnyi S.V., Bogatikova N.P., Zaitsev O.N. Influence of inertia of enclosing structures and heating devices on the thermal regime of the room. *Stroitel'stvo i tekhnogennaya bezopasnost'*. 2016. No. 3 (55), pp. 87–91. (In Russian).
20. Schwerdtfeger P. The thermal properties of sea ice. *Journal of Glaciology*. 1963. Vol. 4. Iss. 36, pp. 789–807. doi:10.3189/S0022143000028379
21. Odelevskiy V.I. Calculation of the generalized conductivity of heterogeneous systems *Zhurnal tekhnicheskoy fiziki*. 1951. Vol. 21. Iss. 6, pp. 667–685. (In Russian).
22. Galkin A.F., Kurta I.V., Pankov V.Yu. Calculation of thermal conductivity coefficient of thermal insulation mixtures. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. VIII International Scientific Conference Transport of Siberia*. 2020. Vol. 012009. doi:10.1088/1757-899X/918/1/012009

В.В. СТРОКОВА¹, д-р техн. наук (vvstrokova@gmail.com),
М.Н. СИВАЛЬНЕВА¹, канд. техн. наук (549041@mail.ru), С.В. НЕРОВНАЯ¹, аспирант;
Б.Б. ВТОРОВ², канд. техн. наук

¹ Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова (308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46)

² ООО «Баумит» (141982, Московская обл., г. Дубна, ул. Университетская, 11)

Штукатурные покрытия как регулятор параметров микроклимата в помещении: обзор теоретических и экспериментальных исследований

Представлен многокритериальный анализ теоретических и экспериментальных исследований получения и применения штукатурных смесей, способов повышения их эффективности за счет корректировки рецептуры и определение перспектив дальнейшего развития. Проведена оценка публикационной активности, пик которой приходится на 2020 г., и заинтересованности различных научных школ. Анализ результатов экспериментальных исследований, выполненных как отечественными, так и зарубежными авторами за последнее десятилетие и представленных в открытых рецензируемых источниках, позволил классифицировать штукатурные смеси по виду вяжущих, назначению, областям применения и виду реализуемой продукции. На основании накопленного эмпирического материала проведено обобщение, структурирование и анализ имеющихся данных по разработке рациональных составов по таким критериям, как вид вяжущего, заполнителя, функциональных добавок, соотношение компонентов, физико-механические и функциональные свойства как смесей, так и штукатурных покрытий на их основе. Выделены основные компоненты, регулирующие качество штукатурных смесей, растворов и покрытий. Классическими вяжущими системами для штукатурных смесей являются цементная, известковая, гипсовая и цементно-известковая. С целью снижения расхода цемента либо придания специальных свойств в составе штукатурных смесей используются смешанные (композиционные) вяжущие. Среди заполнителей различного состава и granulometрии применяют как природные сырьевые материалы – пески, измельченные гравийно-галечные смеси, так и отходы различных производств – отсева дробления различных видов пород, гранулированное пеностекло, вспененное вулканическое стекло, молотый газобетон, обезвоженные шламы и хвосты флотации, шлаки, золы, бумага и т. д. Наполнителями выступают природные пуццоланы, гидросиликаты кальция, известковая пыль, микросферы и пр. Большую группу составляют добавки: воздухоовлекающие, армирующие, пластифицирующие, гидрофобизирующие, редиспергируемые, суперабсорбирующие, фотокаталитические, материалы фазового перехода и др. Показано, что актуальным направлением производства функциональных штукатурных смесей является разработка решений по созданию составов с повышенной экологичностью, биопозитивностью и медико-валеологическими параметрами штукатурных покрытий с целью формирования благоприятных микроклиматических условий в помещении для комфортной среды жизнедеятельности человека.

Ключевые слова: штукатурные смеси, штукатурные покрытия, композиционные вяжущие, заполнители, материалы фазового перехода, функциональные добавки, буферизация влаги, комфортная среда, микроклимат.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 19-19-00263) с использованием оборудования на базе Центра высоких технологий БГТУ им. В. Г. Шухова.

Для цитирования: Строкова В.В., Сивальнева М.Н., Неровная С.В., Второв Б.Б. Штукатурные покрытия как регулятор параметров микроклимата в помещении: обзор теоретических и экспериментальных исследований // *Строительные материалы*. 2021. № 7. С. 32–72. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-793-7-32-72>

V.V. STROKOVA¹, Doctor of Sciences (Engineering) (vvstrokova@gmail.com), M.N. SIVALNEVA¹, Candidate of Sciences (Engineering) (549041@mail.ru), S.V. NEROVNAYA¹, Postgraduate Student; B.B. VTOROV², Candidate of Sciences (Engineering)

¹ Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (46, Kostyukova Street, Belgorod, 308012, Russian Federation)

² «Baumit» ООО (11, Universitetskaya Street, Dubna, 141982, Russian Federation)

Plaster Coverings as a Regulator of Indoor Microclimate Parameters: an Overview of Theoretical and Experimental Research

The subject of this paper is a multicriteria analysis of theoretical and experimental studies of the production and use of plaster mixes, ways to increase their efficiency by adjusting the formulation and determining the prospects for further development. An assessment was made of publication activity, which peaks in 2020, and the interest of various scientific schools. An analysis of the results of experimental studies carried out by both native and foreign authors over the past decade and presented in open peer-reviewed sources made it possible to classify plaster mixtures by the type of binders, purpose, areas of application and type of products sold. Based on the accumulated empirical material, a generalization, structuring and analysis of the available data on the development of rational compositions according to such criteria as the type of binder, aggregate, functional additives, the ratio of components, physical, mechanical and functional properties of both mixtures and plaster coatings based on them was carried out. The main components regulating the quality of plaster mixes, mortars and coatings are highlighted. Classic binding systems for plaster mixes are cement, lime, gypsum and cement-lime. In order to reduce the consumption of cement or impart special properties, mixed (composite) binders are used in the composition of plaster mixtures. Among aggregates of various composition and granulometry, both natural raw materials – sands, crushed gravel-cobble mixtures, and wastes from various industries – crushing screenings of various types of rocks, granulated foam glass, foamed volcanic glass, ground aerated con-

crete, dehydrated sludge and flotation tailings, slags, ash, paper, etc are used. Fillers are natural pozzolans, calcium hydrosilicates, lime dust, microspheres, etc. A large group consists of additives: air-entraining, reinforcing, plasticizing, hydrophobizing, redispersible, superabsorbent, photocatalytic, phase transition materials, etc. It is shown that the actual direction of the production of functional plaster mixes is the development of solutions for creation of compositions with increased environmental friendliness, bio-positivity and medical and valeological parameters of plaster coatings in order to form favorable microclimatic conditions in a room for a comfortable environment for human life.

Keywords: plaster mixes, plaster coatings, composite binders, aggregates, phase transition materials, functional additives, moisture buffering, comfortable environment, microclimate.

The study was carried out at the expense of a grant from the Russian Science Foundation (project No. 19-19-00263) using equipment based on the Center for High Technologies BSTU named after V. G. Shukhov.

For citation: Strokova V.V., Sivalneva M.N., Nerovnaya S.V., Vtorov B.B. Plaster coverings as a regulator of indoor microclimate parameters: an overview of theoretical and experimental research. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2021. No. 7, pp. 32–72. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-793-7-32-72>

В настоящее время большое внимание уделяется вопросам экологии и комфортной среды для жизнедеятельности человека. Намечена современная тенденция в строительстве экологических зданий («зеленое» строительство) и производстве материалов различного функционального назначения, которая оказывает стимулирующее действие в социальной, экологической, экономической и технологической сферах деятельности. Развивающимся направлением «зеленого» строительства являются «здоровые» здания. В связи с этим прослеживается взаимосвязь между понятиями «жилье» и «здоровье», которые можно объединить в комплексное сочетание «здоровое жилье» — широкая концепция, сочетающая разнообразие факторов и выделяющая основные принципы: здоровье человека, эффективное использование ресурсов, берегающий подход к окружающей среде, экономия энергии, экономическая доступность и др. [1]. Данная концепция приобретает особую актуальность в связи с осознанием того факта, что человек в среднем проводит в помещении около 90% времени [2]. При этом даже столь высокое значение было превышено в период пандемии в 2020 г., когда пребывание в помещении стало носить вынужденный характер, в силу чего общие показатели патогенности среды помещений превысили привычные значения.

Нормативно-правовое регулирование данной области в Российской Федерации осуществляется согласно системам оценки «GREEN ZOOM» и ГОСТ Р 54694–2012 «Оценка соответствия. Экологические требования к объектам недвижимости», также учитываются положения Федерального закона № 7 от 2002 г. «Об охране окружающей среды», Федерального закона № 384 от 30 декабря 2009 г. «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» и Градостроительного кодекса [3, 4]. Отечественные стандарты согласуются с международной базой экологического строительства, основа которой представлена американской системой экосертификации LEED «Лидерство в энергетическом и экологическом дизайне», британской BREEM «Метод экологической оценки эффективности зданий» и немецкой DGNB (Немецкий совет по устойчивому строительству) [3, 5, 6]. Также в настоящее время активно реализуются 32 национальные системы стандартов в 24 странах, например: GreenStag в Австралии; AQUA в Бразилии; PromisE в Финляндии; HQE во Франции; ПК BEAM в Гонконге; GRINA в Индии; CouncillItalia в Италии;

VERDE в Испании; GBAS в Китае; GBI Malaysia в Малайзии и др. [6].

Актуальность экологического строительства в мировом масштабе определяется целью снижения уровня потребления энергии и материальных ресурсов на протяжении всего жизненного цикла здания, а также улучшения качества зданий и комфорта их внутренней среды. В связи с этим вопросы энергосбережения и качества микроклимата IAQ (Indoor Air Quality) переходят к понятию IEQ (Indoor Environmental Quality) — качество среды обитания в помещениях. Внутренний микроклимат в помещении и его влияние на здоровье и самочувствие людей являются одним из современных направлений строительной отрасли [7, 8]. В нормативном документе ГОСТ 30494–2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях» установлены контролируемые параметры микроклимата в жилых и общественных помещениях: температура воздуха; скорость движения воздуха; относительная влажность воздуха; результирующая температура помещения; локальная асимметрия результирующей температуры.

Между отделкой внутренних стен и микроклиматом помещения существует прямая связь. Поэтому для создания благоприятного микроклимата основополагающую роль играют отделочные материалы (штукатурки, шпаклевки, облицовочные или гипсокартонные плиты, обои, лакокрасочные покрытия и другие отделочные материалы), которые в различной степени способны регулировать температуру, влажность и качество воздуха внутри зданий, способствуя тепловому и влажностному комфорту и сокращению использования оборудования для обогрева, охлаждения и увлажнения.

Среди широкого спектра внутренних отделочных материалов наиболее перспективными являются штукатурные смеси, правильный подбор компонентов которых и рациональное сочетание способов отделки способствуют регулированию параметров влажности и формированию здорового и сбалансированного микроклимата в помещении. Так, например, на кирпичной кладке положительный результат дают известковая и известково-цементная штукатурные смеси на пористых заполнителях, дополненные красками для стен с высокой паропроницаемостью (краски на минеральной основе и водно-дисперсионные краски) [2].

Согласно анализу литературных источников, представленных в ведущих российских и международных наукометрических базах данных (РИНЦ; Scopus; Web of Science), можно представить критерии, по которым те или иные авторы определяют

принадлежность штукатурных смесей к экологическим и биопозитивным материалам:

– применение компонентов техногенного происхождения, что снижает уровень скопления отходов промышленности (лишь в случае использования отходов, соответствующих нормам экологической безопасности);

– нетоксичность состава;

– биологическая стойкость, выраженная способностью противостоять вредным микроорганизмам;

– формирование условий для благоприятного микроклимата в помещении, которые основаны на теплоизоляционных свойствах, температуре и влажности воздуха, звукоизоляции, нейтрализации запахов, электромагнитном экранировании и др.

Таким образом, отобранные работы направлены на решение основных проблем: утилизацию отходов, повышение физико-механических, теплоизолирующих, звукоизолирующих, экранирующих характеристик, регулицию влажностно-температурного режима в помещении, формирование комфортного микроклимата для жизнедеятельности человека. Достижение последних позиций из перечня сводится к использованию сложной многокомпонентной рецептуры с высококачественными и часто дорогостоящими составляющими, так как во многих случаях это задача несовместима с применением отходов или веществами с высоким содержанием нежелательных примесей. Штукатурные смеси климатоформирующего и экологического назначения относятся к категории премиум-класса.

Результаты анализа опубликованных данных

Терминологические вопросы. Штукатурные смеси представляют собой тщательно приготовленные в заводских условиях смеси минерального и (или) полимерного вяжущего, мелкого заполнителя, при необходимости наполнителя и модифицирующих добавок различного назначения. Область применения распространяется на выравнивание и финишную отделку стен из различных материалов. Их классификацию можно представить по основным критериям: виду вяжущего, крупности заполнителя, агрегатному состоянию, назначению, области применения, способу нанесения (рис. 1).

К основным российским нормативным документам, регулирующим требования к качеству штукатурных смесей, относятся ГОСТ 33083–2014 «Смеси сухие строительные на цементном вяжущем для штукатурных работ», ГОСТ 31357–2007 «Смеси сухие строительные на цементном вяжущем», ГОСТ Р 58279–2018 «Смеси сухие строительные штукатурные на гипсовом вяжущем». В настоящее время в России ведется актуализация существующей и дальнейшее развитие нормативной базы по сухим строительным смесям.

Согласно действующим нормативным документам свойства штукатурных смесей характеризуются по показателям качества в зависимости от состояния смеси:

– в сухом состоянии (сухие смеси): влажность; наибольшая крупность зерен заполнителя; содержание зерен наибольшей крупности;

– в состоянии свежеприготовленной смеси (растворные смеси): подвижность; водоудерживающая способность; сохраняемость первоначальной подвижности; расслаиваемость; стойкость к образованию трещин;

– в состоянии затвердевшего раствора или штукатурного покрытия (растворы): средняя плотность; прочность при сжатии в возрасте 28 сут; прочность сцепления с основанием (адгезия) в возрасте 28 сут; капиллярное водопоглощение; теплопроводность; паропроницаемость; морозостойкость контактной зоны (кроме смесей для внутренних работ); деформации усадки (расширения); стойкость к ударным воздействиям; морозостойкость (кроме смесей для внутренних работ).

В качестве вяжущих в смесях используют чаще всего рядовой портландцемент или разновидности, различные виды гипсовых вяжущих, известь-пушонку. Известковые растворы имеют ряд недостатков: медленное схватывание и отверждение, низкая ранняя прочность, восприимчивость к действию воды, соли и мороза, для снижения и устранения которых применяют строительные растворы на смешанном минеральном вяжущем, являющиеся перспективной альтернативой сочетанию преимуществ извести и гидравлических вяжущих или пуццоланов. Наполнители используют в большинстве случаев мелкие: пески различного генезиса либо отсева дробления определенного фракционного состава без содержания органических и других примесей.

Согласно назначению штукатурные покрытия имеют ключевые характеристики, определение и анализ которых позволяет регулировать их свойства и управлять качеством. Например, для теплоизоляционных штукатурных смесей таким свойством является теплопроводность, для гидроизоляционных – водопоглощение, гидрофобность, для штукатурных покрытий, регулирующих микроклиматические параметры, – буферизация влаги и т. д.

Материалы с высокой гигроскопичностью могут помочь регулировать уровень относительной влажности благодаря своей способности адсорбировать водяной пар из воздуха в помещении и выделять его обратно с помощью динамического процесса, называемого *буферизацией влаги* [9]. Буферная емкость влаги (буферизация) представляет собой устойчивый способ улучшения качества воздуха в помещениях, тепловой комфорт и энергоэффективность, что ослабляет изменения во влажности и экономия энергии за счет сокращения часов работы систем отопления, вентиляции, кондиционирования и увлажнения воздуха. Буферный эффект влаги в зависимости от климатических условий дает до 30% экономии энергии. Для количественной оценки данного показателя разработаны и применяются на практике различные экспериментальные и численные методы. Вопросы буферизации влаги



Рис. 1. Классификация штукатурных смесей
Fig. 1. Classification of plaster mixes

рассмотрены во многих зарубежных работах обзорного и экспериментального характера [9–14].

В зарубежных публикациях встречается термин *материалы с фазовым переходом*, который объединяет материалы поверхностных слоев или чаще всего компоненты композиционных материалов, обладающие большой теплоемкостью в ограниченном диапазоне температуры; их действие можно сравнить с изотермическим резервуаром тепла [15, 16]. При повышении температуры материалы с фазовым переходом меняют фазу с твердой на жидкую, при этом происходит эндотермическая реакция и тепло поглощается. В случае понижения температуры данные материалы, наоборот, меняют фазу с жидкой на твердую, когда тепло выделяется (экзотермическая реакция) [15].

Анализ динамики публикационной активности. Анализировались статьи открытого доступа, опубликованные в ведущих рецензируемых российских и зарубежных изданиях за временной период с 2010 по начало 2021 г. По поисковому запросу «известково-цементные штукатурки», «экологические штукатурки», «штукатурные смеси на основе извести», «буферизация влаги в известково-цементных штукатурках», «сухие строительные смеси» отобрано 73 научные работы.

Анализ публикационной активности проводился по числу публикаций за установленный период (рис. 2) и вовлеченности научных школ различных стран (рис. 3).

Ввиду разницы предоставления информации количественный анализ публикационной активности представлен отдельно для работ зарубежных и российских авторов. Исследования вторых больше ориентированы на работу с теплоизоляционными и прочностными показателями, трещинообразованием, высолообразованием, разработкой saniрующих составов. В зарубежных источниках внимание в большей степени обращено на оценку и регулирова-

ние параметров формирования благоприятных микроклиматических условий в помещении, т. е. водопоглощение, теплопроводность, паропроницаемость, буферная способность. В связи с чем наблюдается существенное отличие в аналитико-диагностическом подходе при изучении.

Пик публикационной активности приходится на 2018–2020 г., также отмечается, что уже за I квартал 2021 г. опубликованы четыре работы. Это указывает на актуальность данной тематики.

Лидирующие позиции в изучении данного направления занимают следующие страны: Чехия, Россия, Италия, Словакия, Нидерланды, Польша, Украина. При этом основная масса публикаций принадлежит авторам Европы, особенно Чехии (27%), что вызвано необходимостью проведения ремонта и реставрации исторических зданий и кладки охраняемых объектов культурного наследия. Но согласно требованиям органов культурного наследия и технических стандартов, для ремонта классические штукатурные смеси цементного состава являются непригодными ввиду их несовместимости с матричным материалом. Наиболее подходят для реконструкции и ремонта старых зданий известковые растворы [17]. Отдельно необходимо выделить представителей Австрии, которыми проведена колоссальная работа по изучению поведения разнотипных зданий при равных исходных условиях и влияния различных строительных материалов на здоровье и самочувствие человека [2].

Анализ результатов экспериментальных исследований

Анализ отобранных литературных источников позволил выделить основные рецептурные компоненты, оказывающие влияние на различные характеристики штукатурных смесей (рис. 4). В большинстве работ представлено совместное использование компонентов, что позволяет оказывать комплексное



Рис. 2. Динамика публикационной активности за период 2010–2021 гг.
Fig. 2. Dynamics of publication activity for the period 2010–2021

влияние. Следует отметить, что для полной картины производства штукатурных смесей рассматривались обе области эксплуатации (внутренняя и внешняя отделка [18–23, 71, 72, 85]), а также строительные растворы [24–30]. Информация о рецептуре и исследованных характеристиках по основным отобранным публикациям представлена в таблице.

Как отмечалось ранее, классическими вяжущими системами для штукатурок являются цементная, известковая, гипсовая и цементно-известковая. С целью замены цементного вяжущего или повышения эффективности предложено использовать в составе штукатурных смесей композиционные вяжущие, куда могут входить белый цемент, метакаолин [31], керамический порошок [32], золы [34, 49, 54, 57], шлаки [24, 56]. Известны работы с использованием глинистых компонентов [9, 10, 33]. Применение альтернативных связующих положительно влияет на проницаемость водяного пара и теплоаккумулирующие свойства.

Еще одним из способов регулирования качества штукатурок является использование заполнителей различного состава и granulometрии. Активно применяют пески: кварцевый, керамзитовый, вермикулитовый, перлитовый, гипсовый, базальтовый [31–47], измельченный известковый гравий [39], гранулированное пеностекло [48], термообработанный карбид кремния на основе вспененного вулканического стекла [49], молотый газобетон [50]. При этом заполнители измельчаются до различной степени и фракционируются. К примеру, применение и замена основного заполнителя вспученным перлитом направлены на повышение пористости и получение легкой штукатурки. Перлитовые штукатурки способствуют дополнительной тепло- и звукоизоляции стен, являются мерой защиты от нежелательных мостиков холода, а также грызунов, грибов и плесени во влажных помещениях [47].

Отдельно следует выделить наполнители, которые представлены различным сырьем: известняком, мрамором, гипсом [41], гидросиликатами кальция [51], осажденным CaCO_3 [52], известковой пылью и природными пуццоланами [39], стеклянными полыми и алюмосиликатными зольными микросферами [42, 49, 53]. Сочетание пластифицирующих добавок с известково-карбонатной пылью положительно сказывается на прочности раствора даже при неизменном водосодержании [54]. Наполнитель из осажденного карбоната кальция, применяемый в инъекционно-реставрационных композитах [52], позволяет в 10 раз снизить водосодержание известковых систем, в 10–15 раз уменьшить их объемную усадку в процессе твердения, а также повысить адгезионную прочность при сохранении необходимой вязкости.

В работе [53] в качестве внутреннего отделочного слоя была принята цементно-шлаковая штукатурка. Наружная поверхность стены отделана сухой строительной смесью KNAUF Grunband и разработанными известковыми составами с применением полых стеклянных и зольных алюмосиликатных микросфер. Определялась температура наружного воздуха, при которой начинается конденсация влаги в стене, и на границе отделочный слой – газобетонная стена. Введение в состав микросфер значительно снижает температуру начала конденсации на границе системы отделочное покрытие – ограждающая конструкция (до $-11,4$ и $-11,9^\circ\text{C}$ соответственно). В результате минимизируется количество конденсирующейся влаги в толще стены и продлевается срок службы конструкции в целом.

Особое внимание следует обратить на проблему утилизации отходов, так как вторичное их использование является важным пунктом обеспечения экологического строительства. Так, в качестве компо-

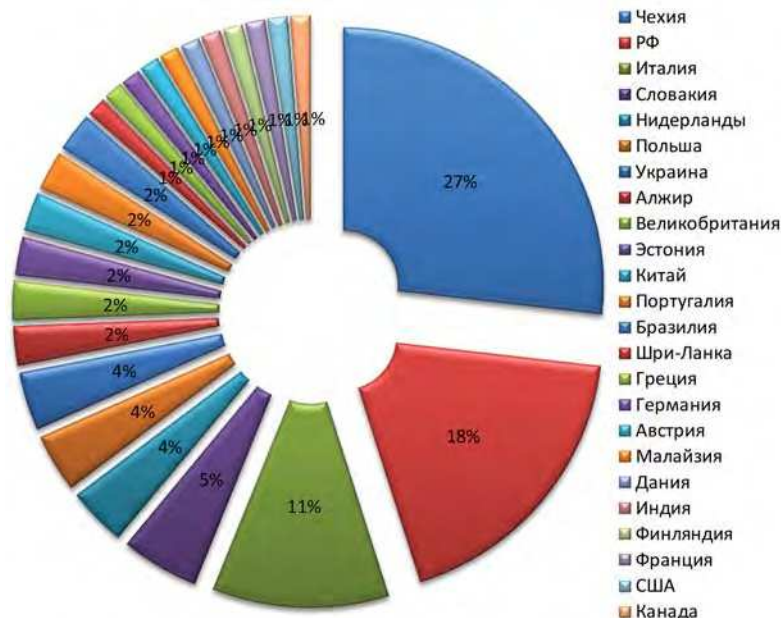


Рис. 3. Географическая принадлежность отобранных публикаций
Fig. 3. Geography of the selected publications

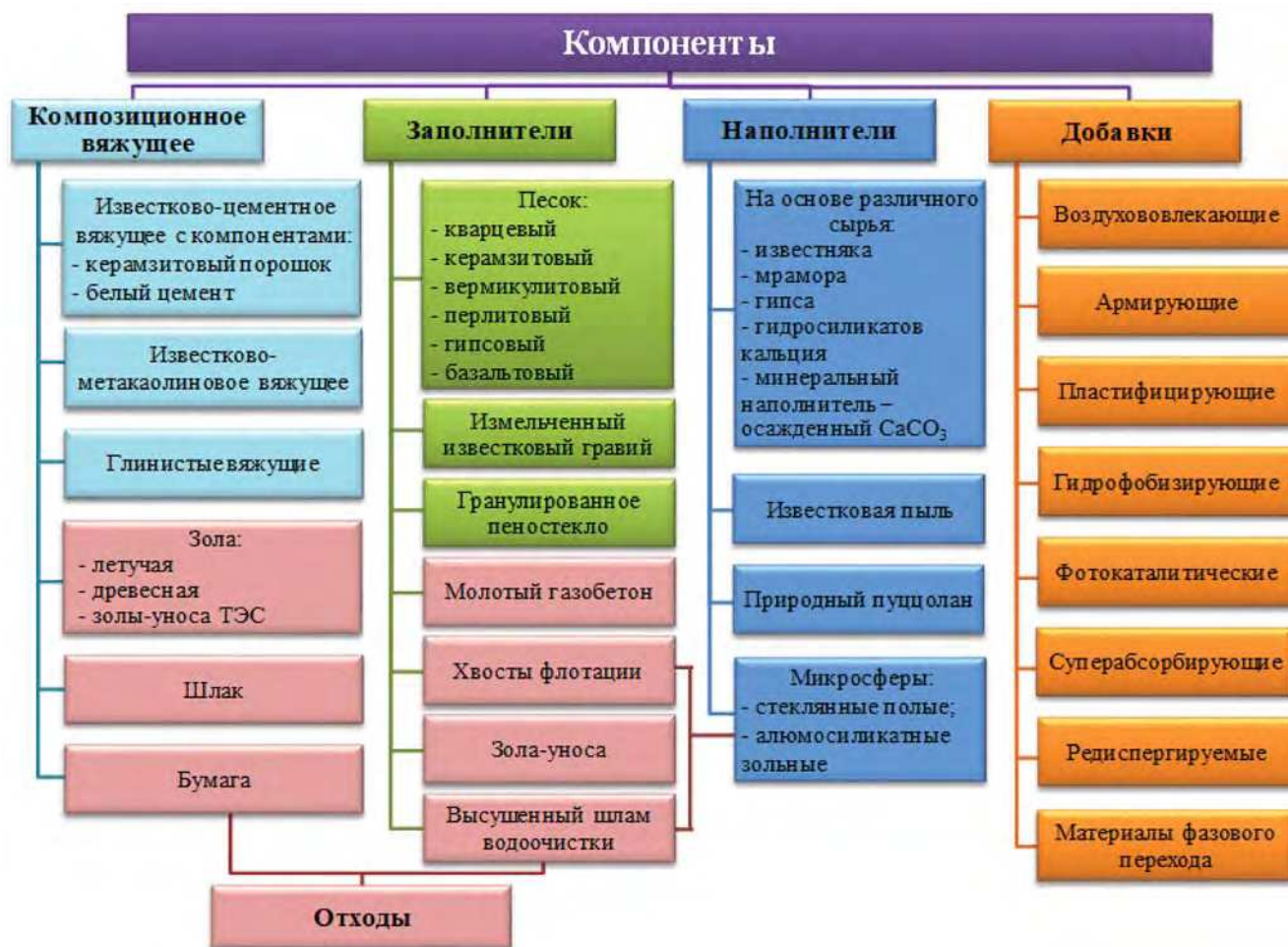


Рис. 4. Сырьевые компоненты, используемые при производстве штукатурок
Fig. 4. Raw materials used in the production of plasters

нентов композиционных вяжущих либо заполнителей/наполнителей (в зависимости от дисперсности) штукатурных смесей находят применение следующие отходы производств: высушенный шлам водоочистки ТЭЦ [55], шлаки [24, 56], золы (летучая, донная [49, 57], древесная [34], золы-уноса ТЭЦ [54]), хвосты флотационного извлечения золота из черносланцевых пород [58].

В работе [55] предложено использование шлама водоочистки ТЭЦ, предварительно высушенного и измельченного, в качестве наполнителя в известково-цементных композитах. Оптимальное снижение водопотребности и повышение прочности наблюдается при сокращении расхода извести на 40–50% при введении наполнителя в количестве 80% от заменяемой массы извести. При этом увеличивается жизнеспособность растворных смесей в 1,5–2 раза. Штукатурные покрытия характеризуются более низким водопоглощением и меньшим падением прочности, что способствует повышению морозостойкости до 15%.

Замещение песка золой-уноса и зольными остатками способствует снижению плотности и, как следствие, статической нагрузки всей конструкции. Авторами получены материалы с низкой теплопроводностью, благодаря чему стеновые конструкции

приобретают энергоэффективность за счет меньшей теплопередачи внутри помещения и потребности в охлаждении/обогреве [57]. Использование древесной золы обусловлено химическим, минералогическим и гранулометрическим составом, близким к гидрату извести, что позволило ее рассматривать как пуццолановую добавку для известковых строительных растворов. Положительное влияние данного компонента сводится к следующему: снижению пористости, теплопроводности и удельной теплоемкости, высокой скорости переноса воды при условии сохранения основных характеристик растворной смеси (подвижности, удобоукладываемости) и механических параметров [34].

Следует отметить, что при использовании различных зол необходима корректировка составов штукатурных систем за счет добавления водоотталкивающих, пластифицирующих, адгезивных и других добавок. Экологический вклад складывается из замены ограниченно-природных ресурсов и повторном использовании побочных продуктов производств [59].

Еще одним видом отходов является бумага, которую возможно утилизировать при производстве бумажной штукатурки [60, 61]. В состав данных материалов входят следующие компоненты: бумага (для сравнения

Составы и характеристики штукатурных смесей и покрытий
Compositions and characteristics of plaster mixes and coatings

№ п/п	Состав штукатурной смеси			Соотношение компонентов	Физико-механические свойства штукатурных смесей и покрытий	Функциональные свойства штукатурных покрытий	Примечания	Ссылка на источник
	Вид вяжущего	Вид заполнителя	Функциональные добавки					
1	Известково-цементное вяжущее	Песок	1. Микрокапсулированная парафиновая смесь из полиметилметакрилата, Micronal DS 5040 (BASF) 2. Парафиновая смесь, заключенная в полимерную оболочку Rubitherm RT 22HC (Rubitherm): водная дисперсия	Оптимальные составы штукатурной смеси, кг: 1. Штукатурная смесь – 6,3; вода – 2,35; Micronal – 1,51 (24%) (В/В=0,37) 2. Штукатурная смесь – 6,3; вода – 0,63; Rubitherm – 2,52 (12%) (В/В=0,1)	– Плотность – 1667 кг/м ³ – Пористость – 38,5% – Прочность при изгибе – 0,65 МПа – Прочность при сжатии – 1,4 МПа – Плотность – 2120 кг/м ³ – Пористость – 38,4% – Прочность при изгибе – 0,53 МПа – Прочность при сжатии – 1,9 МПа	– Коэффициент теплопроводности пароводяного пара (состав 1 – 10,1; состав 2 – 9,4) – Диффузионная проницаемость водяного пара, (состав 1 – 1,79 · 10 ⁻¹¹ , состав 2 – 1,94 · 10 ⁻¹¹) – Коэффициент водопоглощения, кг/м ² · с ^{1/2} (состав 1: 0,221; состав 2 – 0,215) – Изотермы сорбции и десорбции (потеря массы при относительной влажности 98%; состав 1 – 5,1; состав 2 – 3,4) – Буферная емкость влаги, г/м ² · % относительной влажности (состав 1 и 2 – 1,36) – Теплопроводность, Вт/(м·К) (состав 1 – 0,17, состав 2 – 0,31) – Температуропроводность, 10 ⁻⁶ · м ² /с (состав 1 – 0,19, состав 2 – 0,25) – Параметры аккумулирования тепла (кривые теплового потока при охлаждении и нагревании, удельная теплоемкость при различной температуре)	Используется коммерческая известково-цементная сухая штукатурная смесь Manu 1 (Baumit)	[15]
2	1. Известково-цементное вяжущее: извести, белый цемент	– Песок гипсовый – Песок природный кварцевый		1. Известково-цементная штукатурка (LC) коммерческого производства В/Т=0,24	– Пористость (П): Состав 1: П = 44%, после 5 циклов «смачивания сушки» – 52%	– Коэффициент линейного температурного расширения после 5 циклов при влажности 0% – 1 (м ² /м ³) ⁻¹ , при влажности 40% – 1 · 10 ⁻⁴ (м ² /м ³) ⁻¹		[31]

Продолжение таблицы

№ п/п	Состав штукатурной смеси			Соотношение компонентов	Физико-механические свойства штукатурных смесей и покрытий	Функциональные свойства штукатурных покрытий	Примечания	Ссылка на источник
	Вид вяжущего	Вид заполнителя	Функциональные добавки					
	2. Известково-метакаолиновое вяжущее: известь высшей чистоты (98% CaO + MgO) и метакаолин Mefisto K05, производитель компания České luhkové závody Inc., Nové Strašecí).	Вид заполнителя: цевый и ба-зальтовый 0–4 мм	Функциональные добавки	2. Известково-метакаолиновая (LM) штукатурка, кг: Известь – 2,08; Песок – 7,5; Метакаолин – 0,42, В/Т = 0,223	Состав 2: П = 34%, после 5 циклов «смачивания-сушки» – 31% – Усадка (наблюдается у обеих составов уже во время первого цикла)	– Глубина карбонизации: LC – через 2,5 г от 25 до 35 мм; LM – через 2,5 г от 11 до 16 мм		
3	Известково-цементное вяжущее: гидроксид кальция вместе с гидравлическими или латентно-гидравлическими вяжущими: цемент СЕМ I 42,5 R, метакаолин Mefisto K05 и активированная летучая зола: I – чистая активированная летучая зола;	Термообработанный карбид кремния на основе вспененного вулканического стекла	– Ценосферы: размер частиц 10–350 мкм. – Метилцеллоза – Химический агент	Состав 1, кг: Термосилит – 9,74; ценосферы – 0; известь гидрат – 20; цемент – 7,5; метакаолин – 0; метилцеллоза – 0,12; хим. агент – 0,15; вода – 36,7; зола I – 0; зола 2 – 0. Состав 2: Термосилит – 9,74; ценосферы – 0; известь гидрат – 20; цемент – 0; метакаолин – 7,5; метилцеллоза – 0,12; хим. агент – 0,15; вода – 39,3; зола I – 0; зола 2 – 0.	– Плотность штукатурок: 358 (смесь 9) – 428 кг/м ³ , – Прочность при изгибе и сжатии: оптимальные смеси 2 и 5. – Пористость: 61,28–75,17%. Максимальные значения у смеси 5.	– Теплопроводность не более 0,09 Вт/(м·К) (наименьшее значение 0,075 Вт/(м·К) – смесь 9); – Определение диффузионного сопротивления (5,09 до 6,34) – Коэффициент водопоглощения (самое низкое 18,7 кг м ⁻² – смесь 2, самое высокое 30,7 кг м ⁻² – смесь 9). – Общая влажность материала не более 1,15% – Компьютерное моделирование гидротермального поведения смесей: использование новых штукатурок повысило температуру внутренней поверхности на 0,95–1,32°С.		[49]

Продолжение таблицы

№ п/п	Состав штукатурной смеси			Соотношение компонентов	Физико-механические свойства штукатурных смесей и покрытий	Функциональные свойства штукатурных покрытий	Примечания	Ссылка на источник
	Вид вяжущего	Вид заполнителя	Функциональные добавки					
	2 – активированная цементном зола-унос			<p><i>Состав 3:</i> Термосилит – 9,74; ценосферы – 6; известь гидрат – 20; цемент – 7,5; метакаолин – 0; метилцеллюлоза – 0,12; хим. агент – 0,15; вода – 31,1; зола 1 – 0; зола 2 – 0.</p> <p><i>Состав 4:</i> Термосилит – 9,74; ценосферы – 0; известь гидрат – 20; цемент – 6; метакаолин – 1,5; метилцеллюлоза – 0,12; хим. агент – 0,15; вода – 35,2; зола 1 – 0; зола 2 – 0.</p> <p><i>Состав 5:</i> Термосилит – 9,74; ценосферы – 0; известь гидрат – 20; цемент – 0; метакаолин – 4,5; метилцеллюлоза – 0,09; хим. агент – 0,075; вода – 30; зола 1 – 0; зола 2 – 0.</p> <p><i>Состав 6:</i> Термосилит – 9,74; ценосферы – 0; известь гидрат – 15; цемент – 0;</p>				

Продолжение таблицы

№ п/п	Состав штукатурной смеси			Соотношение компонентов	Физико-механические свойства штукатурных смесей и покрытий	Функциональные свойства штукатурных покрытий	Примечания	Ссылка на источник	
	Вид вяжущего	Вид заполнителя	Функциональные добавки						
				<p>метакаолин – 0; метилцеллюлоза – 0,09; хим. агент – 0,075; вода – 37,3; зола 1 – 5; зола 2 – 0.</p> <p><i>Состав 7:</i> Термосилит – 9,74; ценосферы – 0; известь гидрат – 15; цемент – 0; метакаолин – 0; метилцеллюлоза – 0,09; хим. агент – 0,075; вода – 34; зола 1 – 0; зола 2 – 5.</p> <p><i>Состав 8:</i> Термосилит – 9,74; ценосферы – 0; известь гидрат – 15; цемент – 0; метакаолин – 1,25; метилцеллюлоза – 0,09; хим. агент – 0,075; вода – 35,3; зола 1 – 3,75; зола 2 – 0.</p> <p><i>Состав 9:</i> Термосилит – 9,74; ценосферы – 0; известь гидрат – 15; цемент – 0; метакаолин – 3,75; метилцеллюлоза – 0,09; хим. агент – 0,075; вода – 36; зола 1 – 1,25; зола 2 – 0.</p>					

№ п/п	Состав штукатурной смеси			Соотношение компонентов	Физико-механические свойства штукатурных смесей и покрытий	Функциональные свойства штукатурных покрытий	Примечания	Ссылка на источник
	Вид вяжущего	Вид наполнителя	Функциональные добавки					
4	Композиционно-гидрат извести CL 90 S производства Sertovy schody a. s.; керамический порошок марки – отходы кирпичного завода Nevlin iz Heluz cihlářský průmysl; портландцемент SEM I 42.5 R.	Кварцевый песок размером 0–4 мм (карьер Sřteleř). Вспученный перлит марки EP 180	Состав №1, кг: Известь – 50; керамический порошок – 50; цемент – 25; перлит – 50. В/В = 1,05 Состав №2, кг: Известь – 50; керамический порошок – 50; цемент – 25; перлит – 25, песок – 25. В/В = 1,61	– Распределение пор (0,1–10 мкм. Состав 1 – более высокая пористость, преобладание пор 1–10 мкм) – Предел прочности при сжатии, МПа: Состав 1: 28 сут – 3,31; 90 сут – 3,96; 180 сут – 4 Состав 2: 28 сут – 4,27; 90 сут – 4,63; 180 сут – 4,096 Контроль: 28 сут – 0,60; 90 сут – 0,66; 180 сут – 0,90.	– Коэффициент сопротивления диффузии водяного пара (состав 1 – 14, состав 2 – 17) – Коэффициент водопоглощения, кг·м ² ·с ^{1/2} (состав 1 – 0,334; состав 2 – 0,238) – Изотермы сорбции воды (при увеличении относительной влажности разница между составами более заметна: относительная влажность воздуха 98% – отклонение до 49%. Состав 1 – высокая способность к накоплению влаги 28%).			[32]
5	Известково-цементное вяжущее		Коммерчески выпускаемая известково-цементная штукатурка для наружных и внутренних штукатурных работ (МРА 35, Баумит)	– Усадка в насыщенном водой состоянии после 2 циклов увлажнения и сушки – $2,7 \cdot 10^{-4}$ м·м ⁻¹ – Усадка в высушенном состоянии после 5 циклов – $1,5 \cdot 10^{-3}$ м·м ⁻¹	– Коэффициент линейного расширения после 2–5 циклов при влажности 40% – в диапазоне $1 \cdot 10^{-4}$ – $1 \cdot 10^{-5}$ (уменьшается с увеличением влажности) – Компьютерное моделирование: материалы способны противостоять напряжениям, вызванные гигроскопической деформацией.	Проведено вычислительное моделирование, показывающее возможность совместить известково-цементной штукатурки и автособтона газобетона	[84]	
6	1. Известково-цементное вяжущее (торговое название Тетпо UM) 2. Гипс 3. Цемент 4. Известь	Углеродные волокна диаметром 1,76 мкм, длиной 8 мм	Соотношение армирования волокон 1, 2 и 3%	– Эффективность электромагнитного экранирования: чистая штукатурка независимо от ее вида – более -10 дБ для диапазона частот 500–3000 МГц, добавление углерода снизило до -60 дБ (гипсовая штукатурка при 3% волокон).			[62]	

Продолжение таблицы

№ п/п	Состав штукатурной смеси			Соотношение компонентов	Физико-механические свойства штукатурных смесей и покрытий	Функциональные свойства штукатурных покрытий	Примечания	Ссылка на источник
	Вид вяжущего	Вид заполнителя	Функциональные добавки					
7	1. Цемент 2. Гипс 3. Известково-цементное вяжущее – (Тетмо УМ)		– Стекловолокна диаметром 14 мкм, длиной 12 мм – Базальтовые волокна диаметром 13 мкм, длиной 7,7 мм	Соотношение армирования волокон 1 и 2%	– Пористость увеличивается с ростом дозировки фибры (составы со стекловолоком – от 0,4 до 1,4%, с базальтовой фиброй – от 0,65 до 2,4%).	– Коэффициент звукопоглощения (наилучшее звукопоглощение у цементной штукатурки с базальтовыми волокнами – 0,8)		[63]
8	Композиционное вяжущее: гидрат извести, цемент СЕМ I 42,5 R, производитель Lafarge cement, пуццолан – керамический порошок	Кремнистый мелкодисперсный заполнитель		Оптимальный состав, кг: Пуццолан – 3,125; Извести гидрат – 2,81; Цемент – 0,31; Заполнитель: фракции: 0,3–0,8 – 6,25 0,6–1,2 – 6,25 1–4 – 6,25 В/Т=0,2	Вакуумное насыщение: – Плотность – 2597 кг/м ³ – Пористость – 31,5% Гелевая пикнометрия: – Плотность – 2659 кг/м ³ – Пористость – 33,7%	– Коэффициент водопоглощения 0,1416 кг·м ⁻² ·с ^{-1/2} и водопоглощаемость 2,04·10 ⁻⁷ м ² ·с ⁻¹ (уменьшаются с увеличением пуццолана) – Коэффициент сопротивления диффузии водяного пара: сухая чаша – 21,43; влажная чаша – 12,97 (увеличивается с увеличением пуццолана)		[44]
9	1. Красная глина	Крупнозернистый и мелкий песок производителя Aldeias de Pedra		Красная глина, мелкий и крупный песок с объемным соотношением 1:3:1,5 и массовым соотношением 1:3,04:1,78	– Линейная усадка 0,1±0,0% – Объемная плотность в сухом состоянии 1,77 кг/дм ³ – Динамический модуль упругости 3781 Н/мм ² – Прочность при сжатии (1,01 МПа) и изгибе (0,2 МПа) – Потери при сухом истирании (0,87 г) и из-за недостатка сцепления поверхностей (0,07 г) – Твердость – 83	– Кривые сорбции и десорбции, пределы сорбции. (Через 24 часа штукатурки составов 1 и 2 адсорбировали около 104 г/м ² и 76 г/м ² водяного пара соответственно. Таким образом, кривые сорбции показывают тенденцию к росту через 24 часа, данные штукатурки могут адсорбировать большее количество водяного пара)	Состав 1 – разработанная штукатурка	[33]

Продолжение таблицы

№ п/п	Состав штукатурной смеси			Соотношение компонентов	Физико-механические свойства штукатурных смесей и покрытий	Функциональные свойства штукатурных покрытий	Примечания	Ссылка на источник
	Вид вяжущего	Вид заполнителя	Функциональные добавки					
	2. Смешанный продукт производства Embrago: вяжущее красная глина из региона Алгарве	Мелкий песок 0–2 мм	Измельченные соломные волокна		– Линейная усадка 0,2±0,1% – Объемная плотность в сухом состоянии 1,82 кг/дм ³ – Прочность при сжатии (0,96 МПа) и изгибе (0,25 МПа) – Динамический модуль упругости 4267 Н/мм ² – Потери при сухом истирании (0,63 г) и из-за недостатка сцепления поверхностей (0,05 г) – Твердость – 87			
	3. Композиционное вяжущее (производства Aldeias de Pedra: желтая глина производства Songila, тесто воздушной извести)	Крупный песок производства Aldeias de Pedra			– Линейная усадка 1,4±0,8% – Объемная плотность в сухом состоянии 1,78 кг/дм ³ – Прочность при сжатии (0,51 МПа) и изгибе (0,17 МПа) – Динамический модуль упругости 2977 Н/мм ² – Потери при сухом истирании (0,2 г) и из-за недостатка сцепления поверхностей (0,06 г) – Твердость – 81			
	4. Цемент (штукатурка производства Secil Argamassas company –	Тонкомолотый известняк			– Линейная усадка 0,1±0,1% – Объемная плотность в сухом состоянии 1,79 кг/дм ³			

Продолжение таблицы

№ п/п	Состав штукатурной смеси			Соотношение компонентов	Физико-механические свойства штукатурных смесей и покрытий	Функциональные свойства штукатурных покрытий	Примечания	Ссылка на источник
	Вид вяжущего	Вид заполнителя	Функциональные добавки					
	RHP Manual Interior				<ul style="list-style-type: none"> – Прочность при сжатии (2,84 МПа) и изгибе (0,84 МПа) – Динамический модуль упругости 5571 Н/мм² – Потери при сухом истирании (0,2 г) и из-за недо-статка сцепления поверх-ностей (0,06 г) – Твердость – 91 			
	5. Гипс (произ-водства Sival)				<ul style="list-style-type: none"> – Линейная усадка 0,2±0,1% – Объемная плотность в сухом состоянии 1,22 кг/дм³ – Прочность при сжатии (4,15 МПа) и изгибе (1,51 МПа) – Динамический модуль упругости 4006 Н/мм² – Потери при сухом исти-рании (0,0 г) и из-за недо-статка сцепления поверх-ностей (0,02 г) – Твердость – 96 			
10	Гидрат извести СЛ90-S; дре-весная зола биомассы	Кварцевый песок круп-нозернистой фракции 0–2 мм (Че-хия) смеси-вали из трех нормализо-ванных пес-чаных фрак-ций	Количество древе-сной биомассы: 5, 10 и 15% Соотношение вода/связующее – 1 Соотношение пе-сок/связующее – 3	<ul style="list-style-type: none"> – Плотность на 28 сут, кг/м³ (контроль – 2578; 5% золы – 2578; 10% золы – 2577; 15% золы – 2579) – Открытая пористость на 28 сут, % (контроль – 32,4; 5% золы – 32,3; 10% золы – 32,6; 15% золы – 32,7). 	<ul style="list-style-type: none"> – Коэффициент влагопоглоще-ния, кг/(м²·с^{1/2}): контроль – 0,307; 5% золы – 0,304; 10% золы – 0,310; 15% золы – 0,321 – Коэффициент сопротивления диффузии водяного пара. Сухая чаша: контроль – 12,2; 5% золы – 12,3; 10% золы – 12,0; 15% золы – 11,3; – влажная чаша: контроль – 10,7; 			[34]

Продолжение таблицы

№ п/п	Состав штукатурной смеси			Соотношение компонентов	Физико-механические свойства штукатурных смесей и покрытий	Функциональные свойства штукатурных покрытий	Примечания	Ссылка на источник
	Вид вяжущего	Вид заполнителя	Функциональные добавки					
		0-0,5 мм, 0,5-1 мм и 1-2 мм. Массовое соотношение отдельных фракций песка состав-ляло 1:1:1.			<p>– Распыль смеси 180-250 мм (увеличивается с увеличением дозировки золь)</p> <p>– Прочность при сжатии (0,4-2,5 МПа) и изгибе (0,2-0,7 МПа) в возрасте 28-365 сут.</p> <p>– SAI: индекс силовой активности, рассчитанный как отношение прочностей при сжатии исследуемых растворов и прочностей при сжатии эталонного раствора, %.</p> <p>При 28 сут: 5% золь – 80,6; 10% золь – 78,7; 15% золь – 75.</p> <p>При 365 сут: 5% золь – 123,6; 10% золь – 103; 15% золь – 91</p>	<p>5% золь – 11,0; 10% золь – 10,2; 15% золь – 9,2</p> <p>– Диффузионная проницаемость водяного пара, *10⁻¹¹ с. Сухая чаша: контроль – 1,5; 5% золь – 1,48; 10% золь – 1,52; 15% золь – 1,62; влажная чаша: контроль – 1,71; 5% золь – 1,66; 10% золь – 1,79; 15% золь – 1,99</p> <p>– Теплопроводность, Вт/(м·К) (сухой образец: контроль – 0,88; 5% золь – 0,86; 10% золь – 0,79; 15% золь – 0,76; влажный образец: контроль – 2,22; 5% золь – 2,01; 10% золь – 2,34; 15% золь – 2,45</p> <p>– Объемная теплоемкость, *10⁶ Дж/(м³·К) (сухой образец: контроль – 1,44; 5% золь – 1,59; 10% золь – 1,43; 15% золь – 1,39; влажный образец: контроль – 1,62; 5% золь – 1,64; 10% золь – 1,70; 15% золь – 1,71</p> <p>– Оценка воздействия на окружающую среду. Количество углекислого газа, выбрасываемого в атмосферу при производстве: 5% золь – 5,9; 10% золь – 11,8; 15% золь – 17,6.</p> <p>Количество потребляемой энергии, кВт·ч: 5% золь – 0,8; 10% золь – 1,6; 15% золь – 2,4.</p>		

Продолжение таблицы

№ п/п	Состав штукатурной смеси			Соотношение компонентов	Физико-механические свойства штукатурных смесей и покрытий	Функциональные свойства штукатурных покрытий	Примечания	Ссылка на источник
	Вид вяжущего	Вид заполнителя	Функциональные добавки					
11	Цемент, известь	Песок	Суперабсорбирующие полимеры (САП) Sreasorb (Evonik, Эссен, Германия)	Товарная цементно-известьковая штукатурка, состоящая из цемента, извести, песка в соотношении 1:1:5 Модификация САП в количестве 0,5 (состав 1), 1 (состав 2) и 1,5 (состав 3) мас. %	<ul style="list-style-type: none"> – Пористость, % (контроль – 38; состав 1 – 42; состав 2 – 44,1; состав 3 – 49,6) – Плотность, кг/м³ (контроль – 2574; состав 1 – 2557; состав 2 – 2541; состав 3 – 2550) 	<ul style="list-style-type: none"> – Коэффициент водопоглощения, кг/(м²·с^{1/2}): контроль – 0,0798; состав 1 – 0,1369; состав 2 – 0,1875; состав 3 – 0,2547. – Коэффициент сопротивления диффузии водяного пара: контроль – 15,8; состав 1 – 14,3; состав 2 – 12,3; состав 3 – 9,4. – Диффузионная проницаемость водяного пара, *10⁻¹¹ с: контроль – 1,15; состав 1 – 1,28; состав 2 – 1,48; состав 3 – 1,94. – Изотермы сорбции и десорбции. Моделирование условий для оценки буферной способности влаги. (Состав 3 показал наилучшую реакцию относительной влажности в смысле потенциала буферизации влаги) 		[79]
12	Эталонная штукатурка MV1 (KNAUF, Германия)		Суперабсорбирующие полимеры SAP (Sreasorb производства Evonik Ltd., Германия) – низкосшивочный натрий акрилат	Дозировка SAP 0,5 (состав 1); 1 (состав 2) и 1,5 (состав 3) мас. %	<ul style="list-style-type: none"> – Плотность, кг/м³: контроль – 2574; состав 1 – 2557; состав 2 – 2541; состав 3 – 2550 – Открытая пористость, %: контроль – 37; состав 1 – 42; состав 2 – 44; состав 3 – 49 	<ul style="list-style-type: none"> – Теплопроводность, Вт/(м·К): контроль – 0,65; состав 1 – 0,58; состав 2 – 0,53; состав 3 – 0,45 – Объемная теплоемкость, Дж·кг⁻¹·К⁻¹: контроль – 896; состав 1 – 933; состав 2 – 900; состав 3 – 878 – Коэффициент сопротивления диффузии водяного пара: контроль – 15,8; состав 1 – 14,3; состав 2 – 12,3; состав 3 – 9,4 – Кажущийся коэффициент диффузии, *10⁻⁸ м²·с⁻¹: контроль – 1,6; состав 1 – 2,9; состав 2 – 2,9; состав 3 – 5,7 		[80]

Продолжение таблицы

№ п/п	Состав штукатурной смеси		Соотношение компонентов	Физико-механические свойства штукатурных смесей и покрытий	Функциональные свойства штукатурных покрытий	Примечания	Ссылка на источник
	Вид вяжущего	Вид наполнителя					
13	Гидрат извести (limekiln Certovy Schoda, группа Lhoist, Чехия) Портландцемент (Radotín, Чехия).	Наполнитель – кварцевый песок (Filtrační pískový, rský Ltd., Chlum u Doks, Чехия) Три различные фракции песка с размером с зерном частиц 0,063 / 0,5 мм и 0,08 / 1 мм и 1/2 мм, соотношение фракций 1:1:1 Вспученный перлит (ООО «Перлит Прага»).	Дозировка гидрата извести и цемента 1:1 по массе или 2:1 по объему Эталонный состав – соотношение связующее/наполнитель 1: 4 по массе Исследуемые составы: замещение песка перлитом составляло 25 (состав 1), 50 (состав 2), 75 (состав 3) и 100 (состав 4) % по объему	– Плотность, кг/м ³ : контроль – 2525; состав 1 – 2330; состав 2 – 2090; состав 3 – 2034; состав 4 – 1618 – Открытая пористость, %: контроль – 28,1; состав 1 – 34,1; состав 2 – 44,4; состав 3 – 55,3; состав 4 – 60,8	– Изменение относительной влажности на границе раздела внутренней штукатурки и керамического кирпича, определенное эффектом буферизации влаги (уменьшение распределения влаги в поперечном сечении стены по сравнению с эталонной штукатуркой) – Коэффициент сопротивления диффузии водяного пара: контроль – 21; состав 1 – 17,4; состав 2 – 12,9; состав 3 – 9,9; состав 4 – 9,4 – Диффузионная проницаемость водяного пара, *10 ⁻¹² кг/(м·с·Па): контроль – 9,4; состав 1 – 11,6; состав 2 – 15,4; состав 3 – 19,9; состав 4 – 21,1 – Коэффициент диффузии, *10 ⁻⁶ м ² ·с ⁻¹ : контроль – 1,3; состав 1 – 1,6; состав 2 – 2,1; состав 3 – 2,7; состав 4 – 2,9 – Влажосодержание, кг/м ³ : контроль – 275; состав 1 – 338; состав 2 – 441; состав 3 – 544; состав 4 – 593	Разработанные цементно-известковые штукатурки, содержащие перлит и на второй стадии покрытые силиконовым маслом	[36]
14	Гидрат извести, портландцемент	Три вида кварцевого песка размером частиц до 2 мм	Дозировка гидрата извести и цемента находилась в соотношении 1:1 по массе	– Плотность, кг/м ³ : контроль – 2525; состав 1 – 2330; состав 2 – 2090; состав 3 – 2034; состав 4 – 1618	– Теплопроводность, Вт/(м·К): контроль – 1,39; состав 1 – 0,91; состав 2 – 0,42; состав 3 – 0,22; состав 4 – 0,12 – Температуропроводность, *10 ⁻⁶ м ² /с:		[37]

Продолжение таблицы

№ п/п	Состав штукатурной смеси			Соотношение компонентов	Физико-механические свойства штукатурных смесей и покрытий	Функциональные свойства штукатурных покрытий	Примечания	Ссылка на источник
	Вид вяжущего	Вид заполнителя	Функциональные добавки					
15	Порландцемент (ОПС) по стандарту Sri Lanka, SS855, известь	Песок речной размер от 0,6 мм до 4,75 мм	Кокосовая койра, средняя длина 24 мм, диаметр около 20 мкм	Исследуемые составы: замещение песка перлитом составляло 25 (состав 1), 50 (состав 2), 75 (состав 3) и 100 (состав 4) % по объему	<p>– Открытая пористость, %: контроль – 28,1; состав 1 – 34,1; состав 2 – 44,4; состав 3 – 55,3; состав 4 – 60,8</p> <p>– Прочность при изгибе и сжатии соответственно, МПа: контроль – 2,7 и 8,1; состав 1 – 2,3 и 7,8; состав 2 – 2 и 5,2; состав 3 – 1,4 и 3,9; состав 4 – 1,2 и 2,9</p> <p>– Модуль Юнга, ГПа: контроль – 10,9; состав 1 – 8; состав 2 – 3,7; состав 3 – 2,5; состав 4 – 1,6</p>	<p>контроль – 0,82; состав 1 – 0,55; состав 2 – 0,26; состав 3 – 0,18; состав 4 – 0,16</p> <p>– Теплоемкость, *10⁶ Дж·м⁻³·К⁻¹: контроль – 1,70; состав 1 – 1,65; состав 2 – 1,56; состав 3 – 1,24; состав 4 – 0,78</p>		
				Соотношение цемента: известь: песок составляло 1:2:8 по объему Содержание кокосовой койры 0,125 (состав 1); 0,25 (состав 2); 0,5 (состав 3) и 0,75 (состав 4) % от массы компонентов смеси. Количество воды регулируется осадкой конуса 160 мм.	<p>– Текучесть (145–174 мм) и время схватывания раствора (215–235 мин): уменьшаются с увеличением дозировки фибры</p> <p>– Плотность, кг/м³: контроль – 1900; состав 1 – 1860; состав 2 – 1825; состав 3 – 1795; состав 4 – 1730</p> <p>– Пористость, %: контроль – 15,5; состав 1 – 18,5; состав 2 – 21,5; состав 3 – 23,5; состав 4 – 27</p>	<p>– Водопоглощение, %: контроль – 7,8; состав 1 – 10,3; состав 2 – 12; состав 3 – 13,5; состав 4 – 17</p> <p>– Стойкость к кислотным и щелочным воздействиям (наилучшие показатели у состава 4)</p>		[87]

Продолжение таблицы

№ п/п	Состав штукатурной смеси		Соотношение компонентов	Физико-механические свойства штукатурных смесей и покрытий	Функциональные свойства штукатурных покрытий	Примечания	Ссылка на источник
	Вид вяжущего	Вид наполнителя					
16	Гидратированная известь, цемент	Песок	Массовая дозировка добавки 8 (состав 1) и 24% (состав 2) от массы исходной сухой штукатурной смеси	<p>– Прочность при сжатии и изгибе соответственно, МПа: контроль – 2,8 и 1; состав 1 – 2,85 и 1,02; состав 2 – 2,9 и 1,05; состав 3 – 1,07 и 3,9; состав 4 – 2,65 и 0,84</p> <p>– Удельная прочность при изгибе (1–2,6) увеличивается при увеличении дозировки фибры</p> <p>– Изгиб, мм: контроль – 1,5; состав 1 – 1,5; состав 2 – 4,5; состав 3 – 19; состав 4 – 19</p> <p>– Плотность, кг/м³: контроль – 2416; состав 1 – 2129; состав 2 – 1667</p> <p>– Пористость, %: контроль – 34,9; состав 1 – 32,2; состав 2 – 28,5</p> <p>– Прочность при сжатии и изгибе соответственно, МПа: контроль – 3,13 и 0,9; состав 1 – 2,76 и 0,75; состав 2 – 1,76 и 0,65</p> <p>– Модуль Юнга, ГПа: контроль – 1,91; состав 1 – 1,88; состав 2 – 1,4</p>	<p>– Теплопроводность, Вт/(м·К): контроль – 0,54; состав 1 – 0,39; состав 2 – 0,18</p> <p>– Температуропроводность, *10⁻⁶ м²/с: контроль – 0,36; состав 1 – 0,27; состав 2 – 0,12</p> <p>– ДСК-анализ, на основе которого определены зависимости фазовых переходов и температуры от удельной теплоемкости</p> <p>– Компьютерное моделирование, при котором рассчитаны коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·К): контроль – 0,287; состав 1 – 0,286; состав 2 – 0,282</p> <p>и коэффициент термического сопротивления, м²·К/Вт: контроль – 3,49; состав 1 – 3,5; состав 2 – 3,54</p>	Использована сухая штукатурная смесь Baumit Manu 1. В рамках моделирования штукатурки наносились толщиной 15 мм на внутреннюю поверхность стены из автоклавного газобетона П4 – 500	[16]

Продолжение таблицы

№ п/п	Состав штукатурной смеси			Соотношение компонентов	Физико-механические свойства штукатурных смесей и покрытий	Функциональные свойства штукатурных покрытий	Примечания	Ссылка на источник
	Вид вяжущего	Вид заполнителя	Функциональные добавки					
17	Гипс (Алжир), воздушная известь с массовой долей 6%		Волокна финиковой пальмы	V/V = 0,6. Пальмовые волокна вводили в гипс в следующих весовых долях 0,5 (состав 1); 1 (состав 2); 1,5 (состав 3) и 2% (состав 4) для каждой длины 10, 20, 30 и 40 мм.	Составы с фиброй длиной 40 мм: – Плотность, кг/м ³ : контроль – 1240,13; состав 1 – 880,49; состав 2 – 818,49; состав 3 – 781,28; состав 4 – 756,48	Наилучшими показателями обладают составы с фиброй длиной 40 мм, для них представлены значения характеристик: – Теплопроводность, Вт/(м·К): контроль – 0,671; состав 1 – 0,456; состав 2 – 0,423; состав 3 – 0,403; состав 4 – 0,396 – Удельная теплоемкость, Дж/кг·К: контроль – 1471,00; состав 1 – 1956,43; состав 2 – 2015,27; состав 3 – 2059,40; состав 4 – 2088,82 – Температуропроводность, мм ² /с: контроль – 0,61; состав 1 – 0,40; состав 2 – 0,39; состав 4 – 0,37; состав 4 – 0,33 – Коэффициент паропроницаемости: состав 1 – 9; состав 2 – 13 – Буферизация влаги при прямых и синусоидальных колебаниях влаги соответственно, г/м ² ·% относительной влажности: состав 1 – 11,95 и 1,42; состав 2 – 1,45 и 1,05 – Сорбционная емкость при прямоугольных и синусоидальных колебаниях влаги соответственно, г/м ² . Адсорбция: состав 1 – 49,48 и 30,82; состав 2 – 33,93 и 23,27	Предварительно пальмовые волокна обрабатывались. Технологии смешения: 1. Смешение в сухом виде гипса и пальмовых волокон. 2. Добавляли воду и воздушную известь, перемешивали в течение 2 мм.	[64]
18	Гипс Глина	Песок		Песок – 69% Мелкозем – 25% Природная глина – 5%	– Плотность, кг/м ³ : состав 1 (гипс) – 856; состав 2 (глина) – 1258 – Пористость, %: состав 1 – 62; состав 2 – 45 – Общий объем пор, мм ³ /г: состав 2 – 651; состав 1 – 320 – Общая площадь поверхности, мм ² /г: состав 1 – 8; состав 2 – 9 – Средний диаметр пор, нм: состав 1 – 338; состав 2 – 141	– Коэффициент паропроницаемости: состав 1 – 9; состав 2 – 13 – Буферизация влаги при прямых и синусоидальных колебаниях влаги соответственно, г/м ² ·% относительной влажности: состав 1 – 11,95 и 1,42; состав 2 – 1,45 и 1,05 – Сорбционная емкость при прямоугольных и синусоидальных колебаниях влаги соответственно, г/м ² . Адсорбция: состав 1 – 49,48 и 30,82; состав 2 – 33,93 и 23,27		[10]

Продолжение таблицы

№ п/п	Состав штукатурной смеси			Соотношение компонентов	Физико-механические свойства штукатурных смесей и покрытий	Функциональные свойства штукатурных покрытий	Примечания	Ссылка на источник
	Вид вяжущего	Вид заполнителя	Функциональные добавки					
19	Бумажная штукатурка			<p>Состав: - 4 вида бумаги: принтерная (состав 1 (+20 г клея) и состав 2 (+40 г клея)), глянцевая (состав 3), картонные коробки для яиц (состав 4), газетная (состав 5). - Клей Metylan Universal Premium, состоит из крахмала, содержит противогрибковые добавки - Вода</p>	- Плотность, кг/м ³ : состав 1 – 250; состав 2 – 239; состав 3 – 139; состав 4 – 149;	Десорбция: состав 1 – 34,82 и 29,07; состав 2 – 23,7 и 20,65 - Изменение массы при различной относительной влажности и температуре - Сорбционная емкость (адсорбция и десорбция) - Буферизация влаги, г/м ² .% относительной влажности: состав 1 – 2,99; состав 2 – 2,74; состав 3 – 2,23; состав 4 – 2,22; состав 5 – 2,11. - Паропроницаемость, *10 ⁻¹¹ кг/(м·с·Па): состав 1 – 73,08; состав 2 – 82,96; состав 3 – 73,91; состав 4 – 69,65; состав 5 – 59,61		[6]
20	Цементно-известковая штукатурка Weber MV1	Песок	Скрытый теплоноситель – лабораторный формостойчивый материал с фазовым переходом (МФП) на основе композита диатомит/додеканол с пуццолановой активностью. Суперабсорбирующие полимеры САП-смесь	<p>Состав: цемент, известь, песок в соотношении 1:1:5 Эталонную штукатурку модифицировали в несколько степеней стадий путем добавления 5 мас. % МФП и 1 мас. % САП, до 25 мас. % и 5 мас. % соответственно.</p>	- Плотность, кг/м ³ : состав 1 – 2506; состав 2 – 2492; состав 3 – 2441; состав 4 – 2413; состав 5 – 2356; состав 6 – 2311 - Пористость, %: состав 1 – 35,99; состав 2 – 39,17; состав 3 – 39,53; состав 4 – 41,19; состав 5 – 41,77; состав 6 – 41,06	- Теплопроводность, Вт/(м·К): состав 1 – 0,543; состав 2 – 0,532; состав 3 – 0,533; состав 4 – 0,514; состав 5 – 0,505; состав 6 – 0,480 - Температуропроводность, м ² /с: состав 1 – 0,365; состав 2 – 0,333; состав 3 – 0,351; состав 4 – 0,330; состав 5 – 0,324; состав 6 – 0,312		[8]

Продолжение таблицы

№ п/п	Состав штукатурной смеси		Соотношение компонентов	Физико-механические свойства штукатурных смесей и покрытий	Функциональные свойства штукатурных покрытий	Примечания	Ссылка на источник
	Вид вяжущего	Вид заполнителя					
21	1. Каолинистая глинистая штукатурка		К воздушно-сухой глиняной штукатурке добавляли 20% массы воды (состав 1)	<p>Прочность при изгибе и на выдергивание соответственно, МПа:</p> <p>состав 1 – 1,38 и 0,85; состав 2 – 1,39 и 0,9; состав 3 – 1,35 и 0,95; состав 4 – 1,25 и 0,95; состав 5 – 0,9 и 0,8; состав 6 – 0,7 и 0,65</p>	<p>– Водопоглощение, кг/(м²·с^{1/2}): состав 1 – 0,112; состав 2 – 0,136; состав 3 – 0,176; состав 4 – 0,226; состав 5 – 0,254; состав 6 – 0,294</p> <p>– Влагопротускание, *10⁻⁸ м²/с: состав 1 – 1,61; состав 2 – 3,02; состав 3 – 8,46; состав 4 – 2,63; состав 5 – 4,9; состав 6 – 7,95</p> <p>– Коэффициент паропроницаемости:</p> <p>состав 1 – 9,31; состав 2 – 8,63; состав 3 – 8,36; состав 4 – 8,22; состав 5 – 8,3; состав 6 – 7,92</p> <p>– Паропротускание: *10⁻⁶ м²/с: состав 1 – 2,66; состав 2 – 2,87; состав 3 – 2,98; состав 4 – 3,01; состав 5 – 2,98; состав 6 – 3,13</p> <p>– Изотермы сорбции и десорбции</p> <p>– Буферизация влаги, г/м²·% относительной влажности:</p> <p>состав 1 – 1,1; состав 2 – 1,35; состав 3 – 1,55; состав 4 – 1,75; состав 5 – 2,1; состав 6 – 2,35</p>	[9]	
	2. Гипсовая штукатурка		К воздушно-сухой гипсовой штукатурке добавляли 30% массы воды (состав 2)				<p>– Плотность, кг/м³:</p> <p>состав 1 – 1258; состав 2 – 1590; состав 3 – 890</p>

Продолжение таблицы

№ п/п	Состав штукатурной смеси			Соотношение компонентов	Физико-механические свойства штукатурных смесей и покрытий	Функциональные свойства штукатурных покрытий	Примечания	Ссылка на источник
	Вид вяжущего	Вид наполнителя	Функциональные добавки					
3.	Известковая штукатурка	Песок мелкий (менее 1 мм)		Известковые штукатурки смешивали с песком (фракция менее 1 мм) в соотношении 1,2:5) и 30% массы воды (состав 3).		– Термогигрометрическое моделирование здания	зале (длительность 4 года)	
22	Портландцемент СЕМ I 42,5	Наполнитель: известняковая пыль (ИП) и природный пуццолан (ПП). Средний размер частиц 125 мкм. Заполнитель: измельченный известняковый грабий (D_{max} 15 мм), кремнистый речной песок (D_{max} 3 мм).	– Суперпластификатор на основе цепей модифицированных поликарбонатов эфиров – Полипропиленовое волокно (длина 12 мм, диаметр 0,3 мм)	Состав 1 на 1 м ³ (10% ИП), кг: Цемент – 616,5, ИП – 68,5, ПП – 0, ПП волокно – 1,2, суперпластификатор – 6,5, вода – 260, песок – 1274 Состав 2 на 1 м ³ (20% ПП), кг: Цемент – 548, ИП – 0, ПП – 137, ПП волокно – 1,2, суперпластификатор – 8,45, вода – 260, песок – 1274 В/Т=0,38	– Расплав конуса, мм: контроль – 257; состав 1 – 255; состав 2 – 245. – Время истечения из V-образной воронки, с: контроль – 8; состав 1 – 8,3; состав 2 – 9,7. – Прочность при сжатии и изгибе соответственно, МПа: контроль – 55 и 9,8; состав 1 – 45 и 8,2; состав 2 – 53 и 9,4. – Динамический модуль упругости, ГПа: контроль – 28; состав 1 – 26,1; состав 2 – 25,9. – Прочность на наклонный сдвиг, МПа: контроль – 23,2; состав 1 – 21,1; состав 2 – 20,4.	– Водопоглощение, кг/м ² ·ч ^{0,5} : контроль – 0,41; состав 1 – 0,40; состав 2 – 0,30.	С добавкой ИП и ПП образцы немного уступают контролю, но соответствуют требованиям, поэтому могут применяться в качестве замены ПЦ.	[39]
23	– Известково-кремнеземистое вяжущее (ИКВ) – Портландцемент	– Кварцевый песок (размер частиц 0,315; 0,63 и 1,25 (оптимально))	Комплексная добавка: пластификатор ПФМ-НЛК, водонепроницае-	Контрольный состав на 1 м ³ , кг: ПЦ – 290, ИКВ – 390, кварцевый песок – 780, керамзитовый песок – 490.	– Водопоглощение, %: контроль – 18,67; состав 1 – 16,67; состав 2 – 17,33. – Подвижность смеси, см: контроль – 5,6;			[40]

Продолжение таблицы

№ п/п	Состав штукатурной смеси			Соотношение компонентов	Физико-механические свойства штукатурных смесей и покрытий	Функциональные свойства штукатурных покрытий	Примечания	Ссылка на источник
	Вид вяжущего (ЗАО «Невский цементник»)	Вид заполнителя	Функциональные добавки					
24	1. Известково-цементное вяжущее: цемент (ПЩ 500)	– Керамзитовый песок	мье добавки на основе метилцеллолозы	<p>Расход компонентов лаб. замеса на 1,5 л, кг: ПЩ – 435, ИКВ – 590, кварцевый песок – 1175, керамзитовый песок – 735. ПЩ/ИКВ=0,75. Дозировка комплексной добавки 1,4 (состав 1) и 1,7% (состав 2) от массы вяжущего (ПФМ-НЛК – 1,2%, Меселlose – 0,1%, формият Са – 0,1%).</p> <p>Дозировка наполнителя 10–60% от массы цемента</p>	<p>состав 1 – 5,7; состав 2 – 5,1. – Жизнеспособность смеси, ч: контроль – 2; состав 1 – 3,15; состав 2 – 3. – Плотность, кг/м³: контроль – 2051; состав 1 – 1990; состав 2 – 2000 – Прочность при сжатии и изгибе соответственно, МПа: контроль – 15,72 и 4,60; состав 1 – 23,63 и 8,18; состав 2 – 19,68 и 6,82 – Водоудерживающая способность 96,1–96,5% (максимальный результат при введении наполнителя в количестве 20–40%) – Подвижность 5–8 см (у штукатурных растворов смесей уменьшается значительно медленнее, чем у цементно-известкового составов) – Расслаиваемость 7,7–8,3% (увеличивается с увеличением дозировки наполнителя) – Прочность 1,5–1,9 МПа (максимальный результат при введении наполнителя в количестве 40%)</p>			
	2. Известковое вяжущее	Наполнитель – шлам водочистки ТЭЦ (размер зерен до 80 мкм)						

Продолжение таблицы

№ п/п	Состав штукатурной смеси			Соотношение компонентов	Физико-механические свойства штукатурных смесей и покрытий	Функциональные свойства штукатурных покрытий	Примечания	Ссылка на источник
	Вид вяжущего	Вид заполнителя	Функциональные добавки					
25	Портландцемент М 400 ОАО «Вольный-цемент»	– Зола-уноса (Бурштynская ТЭС) – Песок средней крупности	– Известково-карбонатная пыль (ИКП) Любомирского известково-силикатного завода с содержанием СаО _{акт} – 32% – Пластификатор С-3	Состав на 1 м ³ , кг: ПЦ 120–180; зола 90–150; ИКП 50–100 Х ₁ – объемная концентрация карбонатной извести (ИКП), Х ₂ – суммарный объем ИКП и золы в общем объеме вяжущего	– Водопоглощаемость (увеличение значений как Х ₁ , так и Х ₂ во всех исследованных составах без добавки суперпластификатора вызывает увеличение водопоглощаемости. Введением суперпластификатора удаётся в значительной мере нивелировать различие в водопоглощаемости смесей, содержащих ИКП и без нее, особенно при умеренных значениях Х ₁ .) – Прочность, максимальная 41 МПа		Совместное введение ИКП и С-3 положительно влияет на прочность при неизменном водосодержании	[54]
26	Известь Брянского завода	Тонкодисперсный минеральный наполнитель (МН) – осажденный СаСО ₃	Суперпластификаторы (СП): на основе меламина – МФ-АР и 10-03, на основе нафталина – С-3 – на основе 3-х и 4-х ядерных ароматических углеводородов Н-1 и Н-3	Известковое тесто с В/Л=3,6. Оптимальное количество СП (0,1–0,15 мас. %) при совместном введении МН. <i>Оптимальный состав с СП (Н-1, С-3, МФ-АР):</i> Са(ОН) ₂ :СаСО ₃ : Н ₂ О = 1:2,5:1,26 СП – 0,1%, В/Л = 0,36	– Прочность при сжатии 28 сут (2,3 МПа), сцепление с кирпичом (2,3 МПа). – Адгезионная прочность после 50 циклов замораживания (0,7) – Усадочные деформации (11 об. %) – Пористость (0,212 м ³ /кг 10 ³)	– Адсорбция СП на поверхности зерен Са(ОН) ₂ (0,536 г/100г) – ξ-потенциал (-50 мВ) – Коэффициент белизны (0,95)		[52]

Продолжение таблицы

№ п/п	Состав штукатурной смеси		Соотношение компонентов	Физико-механические свойства штукатурных смесей и покрытий	Функциональные свойства штукатурных покрытий	Примечания	Ссылка на источник
	Вид вяжущего	Вид заполнителя					
27	Строительный гипс Г-5 БП (Гипсополимер, г. Пермь)	Измельченное в шаровой мельнице гранулированное пеностекло (стеклосодержащий компонент ССК)	Основные свойства гипсовой смеси оценивались при введении ССК фракции 0,063–4 мм в количестве 30 (состав 1), 40 (состав 2) и 50% (состав 3) от массы вяжущего	Начало схватывания, мин: контроль – 9; состав 1 – 5; состав 2 – 5,5; состав 3 – 6 – Водоудерживающая способность, %: контроль – 93,46; состав 1 – 95,707; состав 2 – 93,95; состав 3 – 85,035. – Прочность сцепления с основанием (кирпич керамический) 0,44–0,69 МПа – Прочность при сжатии и изгибе (15,85 МПа при ССК \approx 30% от массы вяжущего) – Коэффициент конструктивного качества (максимум 13,47)	– Теплопроводность (0,279–0,209 Вт/(м ² ·К) – Водопоглощение (13–20%)	Оптимальное содержание ССК в количестве 30 и 40% от массы вяжущего. Однако необходима модификация данных составов путем введения различных замедлителей схватывания, вододерживающих и пластифицирующих добавок.	[48]
28	Известь-пудра 2-го сорта активностью 84%	– Стекланые полые микрошферы МС-В – Алмосиликатные золевые микрошферы – Вспученный вермикулитовый песок – Вспученный перлитовый песок марки М-150	Дозировка наполнителей 40% от массы извести Состав 1: со стеклянными полыми микрошферами Состав 2: с алмосиликатными золевыми микрошферами Состав 3: со вспученным вермикулитовым песком Состав 4: со вспученным перлитовым песком	– Водопоглощаемость, %: контроль – 41,1; состав 1 – 47,4; состав 2 – 37,2; состав 3 – 81,2; состав 4 – 50,6. – Плотность, кг/м ³ : состав 3 – 630 – Общая пористость, %: контроль – 60,8; состав 1 – 76,9; состав 2 – 66,4; состав 3 – 75,2; состав 4 – 66,9		Данные показатели вышеуказанные эффективнее применения полых стеклянных микрошфер в теплоизоляционных штукатурных растворах	[42]

Продолжение таблицы

№ п/п	Состав штукатурной смеси		Соотношение компонентов	Физико-механические свойства штукатурных смесей и покрытий	Функциональные свойства штукатурных покрытий	Примечания	Ссылка на источник
	Вид вяжущего	Вид заполнителя					
				<p>– Пластическая прочность всех составов в начальный момент времени одинакова</p> <p>– Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К): <i>состав 1</i> – 0,117; <i>состав 2</i> – 0,172; <i>состав 3</i> – 0,141; <i>состав 4</i>: 0,156</p> <p>– Прочность при сжатии на 28 сут, МПа: контроль – 4,9; <i>состав 1</i> – 2,63; <i>состав 2</i> – 4,07; <i>состав 3</i> – 2,05; <i>состав 4</i> – 2,81</p> <p>– Коэффициент размягчения: контроль – 0,72; <i>состав 1</i> – 0,71; <i>состав 2</i> – 0,74; <i>состав 3</i> – 0,61; <i>состав 4</i> – 0,65</p>			
29	Портландцемент М500-Д0 (ОАО «Ангартарк-цемент»)	– Кварцевый песок из р. Ангары – Кирпичная крошка (К) фракции 0,14–2,5 – Хвосты флотационного извлечения золота из черносланцевых	<p><i>Состав на 1 м³, кг:</i> ПЦ – 461,1; П – 1337,3; В – 290,5; ЧС – 46,1 (10%).</p> <p>Оптимальные дозировки компонентов штукатурной ССС на основе ПЦ и кварцевого песка, включающей (% от массы цемента): ЧС (10), К (5),</p>	<p>– Подвижность смеси – 9 см</p> <p>– Водоудерживающая способность – 99%</p> <p>– Сохраняемость первоначальной подвижности смеси – 60 мин</p> <p>– Расслаиваемость – 2%</p> <p>– Класс прочности при сжатии – КР IV</p> <p>– Прочность сцепления с кирпичным основанием при грунтовании цементным раствором не менее 0,7 МПа</p>	<p>– Высолообразование не наблюдается</p> <p>– Капиллярное водопоглощение 0,2 кг/(м²·мин^{0,5})</p>	Предложена концепция защиты кирпичной кладки двухслойной штукатурной системой, состоящей из базового адгезивно-солеудерживающего и отделочного	[58]

Продолжение таблицы

№ п/п	Состав штукатурной смеси			Соотношение компонентов	Физико-механические свойства штукатурных смесей и покрытий	Функциональные свойства штукатурных покрытий	Примечания	Ссылка на источник
	Вид вяжущего	Вид заполнителя	Функциональные добавки					
30	Цементно-шлаковая штукатурка	<p>– Порожденные стекляные микросферы (ПСМ)</p> <p>– Зольные микросферы алюмосиликатные (ЗМА)</p>	<p>«сухой минерализации» пены в соотношении ЗУ: ССМ = 1:100.</p> <p>– Суперпластификатор С-3</p>	<p>ВВД на основе сырого сульфатного мыла и золь-уноса (1), С-3 (0,5).</p>	<p>– Адгезия – 0,5 МПа</p> <p>– Марка по морозостойкости – F300</p> <p>– Стойкость к образованию трещин – трещины не появляются</p>	<p>– Теплопроводность, Вт/(м·К):</p> <p><i>состав 1</i> – 0,470;</p> <p><i>состав 2</i> – 0,760;</p> <p><i>состав 3</i>: – 0,350;</p> <p><i>состав 4</i> – 0,155;</p> <p><i>состав 5</i> – 0,135</p> <p>– Коэффициент паропроницаемости, мг/(м·ч·Па):</p> <p><i>состав 1</i> – 0,140;</p> <p><i>состав 2</i> – 0,090;</p> <p><i>состав 3</i> – 0,100;</p> <p><i>состав 4</i> – 0,150;</p> <p><i>состав 5</i> – 0,157</p> <p>– Зависимость температуры начала конденсации от плотности газобетона (при снижении плотности газобетонных блоков температура начала конденсации $t_{н.к}$ увеличивается)</p> <p>– Зависимость температуры начала конденсации на границе «отделочное покрытие – газобетон» от плотности газобетона (температура начала конденсации $t_{н.к}$ в ограждающей конструкции 350/650 и в ограждающей конструкции 350/570 ниже на 5,3 и 4,7 °С, чем температура начала конденсации $t_{н.к}$ в ограждающей конструкции 350/1100)</p>	<p>Оценивали влажностный режим в газобетонной стене (D300–D600), отделанной теплоизоляционной ССС KNAUF Grunband и разрабатываемыми ССС с использованием ПСМ и ЗМА</p>	[53]

Продолжение таблицы

№ п/п	Состав штукатурной смеси		Соотношение компонентов	Физико-механические свойства штукатурных смесей и покрытий	Функциональные свойства штукатурных покрытий	Примечания	Ссылка на источник
	Вид вяжущего	Вид заполнителя					
31	Гипсовая штукатурка (строительная смесь «Штукатурка Роттипс»)	Шлак с обжигом содержанием оксидов кальция и магния более 60%, от производства ферросплавов	Шлак 1:1 и 5:1 по массе (оптимально). Рекомендуемая дозировка шлака не более 18% по массе.	Содержание зерен 1,25; 0,2 и 0,125 мм – Влажность сухой смеси – Прочность при сжатии	– Бактерицидные свойства по методике МУ 2.1.674-97. – Трещиностойкость по методике, разработанной МГСУ	[56]	
32	Известь-пушонка 2-го сорта с активностью 86%	– Кварцевый песок с соотношением фракций 0,63–0,315 мм и 0,315–0,16 мм соответственно 80:20%, – Молотый газобетон	– Добавка на основе смеси гидросиликатов и аллюмосиликатов кальция – Пластифицирующая добавка Melflux 2651F – Редиспергируемый порошок Pulver DM 1142	– Водоудерживающая способность (98,8%), – Адгезионная прочность (0,65 МПа) – Прочность при сжатии (2,76 МПа для образцов на извлекателем вяжущем с добавлением молотого газобетона и добавки на основе смеси гидросиликатов и аллюмосиликатов кальция)		[50]	
33	Известь	– Небеленые целлюлозные волокна (Fb) из бумажной массы, производимой способом Крафт, размером: 1–2 мм и 2–4 мм – Фотокаталитический порошок (Evonik Aeroxide P25, Германия) – n-TiO ₂ – Суперпластификатор (SP, Glenium 52, BASF, Германия)	Содержание волокон до 4 мас. % Состав 1, %: штукатурная смесь (ШС) – 100; n-TiO ₂ – 1,0; СП – 0,32; В/Л – 26 Состав 2: ШС – 100; n-TiO ₂ – 1; СП – 0,32; Fb ₁₋₂ – 1; Fb ₂₋₄ – 1; В/Л – 34 Состав 3: ШС – 100; n-TiO ₂ – 1; СП – 0,32; Fb ₁₋₂ – 2;	– Прочность при изгибе, МПа: состав 1 – 1,35; состав 2 – 0,9; состав 3 – 0,75; состав 4 – 0,8; состав 5 – 0,4; состав 6 – 0,35; состав 7 – 0,4 – Модуль упругости, МПа: состав 1 – 3500; состав 2 – 2000; состав 3 – 1600; состав 4 – 1800; состав 5 – 950; состав 6 – 900; состав 7 – 1000	– Буферная способность влаги, г/м ² ·% относительной влажности: состав 1 – 1,3; состав 2 – 1,41; состав 3 – 1,42; состав 4 – 1,55; состав 5 – 1,6; состав 6 – 1,61; состав 7 – 1,8 – Водопоглощение, %: состав 1 – 19; состав 2 – 22,5; состав 3 – 25,5; состав 4 – 22,5; состав 5 – 30; состав 6 – 32,5; состав 7 – 29 – Теплопроводность, мВт/(м·К): состав 1 – 330; состав 2 – 300; состав 3 – 255; состав 4 – 290; состав 5 – 225; состав 6 – 210; состав 7 – 200	Используется внутренняя штукатурка на основе извести (Tradical Décor), произведенная BCB Lhoist (REF)	[70]

Продолжение таблицы

№ п/п	Состав штукатурной смеси		Соотношение компонентов	Физико-механические свойства штукатурных смесей и покрытий	Функциональные свойства штукатурных покрытий	Примечания	Ссылка на источник
	Вид вяжущего	Вид наполнителя					
34	Белый портландцемент (WHITE CEM I 52.5R EN 197-1)	Доломиты № 20, 40 и 80	<p>Состав 1 на 1 м³, кг:</p> <p>Белый ПЦ – 115, 1; доломит № 20 – 67,3; доломит № 40 – 378,4; доломит № 80 – 104,1; водоудерживающий агент – 1,5; воздухововлекающий агент – 0,2; деионизированная вода – 332,0; ПП – 1,5</p> <p>Состав 2 на 1 м³, кг: Белый ПЦ – 114, 1; доломит № 20 – 66,7; доломит № 40 –</p>	<p>Пористость, %:</p> <p>состав 1 – 27; состав 2 – 29; состав 3 – 31; состав 4 – 30; состав 5 – 32,5; состав 6 – 33; состав 7 – 31</p> <p>– Капиллярный индекс:</p> <p>состав 1 – 1,3; состав 2 – 1,65; состав 3 – 1,75; состав 4 – 1,5; состав 5 – 2,1; состав 6 – 2,2; состав 7 – 1,65</p> <p>– Удобоукладываемость, реологические характеристики (предел текучести и пластическая вязкость)</p>	<p>– NO_x разложение после 60 мин, %: состав 1 – 15; состав 3 – 16; состав 4 – 21; состав 5 – 20; состав 6 – 28,5; состав 7 – 26,2</p>	Внешняя отделка	[71]
			<p>Состав 1 на 1 м³, кг:</p> <p>Белый ПЦ – 115, 1; доломит № 20 – 67,3; доломит № 40 – 378,4; доломит № 80 – 104,1; водоудерживающий агент – 1,5; воздухововлекающий агент – 0,2; деионизированная вода – 332,0; ПП – 1,5</p> <p>Состав 2 на 1 м³, кг: Белый ПЦ – 114, 1; доломит № 20 – 66,7; доломит № 40 –</p>	<p>Пористость, %:</p> <p>состав 1 – 27; состав 2 – 29; состав 3 – 31; состав 4 – 30; состав 5 – 32,5; состав 6 – 33; состав 7 – 31</p> <p>– Капиллярный индекс:</p> <p>состав 1 – 1,3; состав 2 – 1,65; состав 3 – 1,75; состав 4 – 1,5; состав 5 – 2,1; состав 6 – 2,2; состав 7 – 1,65</p> <p>– Удобоукладываемость, реологические характеристики (предел текучести и пластическая вязкость)</p>	<p>– NO_x разложение после 60 мин, %: состав 1 – 15; состав 3 – 16; состав 4 – 21; состав 5 – 20; состав 6 – 28,5; состав 7 – 26,2</p>	Внешняя отделка	[71]

Окончание таблицы

№ п/п	Состав штукатурной смеси		Соотношение компонентов	Физико-механические свойства штукатурных смесей и покрытий	Функциональные свойства штукатурных покрытий	Примечания	Ссылка на источник
	Вид вяжущего	Вид наполнителя					
			<p>375,1; доломит № 80 – 103,2; водоудерживающий агент – 1,5; воздухововлекающий агент – 0,2; деионизированная вода – 365,2; ПП – 1,5; п-ТЮ (P25) – 4,5</p> <p><i>Состав 3</i> на 1м³, кг: Белый ПЦ – 114, 1; доломит № 20 – 66,7; доломит № 40 – 375,1; доломит № 80 – 103,2; водоудерживающий агент – 1,5; воздухововлекающий агент – 0,2; деионизированная вода – 349,1; ПП – 1,5; п-ТЮ (PC105) – 4,8</p>	<p>– Прочность при разрыве – <i>состав 2</i> имеет меньшую прочность за счет большей общей пористости</p> <p>– Усадка при высыхании, мм: <i>состав 1</i> = -0,45; <i>состав 2</i> = -0,7; <i>состав 3</i> = -1</p>			
35	Цемент	Песок	<p>– Стекловолокно</p> <p>– Анатаз</p> <p>– Пигменты оксида железа: Fe₂O₃, FeOОН, Fe₂O₃ или их смесь, дающая красный, серый, желтый или коричневый цвет соответственно</p>		<p>– Фотокаталитическое разложение органических красителей и летучих органических соединений: беспигментные – от 25 до 55%, пигментные – от 25 до 30%. При этом тип пигмента не оказывает существенного влияния.</p> <p>– Самоочищение при атмосферном воздействии – натурные испытания на открытом воздухе</p>	Внешняя отделка	[72]

авторами использованы различные виды: принтерная, глянцевая, газетная и картонные коробки – упаковка яиц); клей Metylan Universal Premium, состоящий из крахмала и противогрибковых добавок, воды. Результаты испытаний, проведенных в климатической камере, показывают, что бумажное штукатурное покрытие хорошо адсорбирует водяной пар и обладает влагобуферными свойствами. При этом определено, что вид бумаги не имеет большого значения.

Огромную группу составляют добавки различного функционального назначения: воздухововлекающие [35, 43, 58]; армирующие [33, 39, 62–64, 87] (углеродные, базальтовые, стеклянные, полипропиленовые, соломенные, кокосовая койра, волокна финиковой пальмы); пластифицирующие [39, 40, 42, 48, 49, 52, 54, 65]; гидрофобизирующие [42]; фотокаталитические и бактерицидные [8, 41, 47, 56, 66–77]; редиспергируемые [42, 50, 65]; суперабсорбирующие [79–81]; материалы фазового перехода [15, 16, 26]. Их введение способствует изменению ряда характеристик (рис. 5).

Действие добавок может быть направлено на: улучшение подвижности; снижение пластической усадки и, следовательно, трещинообразования; увеличение прочностных характеристик, адгезии, деформативности и предельной растяжимости, ударной вязкости; компенсацию недостатков фракционного состава заполнителя; увеличение водостойкости, гидрофобности штукатурного раствора; уменьшение водопоглощения; влияние на процессы структурообразования и твердения; увеличение атмосферо- и морозостойкости, долговечности стеновой конструкции. Также в работах [62, 82] указано, что углеродные микроволокна длиной 8 мм выступают не только как армирующий, но и как электромагнитный экранирующий элемент. В [63, 83] представлены результаты исследований, демонстрирующие положительное влияние базальтовых волокон на звукопоглощение штукатурных покрытий.

Немаловажным фактором комфортного пребывания человека в окружении строительных материалов является состояние воздуха в помещении, качество которого определяется следующими группами факторов [2]:

- физическими: влажность, температура, циркуляция воздуха, пыль, шум, свет и др.;
- биологическими: вирусы, бактерии, аллергены, клещи и споры плесневого грибка – типичные биофакторы;
- химическими: летучие органические соединения (ЛОС), CO₂, табачный дым, ароматические вещества и газы.

Вид добавки	Цель введения	Изменяемые характеристики
Воздухововлекающие	Регулирование пористости	Подвижность, прочность, плотность, теплопроводность, морозостойкость
Армирующие	Регулирование структурообразования	Прочность, усадка, трещинообразование
Пластифицирующие	Регулирование подвижности	Водотвердое отношение, пористость, прочность, плотность, теплопроводность, морозостойкость
Гидрофобизирующие	Регулирование водостойкости и водопроницаемости	Водопоглощение, скорость схватывания, прочность, морозостойкость, коррозионная стойкость
Фотокаталитические	Регулирование процесса самоочистки	Долговечность, гидрофобизирующие свойства, очищение воздуха
Редиспергируемые	Регулирование структурообразования	Водотвердое отношение, сроки схватывания, прочность, усадка, трещинообразование
Суперабсорбирующие	Регулирование гигроскопичности	Буферизация влаги, теплопроводность, паропроницаемость, водопоглощение
Материалы фазового перехода		

Рис. 5. Функциональное назначение добавок, применяемых в штукатурных смесях
Fig. 5. Functional purpose of the additives applied in plaster mixes

Микроклимат в помещении зависит от времени года, системы отопления, вентиляции и кондиционирования, свойств строительных материалов и поверхностей (стен, пола, окон и батарей), индивидуальных особенностей человека.

Неудовлетворительный микроклимат представляет собой угрозу для здоровья человека, вызывая онкологические, хронические простудные, кожные заболевания, аллергию и заболевания дыхательных путей, пороки развития у детей и другие негативные последствия. В связи с этим необходимо регулирование тепловлажностных параметров (рис. 6), а также снижение загрязнения воздуха в помещениях за счет адсорбции и фотокаталитического разложения [8, 27, 66–72]. Фотокаталитические свойства могут включать обеззараживание воздуха, самоочистку, самостерилизацию.

В связи с этим отдельный пласт исследований связан с разработкой штукатурных смесей для обеспечения благоприятных микроклиматических условий в помещении, что согласуется с концепциями «зеленого» строительства, «здорового жилья» и другими современными тенденциями обеспечения комфортной среды жизнедеятельности человека.

Одним из опасных представителей летучих органических соединений является формальдегид, выступая типичным загрязнителем воздуха в помеще-

ниях и основным фактором, вызывающим синдром «больного здания». Длительное воздействие формальдегида в высокой концентрации может вызвать серьезные проблемы со здоровьем человека: раздражение кожи и слизистых оболочек, опухоли носа, хронический бронхит, респираторную дисфункцию, гепатотоксические поражения и даже рак [73]. Фотокаталитическое окисление считается наиболее перспективным и эффективным подходом для очищения воздуха, но этот процесс в основном осуществляется под воздействием УФ-излучения [41, 71, 72, 74]. Так, выявлено влияние дисперсии n-TiO₂ на свойства свежего штукатурного раствора и покрытия, предназначенного для внешней отделки [71]. Состав компонентов представлен: белым портландцементом (WHITE CEM I 52.5R EN 197-1), доломитами различной дисперсности (№ 20, 40 и 80), коммерческим воздухоовлекающим агентом (АЕА) на основе молекул лаурилсульфата натрия, водоудерживающим агентом на основе молекул целлюлозного эфира и полипропиленовыми микрофибрами. В качестве фотокаталитического агента выступали два образца коммерческого порошка n-TiO₂ (P25 и PC105), отличающиеся условиями диспергирования: стандартная энергетическая смесь (SEM) и высокоэнергетическая дисперсия (HED). Авторы оценивали влияние вида и процедуры диспергирования образцов n-TiO₂ на свойства раствора и штукатурного покрытия. Определено, что добавление n-TiO₂ в диспергированной форме более эффективно регулирует характеристики смеси и покрытия на ее основе.

В работе [72] рассмотрено проявление фотоактивированных свойств при облучении УФ-светом окрашенных растворов, содержащих диоксид титана в анатазной полиморфной модификации. При этом изготавливаемые аналогично предыдущему исследованию смеси были армированы, но в данном случае стекловолокном. В итоге авторами получены материалы с самоочищающимися свойствами, на поверхности которых происходит разложение загрязняющих соединений. Фотокаталитическая активность образцов была протестирована двумя различными способами: путем определения степени разложения модельного реагента ЛОС и путем измерения восстановления цвета поверхности после загрязнения органическим красителем.

В настоящее время активно ведутся исследования в отношении разработки новых фотокатализаторов, чувствительных к видимому свету, т. е. работающих в помещении [75–77]. Среди различных полупроводников-фотокатализаторов наибольшее распространение получил диоксид титана (TiO₂) за счет низкой стоимости, высокой химической стабильности, нетоксичности и сильной окислительной емкости [76].

В работе [70] рассмотрена внутренняя штукатурка на основе извести, модифицированная целлюлозными волокнами различного размера (1–2 и 2–4 мм), и фотокаталитическим порошком n-TiO₂. Для регулирования удобоукладываемости применялся суперпла-

стификатор. Разработанная штукатурная композиция характеризуется следующими положительными результатами: повышенная пористость, водопоглощение, буферная способность штукатурного покрытия и NO_x поглощение, сниженная теплопроводность. Однако с увеличением концентрации целлюлозных волокон намечена тенденция к снижению подвижности смеси и прочностных характеристик.

Отдельное внимание необходимо обратить на добавки, именуемые как материалы фазового перехода, которые встречаются в зарубежной литературе. Так, интерес представляют работы авторского коллектива из Чехии. В исследовании [16] разработаны цементно-известковые штукатурки с включенным материалом фазового перехода (МФП), определено и проанализировано его влияние на основные физико-механические и тепловые параметры. Разработка сводилась к следующему: сухую штукатурную смесь Baumit Manu 1, состоящую из гидратированной извести, цемента, песка и добавок, модифицировали материалом фазового перехода на основе микрокапсулированного парафинового воска производства BASF в количестве 8 и 24% от массы исходной сухой штукатурной смеси.

Механические свойства предложенных штукатурок (прочность при сжатии, при изгибе и модуль Юнга) с введением МФП снижались, несмотря на улучшение общей открытой пористости за счет эффекта наполнителя. Однако прочностные характеристики оставались достаточными для применения в качестве внутренней штукатурки. Термические характеристики (теплопроводность, температуропроводность, теплоемкость, термическое сопротивление) определялись экспериментальным и вычислительным методами. Измеренные показатели послужили исходными данными для численного мо-

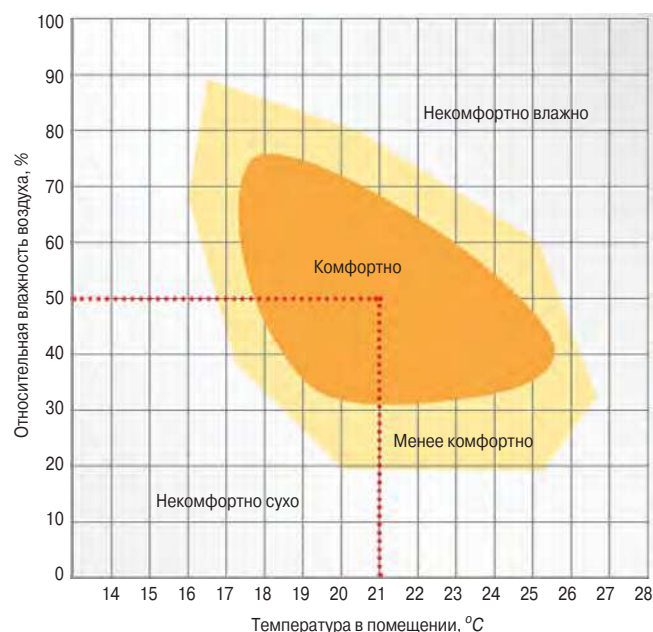


Рис. 6. Параметры благоприятного микроклимата для человека (<https://baumit.ru>)

Fig. 6. Parameters of favorable microclimate for humans (<https://baumit.ru>)

делирования работы штукатурок в моделируемом температурном режиме внутреннего климата. Применение МФП приводит к незначительному улучшению теплового сопротивления и теплопропускания моделируемой стены, обеспечивает улучшенную емкость накопления тепла. При этом отмечено замедление процессов нагревания и охлаждения слоя штукатурного покрытия по сравнению с эталоном.

Продолжением исследования является работа [15], в которой за основу взята также коммерческая известково-цементная сухая штукатурная смесь Manu 1. С целью увеличения теплоаккумулирующей способности смеси были добавлены два различных типа материалов с фазовым переходом:

– микрокапсулированная парафиновая смесь из полиметилметакрилата Micronal DS 5040 (BASF), которая представляет собой мелкодисперсный порошкообразный материал с содержанием твердого вещества 97–100% и содержанием воды $\leq 3\%$;

– Rubitherm RT 22HC (Rubitherm), который получен из смеси парафинов, заключенной в полимерную оболочку, но поставляется в виде водной дисперсии с содержанием твердого вещества около 35%.

Обе добавки использовались в трех различных дозировках: Micronal – 8, 16 и 24% от массы исходной сухой штукатурной смеси и RT 22HC – 4, 8 и 12%. Различия в дозировке вызваны тем, что энтальпия плавления Micronal практически в два раза ниже по сравнению с материалом Rubitherm, поэтому его дозировка была увеличена вдвое, чтобы получить материалы с аналогичными тепловыми характеристиками и накоплением скрытой теплоты. Количество воды в составах определялось удобоукладываемостью, которая была одинаковой и составила 220 мм.

Анализ характеристик позволил сделать следующие выводы:

– *физико-механические характеристики*: введение добавок приводит к снижению плотности и пористости системы, наибольший эффект наблюдается у Micronal, прочностные характеристики тоже значительно снижаются, но остаются удовлетворительными для применения в строительстве;

– *паропроницаемость*: обе добавки приводят к увеличению коэффициента сопротивления диффузии водяного пара и незначительному снижению диффузионной проницаемости водяного пара, поэтому модифицированные штукатурки сохраняют способность для переноса водяного пара;

– *водопоглощение*: применение добавок способствует повышению коэффициента водопоглощения, что связано с высокой пористостью. Наибольшие показатели у образцов с добавками Micronal (8%) и Rubitherm (4%);

– *изотермы сорбции и десорбции*: введение добавок привело к увеличению равновесной влажности;

– *буферная емкость влаги*: все образцы обладают хорошей буферизацией. Экспериментальные значения буферной емкости влаги выше, чем расчетное, на 20%;

– *теплопередача*: введение добавок снижает данные по теплопроводности и температуропроводности. У штукатурок с добавкой Micronal теплопроводность снизилась до трех раз, температуропроводность – до двух раз, основные пики удельной теплоемкости немного сдвинулись в сторону более низкой температуры, при том что с введением добавки Rubitherm сдвиги пиков максимальной удельной теплоемкости не значительны;

– *аккумуляция тепла*: кривые теплового потока для штукатурки с Micronal при нагреве и охлаждении имели унимодальный характер; для штукатурок с Rubitherm при нагревании – одномодальные, при охлаждении – бимодальные.

Для модифицированных штукатурок с Rubitherm выделяют особенности: парафин претерпел два фазовых перехода, из-за высокой скорости охлаждения явление переохлаждения способствовало бимодальной форме кривой теплового потока. Было определено, что диапазон фазового перехода тесно связан со скоростью нагрева/охлаждения. Температура фазового перехода во время фазы нагрева для обоих типов штукатурки выше, чем в фазе охлаждения. Энтальпии фазового перехода при увеличении дозировки добавок увеличивались до трех раз.

Авторы представляют вывод, что известково-цементные штукатурки с материалами фазового перехода являются актуальными и направлены на смягчение внутренней среды помещения, поскольку улучшенная способность аккумуляции тепла в соответствующем диапазоне температуры может частично ограничивать колебания внутренней температуры и сдвигать тепловую/охлаждающую нагрузку системы кондиционирования воздуха. С увеличением дозировки используемого материала с фазовым переходом экономия энергии возрастает.

В исследовании [81] скрытым теплоносителем является разработанный лабораторный формоустойчивый материал с фазовым переходом на основе композита диатомит/додеканол с пуццолановой активностью.

В рассмотренных работах активно используются математические расчеты и компьютерное моделирование процессов с помощью различного программного обеспечения. Среди них встречалось компьютерное моделирование гидротермального поведения смесей [49], условий для оценки буферной способности влаги [79], акустических свойств [63], работы кирпичной стены при миграции водного солевого раствора с использованием программного комплекса STATISTICA 6.1 [58]. Осуществлялось вычислительное моделирование переноса тепла и влаги [80, 86], совместимости известково-цементной штукатурки и автоклавного газобетона [84], расчет коэффициентов теплового пропускания (U-величина) и термического сопротивления [16], расчет деформации стеновой конструкции при положительной и отрицательной температуре (программа «Ансис») и моделирование при варьировании параметрами средней плотности,

коэффициента температурного расширения, модуля упругости и коэффициента Пуассона материала кладки и штукатурного покрытия (программа «Лири») [85, 89]. На основе ДСК-анализа определены зависимости фазовых переходов и температуры от удельной теплоемкости [16].

Определено, что одним из самых распространенных методов оценки буферизации влаги методом ступенчатого отклика и скорости реакции образцов на изменения влажности является протокол NORDTEST [9, 10, 14, 60, 81, 88]. Суть тестирования заключается в воздействии шести циклических синусоидальных изменений влажности и температуры в климатической камере. Каждый цикл состоит из 8 ч высокой влажности и 16 ч низкой влажности. Образцы материала подвергаются воздействию постоянной температуры, в то время как относительная влажность воздуха меняется циклически от высокой до низкой влажности, следуя прямоугольной волновой функции. Результатом испытания является относительное изменение массы материала, которое определяет количество водяного пара, адсорбированного и десорбированного из окружающей среды.

Также для анализа буферизации влаги при термогигрометрическом моделировании здания применялось коммерчески доступное программное обеспечение WUFI Plus V3.0.3 [9]. В этой же работе проведены экспериментальные исследования, в рамках которых был смоделирован испытательный зал размером 4,34×4,34×2,94 м; внутренний его размер определяется равномерной толщиной стенки (404 мм). Стены помещения состояли из легкой полости, в которую входят: наружный бетонный блок, воздушный зазор, изоляция PIR и газобетонные блоки. Пол и потолок представляют собой деревянную сэндвич-панель из PIR-изоляции и древесно-стружечной плиты общей толщиной 350 мм. Стены помещения оборудованы датчиками теплового потока и термодатчиками, нанесенными на северную стену. Внутренняя поверхность газобетонного блока была покрыта попеременно глиной толщиной 20 мм, известью и гипсовой штукатуркой. Пол, потолок и дверь покрыты непроницаемым слоем, с гарантией того, что на баланс влажности помещения не влияет древесностружечная плита. Испытания продолжались четыре года. Цель исследования состояла в улучшении понимания процесса буферизации влаги: показано, что в зданиях вентиляция и перенос влаги через стену также участвуют в регулировании влажности. Также определено, что автоклавные газобетонные блоки, находящиеся под штукатуркой, активно участвуют в процессе буферизации влаги [9].

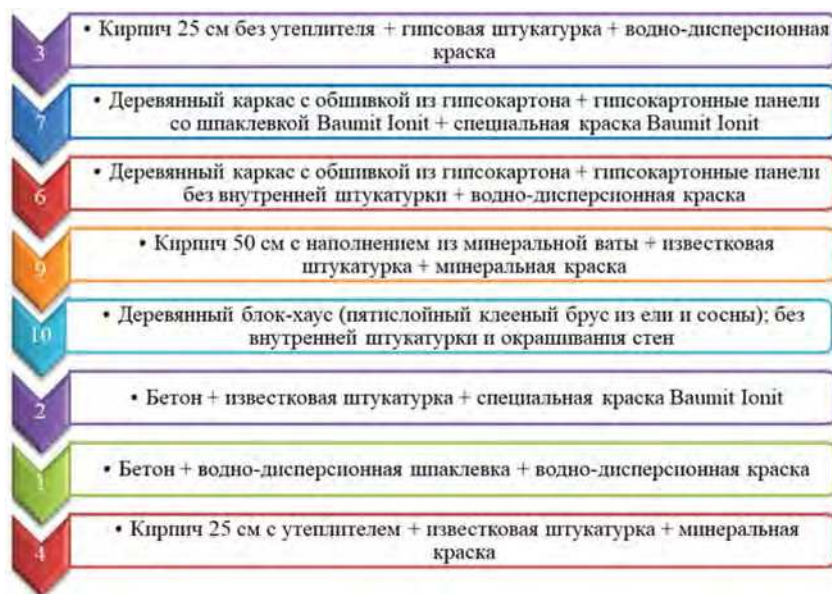


Рис. 7. Ранжирование опытных строений в исследовательском парке Viva, отличающихся структурой стен, по повышению степени их комфортности

Fig. 7. Ranking of experimental buildings in the Viva research park, differing in the structure of the walls, to increase their comfort

Более масштабным и уникальным является проект [2]. В 2015 г. на территории инновационного исследовательского центра компании Baumit в городе Вopfing (Австрия) реализован крупнейший в Европе исследовательский парк Viva для сравнительного изучения строительных материалов. Для реализации проекта было построено 10 опытных домов (в настоящее время их уже 13), отличающихся собственной комбинацией применяемых материалов. При исследовании домов с точки зрения комфортности и благоприятности для самочувствия людей прежде всего ориентировались на температуру и влажность воздуха. Согласно заключению санитарно-гигиенического обследования жилых помещений, было выявлено, что тип стеновых конструкций и выбор строительных материалов оказывают существенное влияние на комфортность жилья. При разных теплоизоляционных характеристиках, но при одинаковом конструктиве стен дом с системой теплоизоляции значительно выигрывает. Облегченные конструкции уступают постройкам с массивным конструктивом стен при равных теплоизоляционных характеристиках.

Так, в опытном доме 4 отмечен высокий уровень комфорта, при этом дом 3 с таким же конструктивом стен, но с отсутствием системы теплоизоляции получил самую низкую оценку (рис. 7). Дома 5 и 8 представляли собой пункты тестирования и в сравнительном анализе не участвовали.

Каждый дом представлен одной комнатой 3×4 м без разделительных перегородок, имеется одна входная дверь и одно окно. Кровля и фундамент идентичны во всех домах. Обязательным условием эксперимента являлось единство коэффициента теплопередачи для всех строений, 0,15 Вт/(м²·К). Каждый дом оснащен 33 и более датчиками, которые регулярно

передают информацию в исследовательский центр для дальнейшего анализа. В качестве исследуемых параметров используют: температуру и относительную влажность воздуха в помещении; температуру поверхностей; концентрацию формальдегида, летучих органических соединений, радона, пыли и пыльцы, аэроионов; характер и интенсивность запахов; звук и акустику; сорбцию влаги строительными материалами; сопротивление строительных материалов диффузии водяного пара; уровень высокочастотного электромагнитного излучения.

По результату исследований представлена оценочная матрица, показывающая как преимущества, так и недостатки каждого опытного строения. Резюмируя данные, следует выделить дома с различными стеновыми конструкциями и отделочными материалами согласно четырем оценочным категориям:

– *физико-технические параметры*: с точки зрения теплоаккумулирующей способности, защиты от летних перегревов, а также низких расходов на отопление и охлаждение наилучшие результаты продемонстрировали постройки из кирпича и бетона с теплоизоляцией; сорбционная способность водяных паров зависит от внутренней отделки: лучшей способностью к буферизации влаги обладают дома с известковой штукатуркой Baumit KlimaPutz и специальной краской Baumit Ionit;

– *физические параметры*: с точки зрения звукоизоляции и поглощения высокочастотного электромагнитного излучения лучшие показатели у бетонных конструкций; относительно акустики помещений высокий рейтинг имеет дом из деревянного бруса; содержание радона во всех опытных домах низкое;

– *химические параметры*: оценка запаха – дома из бетона и кирпича нейтральны, деревянные дома характеризуются интенсивным запахом; по содержанию формальдегида всем домам, за исключением деревянного, присвоен наивысший класс I;

– *медико-валеологические параметры (комфорт)*: наилучшие результаты показали бетонные и кирпичные дома с наружной теплоизоляцией, а также дом из деревянного бруса; худшие показатели – неутепленный дом (25-сантиметровый кирпич, постройка старого типа).

Таким образом, для штукатурных покрытий климатоформирующего и экологического назначения одним из ключевых параметров оценки эффективности является буферизация влаги. Ввиду того, что в работах российских авторов этот показатель не применяется и не оценивается, а в зарубежных источниках отражен в малом количестве статей, отсутствует возможность проведения его подробного анализа. Однако следует отметить, что в изученных работах [10, 15, 60, 70, 81] показатель буферизации влаги варьируется в диапазоне от 1,05 до 2,99 г/м²·% относительной влажности. В источнике [10] представлена классификация значений: 0–0,25 (незначительно), 0,25–0,5 (ограниченно), 0,5–1 (умеренно), 1–2 (хорошо), 2,0–3,5 (отлично), согласно которой боль-

шинство представленных составов штукатурных смесей характеризуется буферизацией со значением выше среднего, что отражает возможность отнесения данных составов к эффективным климатоформирующим составам.

Заключение

В рамках данной статьи представлен анализ результатов исследований зарубежных и российских авторов, разрабатывающих и изучающих штукатурные смеси, растворы и покрытия на их основе, преимущественно известково-цементного состава. Рассмотрены рецептурные компоненты, оказывающие влияние на различные характеристики и повышающие эффективность штукатурных систем.

Подход к изучению вопроса повышения эффективности существующих составов и создания штукатурных смесей специального функционального назначения среди отечественных и зарубежных научных школ имеет отличия. Российские авторы в большей степени ориентированы на работу с эксплуатационными и теплофизическими характеристиками, тогда как за рубежом исследования обращены на оценку буферной способности отделочных материалов за счет регулирования водопоглощения, паропроницаемости, теплопроводности и температурных переходов при различных условиях эксплуатации штукатурного покрытия. В связи с этим определена открытая ниша для исследований российских научных школ, сформировано актуальное направление – разработка решений по повышению экологичности, и в частности созданию штукатурных составов, обеспечивающих благоприятные микроклиматические условия в помещении для комфортной жизнедеятельности человека.

Список литературы / References

1. Теличенко В.И., Бенуж А.А., Рудь Н.С., Йейе О.У. Параметры проектирования комфортной среды жизнедеятельности в нормативной документации // *Промышленное и гражданское строительство*. 2020. № 5. С. 51–56. <https://doi.org/10.33622/0869-7019.2020.05.51-56>
1. Telichenko V.I., Benuzh A.A., Rud N.S., Yeye O.W. Design parameters of a comfortable living environment in the normative documentation. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2020. No. 5, pp. 51–56. (In Russian). DOI: 10.33622/0869-7019.2020.05.51-56.
2. Дамбергер Б. Здоровое строительство. Здоровая жизнь / Под ред. Ю. Пош. *Wopfung: Издательство: Viva Forschungspark der Baumit Beteiligungen GmbH*. 2019. 150 с. https://baumit.ru/files/ru/Brochures_pdf/VIVA_____pdf
2. Damberger B. Healthy construction. Healthy life / Ed. Yu Posh. *Wopfung: Publisher: Viva Forschungspark der Baumit Beteiligungen GmbH*. 2019. 150 p. https://baumit.ru/files/ru/Brochures_pdf/VIVA_____pdf (In Russian).

3. Махортова Я.И., Разаков М.А., Трофимова И.В. Экологическое строительство зданий и сооружений // *Экология и строительство*. 2020. № 2. С. 27–35. <https://doi.org/10.35688/2413-8452-2020-02-004>
3. Makhortova Ya.I., Razakov M.A., Trofimova I.V. Ecological construction of buildings and structures. *Ekologiya i stroitel'stvo*. 2020. No. 2, pp. 27–35. (In Russian). <https://doi.org/10.35688/2413-8452-2020-02-004>
4. Теличенко В.И., Бенуж А.А., Морозов Д.Н. Создание национальной системы «зеленых» стандартов в РФ // *Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века*. 2019. № 3–4 (242–243). С. 10–11.
4. Telichenko V.I., Benuzh A.A., Morozov D.N. Creation of a national system of «green» standards in the Russian Federation. *Stroitel'nye materialy, oborudovaniye, tekhnologii XXI veka*. 2019. No. 3–4 (242–243), pp. 10–11. (In Russian).
5. Telichenko V., Benuzh A., Eames G., Orenburova E., Shushunova N. Development of green standards for construction in Russia. *Procedia Engineering*. 2016. Vol. 153, pp. 726–730. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.08.233>
6. Бакаева Н.В., Натарова А.Ю., Игин А.Ю. Нормативное регулирование экологической безопасности строительства с помощью «зеленых» стандартов. *Известия Юго-Западного государственного университета*. 2016. № 4 (67). С. 68–79.
6. Bakaeva N.V., Natarova A.Yu., Igin A.Yu. Regulatory regulation of environmental safety of construction using «green» standards. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta*. 2016. No. 4 (67), pp. 68–79. (In Russian).
7. Wei W., Ramalho O., Mandin C. Indoor air quality requirements in green building certifications. *Building and Environment*. 2015. Iss. 92, pp. 10–19. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.03.035>
8. Yue X., Ma N.L., Sonne C., Guan R., Lam S.S., Van Le Q., Chen X., Yang Y., Gu H., Rinklebe J., Peng W. Mitigation of indoor air pollution: A review of recent advances in adsorption materials and catalytic oxidation. *Journal of Hazardous Materials*. 2021. Vol. 405. 124138. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124138>
9. Cascione V., Maskell D., Shea A., Walker P., Mani M. Comparison of moisture buffering properties of plasters in full scale simulations and laboratory testing. *Construction and Building Materials*. 2020. Vol. 252. 119033. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119033>
10. Cascione V., Maskell D., Shea A., Walker P. The moisture buffering performance of plasters when exposed to simultaneous sinusoidal temperature and RH variations. *Journal of Building Engineering*. 2021. Iss. 34. 101890. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.101890>
11. Lü X., Lu T., Kibert C., Zhang Q., Hughes M. A novel methodology and new concept of structural dynamic moisture buffering for modeling building moisture dynamics. *Building and Environment*. 2020. Vol. 180. 106958. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106958>
12. Yang M., Kong F., He X. Moisture buffering effect of hygroscopic materials under wall moisture transfer. *Indoor and Built Environment*. 2020. <https://doi.org/10.1177/1420326x20975835>
13. Lelièvre D., Colinart T., Glouannec P. Modeling the moisture buffering behavior of a coated biobased building material by including hysteresis. *Energy Procedia. 6th International Building Physics Conference, IBPC 2015*. Politecnico di Torino Torino, Italy. 14–17 June 2015. Vol. 78, pp. 255–260. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.631>
14. Brenton K. Kreiger, Wil V. Srubar III. Moisture buffering in buildings: A review of experimental and numerical methods. *Energy and Buildings*. 2019. Vol. 202. 109394. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109394>
15. Pavlík Z., Fořt J., Pavlíková M., Pokorný J., Trník A., Černý R. Modified lime-cement plasters with enhanced thermal and hygric storage capacity for moderation of interior climate. *Energy and Buildings*. 2016. Vol. 126, pp. 113–127. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.05.004>
16. Pavlík Z., Trník A., Fořt J., Maděra J., Černý R. Application of latent-heat-storage building envelope systems for increasing energy efficiency in the building sector. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*. 2015. Vol. 195, pp. 163–172. <http://doi.org/10.2495/ESUS150141>
17. Veiga R. Air lime mortars: What else do we need to know to apply them in conservation and rehabilitation interventions? A review. *Construction and Building Materials*. 2017. Vol. 157, pp. 132–140. <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.09.080>
18. Kočí V., Maděra J. Hygrothermal modelling of wall assemblies: Quantification of convenient conditions for biofilms growth. *AIP Conference Proceedings: Central European Symposium on Thermophysics. CEST 2019*. 2019. Vol. 2133. 020021. <https://doi.org/10.1063/1.5120151>
19. Wasserbauer R., Rácová Z., Loušová I., Lecák M. The occurrence of cyanobacteria and green algae on facades of historical sacral buildings. *Advanced Materials Research 18th Conference of Research Institute for Building Materials Ecology and New Building Materials and Products, ICEBMP 2014*. Cerna Hora, Czech Republic. 3–5 June 2014. Vol. 1000, pp. 243–246. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.1000.243>
20. Petković J., Huinink H.P., Pel L., Kopinga K., van Hees R.P.J. Moisture and salt transport in three-layer plaster/substrate systems. *Construction and Building Materials*. 2010. Vol. 24. Iss. 1, pp. 118–127. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2009.08.014>
21. Vysvaril M., Topolar L., Dvorak R. Acoustic insulation properties of lime mortars with natural lightweight aggregate. *MATEC Web of Conferences 4TH Central European symposium on building physics (CESBP 2019)*. 2019. Vol. 282. 02075. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201928202075>

22. Kočí V., Maděra J., Jerman, M. et al. Application of waste ceramic dust as a ready-to-use replacement of cement in lime-cement plasters: an environmental-friendly and energy-efficient solution. *Clean Technologies and Environmental Policy*. 2016. Vol. 18, pp. 1725–1733. <https://doi.org/10.1007/s10098-016-1183-2>
23. Fernandez F., Germinario S., Basile R., Mangiapane M., Maravelaki P. Development of eco-friendly and self-cleaning lime-pozzolan plasters for bio-construction and cultural heritage. *Buildings*. 2020. Vol. 172. Iss. 10, pp. 1–12. <https://doi.org/10.3390/buildings10100172>
24. Garcia-Cuadrado J., Santamaria-Vicario I., Rodriguez A. Lime-cement mortars designed with steelmaking slags as aggregates and validation study of their properties using mathematical models. *Construction and Building Materials*. 2018. Vol. 188, pp. 210–220. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.08.093>
25. Giosuè C., Pierpaoli M., Mobili A., Ruello M.L., Tittarelli F. Influence of binders and lightweight aggregates on the properties of cementitious mortars: From traditional requirements to indoor air quality improvement. *Materials*. 2017. Vol. 10. Iss. 8. 978. <https://doi.org/10.3390/ma10080978>
26. Giosuè C., Pierpaoli M., Mobili A., Ruello M.L., Tittarelli F. Multifunctional Lightweight mortars for indoor applications to improve comfort and health of occupants: thermal properties and photocatalytic efficiency. *Frontiers in Materials*. 2020. Vol. 7. 255. <https://doi.org/10.3389/fmats.2020.00255>
27. Giosuè C., Mobili A., Citterio B., Biavasco F., Ruello M.L., Tittarelli F. Innovative hydraulic lime-based finishes with unconventional aggregates and TiO₂ for the improvement of indoor air quality. *Manufacturing Review*. 2020. Vol. 7, p. 13. <https://doi.org/10.1051/mfreview/2020010>
28. Giosuè C., Mobili A., Yu Q.L., Brouwers H.J.H., Ruello M.L., Tittarelli F. Properties of multifunctional lightweight mortars containing zeolite and natural fibers. *Journal of Sustainable Cement-Based Materials*. 2019. Vol. 8. Iss. 4, pp. 214–227. <https://doi.org/10.1080/21650373.2019.1615012>
29. Giosuè C., Yu Q.L., Ruello M.L., Tittarelli F., Brouwers H.J. Effect of pore structure on the performance of photocatalytic lightweight lime-based finishing mortar. *Construction and Building Materials*. 2018. Vol. 171, pp. 232–242. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.03.106>
30. Mobili A., Belli A., Giosuè C., Pierpaoli M., Bastianelli L., Mazzoli A., Ruello M.L., Bellezze T., Tittarelli F. Mechanical, durability, depolluting and electrical properties of multifunctional mortars prepared with commercial or waste carbon-based fillers. *Construction and Building Materials*. 2021. Vol. 283. 122768. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122768>
31. Jerman M., Scheinherrová L., Medved' I., Krejsová J., Doleželová M., Bezdička P., Černý R. Effect of cyclic wetting and drying on microstructure, composition and length changes of lime-based plasters. *Cement and Concrete Composites*. 2019. Vol. 104. 103411. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2019.103411>
32. Čáchová M., Koňáková D., Vejmelková E., Vyšvařil M., Bayer P. Hygric and mechanical parameters of ternary binder based plasters lightweighted by expanded perlite. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 21st International Conference on Building Materials. Products and Technologies. ICBMPT 2018*. Blansko-Ceskovice, Czech Republic. 29–31 May 2018. Vol. 379. Iss. 1. 012004. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/379/1/012004>
33. Santos T., Gomes M.I., Silva A.S., Ferraz E., Faria P. Comparison of mineralogical, mechanical and hygroscopic characteristic of earthen, gypsum and cement-based plasters. *Construction and Building Materials*. 2020. Vol. 254. 119222. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119222>
34. Pavlíková M., Zemanová L., Pokorný J., Záleská M., Jankovský O., Lojka M., Pavlík Z. Influence of wood-based biomass ash admixing on the structural, mechanical, hygric, and thermal properties of air lime mortars. *Materials*. 2019. Iss. 12. 2227. <https://doi.org/10.3390/ma12142227>
35. Golaszewska M., Golaszewski J., Cygan G., Bochen J. Assessment of the impact of inaccuracy and variability of material and selected technological factors on physical and mechanical properties of fresh masonry mortars and plasters. *Materials*. 2020. Vol. 13. Iss. 6, 1382. <https://doi.org/10.3390/ma13061382>
36. Zemanova L., Pokorny J., Pavlikova M., Pavlik Z. Hygric properties of cement-lime plasters with incorporated lightweight mineral admixture. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. Vol. 603. Iss. 2. 022046. <http://doi.org/10.1088/1757-899X/603/2/022046>
37. Pokorný J., Pavlíková M., Pavlík Z. Properties of cement-lime render containing perlite as lightweight aggregate. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. Vol. 596. Iss. 1. 012015. <http://doi.org/10.1088/1757-899X/596/1/012015>
38. Vyšvařil M., Pavlíková M., Záleská M., Bayer P., Pavlík Z. Non-hydrophobized perlite renders for repair and thermal insulation purposes: Influence of different binders on their properties and durability. *Construction and Building Materials*. 2020. Vol. 263. 120617. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120617>
39. Benyahia A., Choucha S., Ghrici C., Omran A. Influence of limestone dust and natural pozzolan on engineering properties of self-compacting repair mortars. *Frattura ed Integrità Strutturale*. 2018. Iss. 45, pp. 135–146. <https://doi.org/10.3221/IGF-ESIS.45.11>
40. Радаев С.С., Кудоманов М.В., Горгодзе Г.А. Эффективность использования комплексных добавок и смешанного вяжущего в производстве штукатурных смесей // *Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование*. 2014. № 5. С. 154–160.

40. Radaev S.S., Kudomanov M.V., Gorgodze G.A. Efficiency of using complex additives and mixed binder in the production of plaster mixtures. *Vestnik Tyumenskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekologiya i prirodopol'zovaniye*. 2014. No. 5, pp. 154–160. (In Russian).
41. Кузьмина В.П. Финишные технологии отделки малоэтажных зданий // *Сухие строительные смеси*. 2013. № 1. С. 34–37.
41. Kuzmina V.P. Finishing technologies for finishing low-rise buildings. *Sukhiye stroitel'nyye smesi*. 2013. No. 1, pp. 34–37. (In Russian).
42. Логанина В.И., Фролов М.В., Рябов М.А. Теплоизоляционные известковые сухие строительные смеси для отделки стен из газобетона // *Вестник МГСУ*. 2016. № 5. С. 82–92.
42. Loganina V.I., Frolov M.V., Ryabov M.A. Heat-insulating lime dry building mixtures for aerated concrete walls. *Vestnik MGSU*. 2016. No. 5, pp. 82–92. (In Russian).
43. Харитонов А.М., Николаев В.А. Штукатурный состав для комплексной защиты кирпичных стен от солевой коррозии. *Инновации и инвестиции*. 2019. № 3. С. 230–234.
43. Kharitonov A.M., Nikolaev V.A. Plaster for complex protection of brick walls against salt corrosion. *Innovatsii i investitsii*. 2019. No. 3, pp. 230–234. (In Russian).
44. Čáchová M., Kořátková J., Koňáková D., Vejmelková E., Bartoňková E., Černý R. Hygric properties of lime-cement plasters with the addition of a pozzolana. *Procedia engineering international conference on ecology and new building materials and products, ICEBMP 2016*. Cerna Hora, Czech Republic. 31 May–2 June 2016. Vol. 151, pp. 127–132. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.403>
45. Jerman M., Žumár J. Experimental determination of material characteristics of new type of plaster. *Materials Science Forum 7th International Conference on Building Materials*. Zahrady, Czech Republic. 20–22 May 2015. Vol. 824, pp. 21–26. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.824.21>
46. Palszegi T., Holubek M. Effective permittivity modeling of lime-cement perlite plaster. *Therophysics 2011 – Conference proceedings*. 2011, pp. 174–179.
47. Чекардовский М.Н., Гусева К.П., Лебедев С.Ю. Теплоизоляционные перлитовые штукатурки // *Инженерно-строительный вестник Прикаспия: научно-технический журнал*. 2020. № 2 (32). С. 88–91.
47. Chekardovsky M.N., Guseva K.P., Lebedev S.Yu. Heat-insulating perlite plasters. *Inzhenerno-stroitel'nyy vestnik Prikaspiya: nauchno-tekhnicheskii zhurnal*. 2020. No. 2 (32), pp. 88–91. (In Russian).
48. Сопегин Г.В., Семейных Н.С., Рустамова Д.Ч. Оценка влияния стеклосодержащего компонента на свойства гипсового вяжущего и сухих строительных смесей // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. 2020. Т. 22. № 5. С. 129–138. <https://doi.org/10.31675/1607-1859-2020-22-5-129-138>
48. Sopegin G.V., Semeinykh N.S., Rustamova D.Ch. Assessment of the effect of the glass-containing component on the properties of gypsum binder and dry building mixtures. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. 2020. Vol. 22. No. 5, pp. 129–138. (In Russian). <https://doi.org/10.31675/1607-1859-2020-22-5-129-138>
49. Peterková J., Zach J., Sedlmajer M. Development of advanced plasters for insulation and renovation of building constructions with regard to their hygrothermal behavior. *Cement and Concrete Composites*. 2018. Vol. 92, pp. 47–55. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2018.05.014>
50. Логанина В.И., Фролов М.В., Рябов М.А. Известковый состав для отделки стен зданий из газобетона // *Вестник ЮУрГУ. Сер. Строительство и архитектура*. 2016. Т. 16. № 2. С. 33–37. <https://doi.org/10.14529/build160206>
50. Loganina V.I., Frolov M.V., Ryabov M.A. Lime composition for wall decoration of aerated concrete buildings. *Vestnik YUUrGU. Seriya «Stroitel'stvo i arkhitektura»*. 2016. Vol. 16. No. 2, pp. 33–37. (In Russian). <https://doi.org/10.14529/build160206>
51. Логанина В.И., Фролов М.В., Исследование синергетического эффекта добавки на основе гидросиликатов и гидроалюмосиликатов кальция // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. 2019. № 7. С. 8–13. https://doi.org/10.34031/article_5d35d0b645d6f8.37881085
51. Loganina V.I., Frolov M.V. Study of the synergistic effect of an additive based on hydrosilicates and hydroaluminosilicates of calcium // *Vestnik BSTU named after V.G. Shukhov*. 2019. No. 7, pp. 8–13. (In Russian). https://doi.org/10.34031/article_5d35d0b645d6f8.37881085
52. Чулкова И.Л. Известково-реставрационные композиты // *Вестник СибАДИ*. 2012. № 5 (27). С. 71–77.
52. Chulkova I.L. Lime-restoration composites. *Vestnik SibADI*. 2012. No. 5 (27), pp. 71–77. (In Russian).
53. Логанина В.И., Фролов М.В., Скачков Ю.П. Оценка влияния отделочных покрытий на изменение влажностного режима газобетонной ограждающей конструкции // *Вестник МГСУ*. 2018. Т. 13. № 11. С. 1349–1356. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2018.11.1349-1356>
53. Loganina V.I., Frolov M.V., Skachkov Yu.P. Assessment of the effect of finishing coatings on the change in the humidity regime of aerated concrete enclosing structures. *Vestnik MGSU*. 2018. Vol. 13. No. 11, pp. 1349–1356. (In Russian). <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2018.11.1349-1356>
54. Дворкин Л.И., Житковский В.В., Сухие строительные смеси с добавкой известково-карбонатной пыли // *Сухие строительные смеси*. 2018. № 4. С. 13–16.
54. Dvorkin L.I., Zhitkovsky V.V. Dry building mixtures with the addition of lime-carbonate dust. *Sukhiye stroitel'nyye smesi*. 2018. No. 4, pp. 13–16. (In Russian).

55. Кандаев А.В., Губарь В.Н., Сравнительный анализ водостойкости реставрационных растворов // *Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры*. 2020. № 4. С. 91–95.
56. Kandaev A.V., Gubar V.N. Comparative analysis of the water resistance of restoration solutions. *Vestnik Donbasskoy natsional'noy akademii stroitel'stva i arkhitektury*. 2020. No. 4, pp. 91–95. (In Russian).
57. Пугин К.Г. Строительная смесь с бактерицидными свойствами // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. 2019. № 4. С. 40–46. https://doi.org/10.34031/article_5cb1e65debc933.57283217
58. Pugin K.G. Building mixture with bactericidal properties. *Vestnik BSTU named after V.G. Shukhov*. 2019. No. 4, pp. 40–46. (In Russian). https://doi.org/10.34031/article_5cb1e65debc933.57283217
59. Ghosh A., Ghosh A., Neogi S. Reuse of fly ash and bottom ash in mortars with improved thermal conductivity performance for buildings. *Heliyon*. 2018. Vol. 4. Iss. 11. e00934. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2018.e00934>
60. Бельх С.А., Кудряков А.И., Чикичев А.А. Сухая строительная смесь с повышенной адгезионной прочностью для отделки кирпичных поверхностей во влажных помещениях // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. 2017. № 1 (60). С. 122–133.
61. Belykh S.A., Kudryakov A.I., Chikichev A.A. Dry mortar with increased adhesive strength for finishing brick surfaces in damp rooms. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. 2017. No. 1 (60), pp. 122–133. (In Russian).
62. Ruello M.L., Bellezze T., Corinaldesi V., Donnini J. Eusebi A.L., Fatone F. Fava G., Favoni O., Fratesi R., Giosué C., Giuliani G., Marcellini M., Mazzoli A., Mobili A., Roventi G., Tittarelli F. Sustainability in construction materials: From waste valorization to circular economy. *The first outstanding 50 years of "Università politecnica delle marche": research achievements in physical sciences and engineering*. 2019, pp. 279–296. https://doi.org/10.1007/978-3-030-32762-0_16
63. 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. Iss. 33. 101830. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101830>
64. Soolepp M., Ruus A., Nutt N., Raamets J., Kubjas A. Hygrothermal performance of paper plaster: Influence of different types of paper and production methods on moisture buffering. *E3S Web of Conferences. 12th Nordic Symposium on Building Physics, NSB 2020*; Tallinn, Estonia. 6–9 September 2020. Vol. 172. 14010. <http://doi.org/10.1051/e3sconf/202017214010>
65. Samkova A., Kulhavy P., Tunakova V., Petru M. Improving electromagnetic shielding ability of plaster-based composites by addition of carbon fibers. *Advances in materials science and engineering*. 2018. Vol. 2018. 3758364. <https://doi.org/10.1155/2018/3758364>
66. Kulhavy P., Samkova A., Petru M., Pechociakova M. Improvement of the acoustic attenuation of plaster composites by the addition of short-fibre reinforcement. *Advances in materials science and engineering*. 2018. Vol. 2018. 7356721. <https://doi.org/10.1155/2018/7356721>
67. Rachedi M., Kriker A. Thermal properties of plaster reinforced with date palm fibers. *Civil and environmental engineering*. 2020. Vol. 16. Iss. 2, pp. 259–266. <https://doi.org/10.2478/cee-2020-0025>
68. Логанина В.И., Фролов М.В. Использование зольных алюмосиликатных микросфер в известковых сухих строительных смесях для отделки // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. 2017. № 3. С. 6–8. <https://doi.org/10.12737/24623>
69. Loganina V.I., Frolov M.V. The use of ash aluminosilicate microspheres in lime dry building mixtures for finishing. *Vestnik BSTU named after V.G. Shukhov*. 2017. No. 3, pp. 6–8. (In Russian). <https://doi.org/10.12737/24623>
70. Антоненко М.В., Огурцова Ю.Н., Строкова В.В., Губарева Е.Н. Фотокаталитически активные самоочищающиеся материалы на основе цемента. Составы, свойства, применение // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. 2020. № 3. С. 16–25. <https://doi.org/10.34031/2071-7318-2020-5-3-16-25>
71. Antonenko M.V., Ogurtsova Yu.N., Strokova V.V., Gubareva E.N. Cement-based photocatalytically active self-cleaning materials. Compositions, properties, application. *Vestnik BSTU named after V.G. Shukhov*. 2020. No. 3, pp. 16–25. (In Russian). <https://doi.org/10.34031/2071-7318-2020-5-3-16-25>
72. Antonenko M.V., Ogurtsova Y.N., Strokova V.V., Gubareva E.N. The effect of titanium dioxide sol stabilizer on the properties of photocatalytic composite material. *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2021. Vol. 95, pp. 16–22. https://doi.org/10.1007/978-3-030-54652-6_3
73. Gubareva E.N., Strokova V.V., Ogurtsova Y.N., Baskakov P.S., Singh L.P. Composition and properties of TiO₂ sol to produce a photocatalytic composite material. *Key Engineering Materials*. 2020. Vol. 854, pp. 45–50. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.854.45>
74. Strokova V., Gubareva E., Ogurtsova Y., Fediuk R., Zhao P., Vatin N., Vasilev Y. Obtaining and properties of a photocatalytic composite material of the “SiO₂–TiO₂” system based on various types of silica raw materials. *Nanomaterials*. 2021. Vol. 11 (4), pp. 866. <https://doi.org/10.3390/nano11040866>
75. Senff L., Ascensão G., Ferreira V.M., Seabra M.P., Labrincha J.A. Development of multifunctional plaster using nano-TiO₂ and distinct particle size cellulose fibers. *Energy and Buildings*. 2018. Vol. 158, pp. 721–735. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.10.060>

71. Dantas S.R.A., Serafini R., Romano R.C. de O., Vittorino F., Loh K. Influence of the nano TiO₂ dispersion procedure on fresh and hardened rendering mortar properties. *Construction and Building Materials*. 2019. Vol. 215, pp. 544–556. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.04.190>
72. Diamanti M., Del Curto B., Ormellese M., Pedferri M. Photocatalytic and self-cleaning activity of colored mortars containing TiO₂. *Construction and Building Materials*. 2013. Vol. 46, pp. 167–174. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.04.038>
73. Jiang C., Li D., Zhang P., Li J., Wang J., Yu J. Formaldehyde and volatile organic compound (VOC) emissions from particleboard: identification of odorous compounds and effects of heat treatment. *Building and Environment*. 2017. Vol. 117, pp. 118–126. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.03.004>
74. Quiroz T.J., Royer S., Bellat J.P., Giraudon J.M., Lamonier J.F. Formaldehyde: catalytic oxidation as a promising soft way of elimination. *Chemoschem*. 2013. Vol. 6, pp. 578–592. <https://doi.org/10.1002/cssc.201200809>
75. Shayegan Z., Haghightat F., Lee C.-S. Carbon-doped TiO₂ film to enhance visible and UV light photocatalytic degradation of indoor environment volatile organic compounds. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 2020. Vol. 8. Iss. 5. 104162. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104162>
76. Hu X., Li C., Sun Z., Song J., Zheng S. Enhanced photocatalytic removal of indoor formaldehyde by ternary heterogeneous BiOCl/TiO₂/sepiolite composite under solar and visible light. *Building and Environment*. 2020. Vol. 168, 106481. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106481>
77. Balayeva N., Fleischa M., Bahnemann D. Surface-grafted WO₃/TiO₂ photocatalysts: Enhanced visible-light activity towards indoor air purification. *Catalysis Today*. 2018. Vol. 313, pp. 63–71. <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2017.12.008>
78. Франке Р. Легкие штукатурки компании «Quick-mix» // *Сухие строительные смеси*. 2011. № 5. С. 20–22.
78. Franke R. Light plasters of the company «Quick-mix». *Sukhiye stroitel'nyye smesi*. 2011. No. 5, pp. 20–22. (In Russian).
79. Fořt J., Kočí J., Pokorný J., Černý R. Influence of superabsorbent polymers on moisture control in building interiors. Influence of superabsorbent polymers on moisture control in building interiors. *Energies*. 2020. Vol. 13. Iss. 8. 2009. <https://doi.org/10.3390/en13082009>
80. Fořt J., Hotěk P., Kočí J., Černý R. Utilization plasters with superabsorbent admixture to moderate moisture level in constructions. *E3S Web of Conferences*. 2020. Vol. 172. 11009. <http://doi.org/10.1051/e3s-conf/202017211009>
81. Fořt J., Kočí J., Pokorný J., Podolka L., Kraus M., Černý R. Characterization of responsive plasters for passive moisture and temperature control. *Applied Sciences (Switzerland)*. 2020. Vol. 10. Iss. 24, pp. 1–16. <https://doi.org/10.3390/app10249116>
82. Samková A., Kulhavý P., Pechočiaková M. Possibilities to improve electromagnetic shielding of plaster composites adding carbon fibers. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 17th World Textile Conference: Shaping the Future of Textiles, Autex 2017*. Corfu, Greece. 29–31 May 2017. Vol. 254. Iss. 4. 042025. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/254/4/042025>
83. Samková A., Kulhavý P. Study of the acoustic attenuation in plaster composites in dependency on added fiber reinforcement. *Vibroengineering Procedia. 25th International Conference on Vibroengineering*. Liberec, Czech Republic. 30 May–1 June 2017. Vol. 11, pp. 179–185. <https://doi.org/10.21595/vp.2017.18567>
84. Jerman M., Medved' I., Maděra J., Kočí V., Černý R. Effect of moisture variations on damage cumulation in surface layers of building structures. *AIP Conference Proceedings. International Conference of Numerical Analysis and Applied Mathematics, ICNAAM 2017*. Thessaloniki, Greece. 25–30 September 2017. Vol. 1978. 080005. <https://doi.org/10.1063/1.5043730>
85. Парута В.А., Брынзин Е.В., Гринфельд Г.И. Физико-механические основы проектирования штукатурных растворов для газобетонной кладки // *Строительные материалы*. 2015. № 8. С. 30–34. <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2015-728-8-30-34>
85. Paruta V.A., Brynzin E.V., Grinfeld G.I. Physical and mechanical foundations for the design of plaster solutions for aerated concrete masonry. *Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]*. 2015. No. 8, pp. 30–34. (In Russian). <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2015-728-8-30-34>
86. Čáchová M., Koňáková D., Vejmelková E., Keppert M., Polozhiy K., Černý R. Heat and water vapor transport properties of selected commercially produced plasters. *Advanced Materials Research 1st International Doctoral Conference on Advanced Materials, IDC-AM 2014*. Zahrady, Czech Republic. 23–25 July 2014. Vol. 982, pp. 90–93. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.982.90>
87. Sathiparan N., Rupasinghe M.N., Pavithra H.M. Performance of coconut coir reinforced hydraulic cement mortar for surface plastering application. *Construction and Building Materials*. 2017. Iss. 142, pp. 23–30. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.03.058>
88. Stahl T., Vonbank R., Holzer M. Die Entwicklung eines mineralischen Feuchtespeicher-Grundputzes. *Bauphysik*. 2013. Vol. 35. Iss. 5, pp. 346–355. <https://doi.org/10.1002/bapi.201310077>
89. Парута В.А. Теоретические основы проектирования составов штукатурных растворов для автоклавного газобетона с учетом механики разрушения системы «кладка – покрытие» // *Сухие строительные смеси*. 2014. № 5. С. 38–43.
89. Paruta V.A. Theoretical basis of design of plaster solutions compositions for autoclave aerated concrete taking into account the mechanics of destruction of the masonry-coating system. *Sukhiye stroitel'nye smesi*. 2014. No. 5, pp. 38–43. (In Russian).



**8-9
сентября
2021 г.
г. Воронеж**

**Оргкомитет:
140050, Московская обл.
п. Красково
ул. К. Маркса, д. 117,
РГА
Телефон:
+7 8-916-501-36-56
E-mail: rga-service@mail.ru
www.rosgips.ru**

**Российская гипсовая ассоциация
Московский государственный строительный университет
Научно-исследовательский институт строительной физики
Воронежский государственный технический университет**

**Десятая Международная конференция
«Повышение эффективности производства
и применения гипсовых материалов и изделий»**

Тематика конференции:

- технический прогресс в области гипсовых материалов и изделий (исследования, производство и применение)
- ангидритовые вяжущие
- гипсовые материалы в малоэтажном строительстве
- привлекательность и механизмы инноваций в гипсовой отрасли
- современное оборудование для производства гипсовых вяжущих, материалов и изделий на их основе
- лаборатории, менеджмент качества, экологический менеджмент и их роль в обеспечении качества и долговечности гипсовых материалов
- нормативно-техническая документация в соответствии с современными требованиями
- обучение и переподготовка специалистов в области производства и применения гипсовых материалов и изделий

Генеральный информационный спонсор: журнал

**СТРОИТЕЛЬНЫЕ
МАТЕРИАЛЫ®**

100+
**TECHNO
BUILD**

**VIII Международный
строительный форум
и выставка**

**ДИАЛОГ
РЕГИОНОВ**

**5-7 октября 2021
Екатеринбург**

forum-100.ru

Организатор конференции



INTERNATIONAL
ASSOCIATION OF
FOUNDATION
CONTRACTORS

МЕЖДУНАРОДНАЯ АССОЦИАЦИЯ
ФУНДАМЕНТОСТРОИТЕЛЕЙ

Официальная поддержка



АО ЦНИИТС



НИЦ строительство
научно-исследовательский центр

21-23
СЕНТЯБРЯ
2021

IV МЕЖДУНАРОДНАЯ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ

«РОССИЙСКИЕ И ЗАРУБЕЖНЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
И СТРОИТЕЛЬСТВА
МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ»

МЕСТО ПРОВЕДЕНИЯ:
МОСКВА, ХОЛИДЕЙ ИНН СУЩЁВСКИЙ
УЛ. СУЩЕВСКИЙ ВАЛ, 74, 2 ЭТАЖ

Генеральный спонсор
конференции



Спонсоры конференции



акционерное общество
НЬЮ ГРАУНД

mageba
mageba-group.com

Северсталь



ГК «ЛАРСЕН ГРУПП»
ОБЪЕДИНЕНАЯ СТРОИТЕЛЬНАЯ КОМПАНИЯ ПРОДАЖА, СЕРВИС, АРЕНДА

Генеральные информационные партнеры

ФУНДАМЕНТЫ
научно-практический журнал для проектировщиков и строителей

Гидротехника

Орджанов

Мир ДОРОГ

ИТС
Информационно-технологическое строительство



НАВИГАТОР

ТЕХНОЛОГИИ БЕТОНОВ

Строительная газета
Инвестиции. Производство. Архитектура. ИТ



www.fc-union.com, info@fc-union.com
+7 (495) 66-55-014, +7 925 57-57-810