

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ[®] № 10

Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]

ISSN 0585-430X (Print)

ISSN 2658-6991 (Online)



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ ИЗДАЕТСЯ С 1955 г. WWW.RIFSM.RU WWW.JOURNAL-CM.RU ОКТЯБРЬ 2022 г. (807)





ООО «БлокПластБетон» — ВЕДУЩИЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬ ТЕПЛОГО БЕТОНА



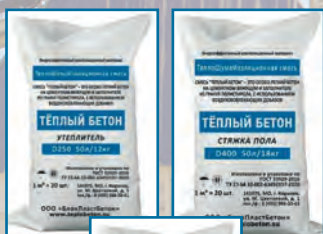
Быстровозводимые энергоэффективные дома. Преимущества технологии строительства из крупноформатных полистиролбетонных панелей с системой паз-гребень по сравнению с обычной каменной кладкой заключаются в скорости, качестве, безопасности и надежности. Такие дома не требуют утепления и прослужат более ста лет. Подробнее с технологией можно ознакомиться в статье, опубликованной в этом номере журнала.



Стеновые полистиролбетонные блоки — технологичный энергоэффективный строительный материал. Он позволяет возводить теплые и долговечные здания без применения дополнительных утеплителей. Применение полистиролбетонных изделий позволяет существенно экономить при строительстве. Стеновые блоки из теплого бетона предназначены для устройства теплоэффективных наружных стен зданий различного назначения в жилищном, гражданском и промышленном строительстве. Полистиролбетон включен в национальный перечень энергоэффективных материалов промышленного производства.



Полистиролбетонные армированные перемычки применяются в кладке наружных стен над оконными, дверными и другими проемами. Используются в кладке ограждающих конструкций зданий не только из полистиролбетона, но и из других ячеистых бетонов, кирпича, теплой керамики и т. п. Выполняют как конструкционную, так и теплоизоляционную функции, несут нагрузку от собственной массы и массы блоков, лежащих над перекрываемыми проемами. Широкий размерный ряд, невысокая стоимость и короткий производственный цикл позволяют получить дополнительную экономию времени и средств при строительстве.



Сухая полистиролбетонная смесь ТЕПЛЫЙ БЕТОН выпускается в строгом соответствии с нормативной документацией. Благодаря отработанной рецептуре готовую полистиролбетонную смесь можно с легкостью приготовить и использовать в любых условиях строительства для утепления, шумоизоляции, стяжки и изготовления конструктивных элементов. Выпускается смесь различной плотности от $D150 \text{ кг/м}^3$ до $D600 \text{ кг/м}^3$.



Специалисты ООО «БлокПластБетон» выполняют строительно-монтажные работы «под ключ» и оказывают услуги по проектированию.

Проекты отличаются точной проработкой всех конструктивных систем и планировочных решений. Специалисты нашей компании готовы разработать проект дома с учетом всех пожеланий и возможностей заказчиков.



Дома из энергоэффективных крупноформатных полистиролбетонных панелей могут выполняться в любом архитектурном стиле.

ООО «БлокПластБетон»

Московская область, г. Королев, ул. Марины Цветаевой, 1

Наши специалисты знакомят вас с производимыми материалами и услугами, предоставят полную консультацию, ответят на все вопросы

Тел.: 8 (498) 719-09-99
e-mail: info@bpb.ru

8 (495) 988-50-61
www.blokplastbeton.ru

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

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ® № 10

Основан в 1955 г. (807) Октябрь 2022 г.

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

Современные бетоны

InterConPan-2022. Технологический суверенитет для индустриального домостроения в Российской Федерации.....	4
Д.Г. ЗЮКИН	
Полистиролбетон. Рациональное использование энергетических ресурсов	12
Л.Я. КРАМАР, И.М. ИВАНОВ, К.В. ШУЛДЯКОВ, М.В. МОРДОВЦЕВА	
Влияние суперпластификаторов на микроструктуру и упругие свойства бетона	17
В.Т. ЕРОФЕЕВ, И.Н. МАКСИМОВА, О.В. ТАРАКАНОВ, Я.А. САНЯГИНА, И.В. ЕРОФЕЕВА, О.В. СУЗДАЛЬЦЕВ	
Декоративно-отделочные порошково-активированные бетоны с зернистой фактурой поверхности	25
С.С. КАПРИЕЛОВ, А.В. ШЕЙНФЕЛЬД, И.А. ЧИЛИН	
Оптимизация параметров технологии бетона для обеспечения термической трещиностойкости массивных фундаментов.....	41

Материалы и конструкции

Человек. Судьба. Завод (Информация).....	52
С.В. ФЕДОСОВ, А.В. МАРКЕЛОВ, А.А. ЛАПИДУС, Д.В. ТОПЧИЙ	
Строительные кровельные диффузионные мембраны: виды и характеристики, направление научных изысканий	55
П.Г. ЕРЕМЕЕВ	
Висячие конструкции.....	62
И.Н. УСАЧЁВ, Н.К. РОЗЕНТАЛЬ	
Полувековой опыт эксплуатации железобетонных конструкций Кислогубской ПЭС в Баренцевом море	68

Результаты научных исследований

В.А. ВОЙТОВИЧ, И.Н. ХРЯПЧЕНКОВА	
Применение гальваношламов в качестве добавок в строительные материалы.....	73
А.Н. ХАГЛЕЕВ, Л.А. УРХАНОВА, М.А. МОКЕЕВ, К.А. ДЕМИН	
Гидроизоляционный материал для магистральных трубопроводов на основе полиэтилена, модифицированного в плазме скользящей дуги	79

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®

№ 10

Founded in 1955 (807) October 2022

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

Modern concretes

- InterConPan-2022. Technological Sovereignty for Industrial Housing Construction in the Russian Federation** 4
- D.G. ZYUKIN
- Polystyrene Concrete. Rational use of Energy Resources** 12
- L.Ya. KRAMAR, I.M. IVANOV, K.V. SHULDYAKOV, M.V. MORDOVITSEVA
- Influence of Superplasticizers on the Microstructure and Elastic Properties of Concrete** 17
- V.T. EROFEEV, I.N. MAKSIMOVA, O.V. TARAKANOV, Ya.A. SANYAGINA, I.V. EROFEEVA, O.V. SUZDALTSEV
- Decorative and Finishing Powder-Activated Concretes with a Granular Surface Texture** 25
- S.S. KAPRIELOV, A.V. SHEYNFELD, I.A. CHILIN
- Optimization of Concrete Technology Parameters to Ensure Thermal Crack Resistance of Massive Foundations** 41

Materials and structures

- Human. Fate. Plant (Information)** 52
- S.V. FEDOSOV, A.V. MARKELOV, A.A. LAPIDUS, D.V. TOPCHIY
- Construction Roofing Diffusion Membranes: Types and Characteristics, Direction of Scientific Research** 55
- P.G. EREMEEV
- Hanging Structures** 62
- I.N. USACHEV, N.K. ROSENAL
- Half a Century of Experience in the Operation of Reinforced Concrete Structures
of the Kislaya Guba Tidal Power Station in the Barents Sea** 68

Results of scientific research

- V.A. VOITOVICH, I.N. KHRYAPCHENKOVA
- The Use of Galvanic Sludge as Additives in Building Materials** 73
- A.N. KHAGLEEV, L.A. URKHANOVA, M.A. MOKEEV, K.A. DEMIN
- Waterproofing Material for Main Pipelines Based on Polyethylene Modified in Gliding Arc Plasma** 79

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)

РУДАКОВ О.Б.,
д-р хим. наук, профессор (Воронеж)

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

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

СТРОКОВА В.В.,
д-р техн. наук, советник РААСН (Белгород)

ФИШЕР Х.-Б.,
доктор-инженер (Германия)

ХОЗИН В.Г.,
д-р техн. наук, профессор (Казань)

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)

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
(Saransk)

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)

RUDAKOV O.B.,
Doctor of Sciences (Chemistry), professor (Voronezh)

STROKOVA V.
Doctor of Science (Engineering), Advisor of RAACS (Belgorod)

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)

SHEBL S.M.,
Doctor of Science, Professor (Egypt)

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

SHTACKELBERG D.,
Doctor of Science (Engineering), Professor (Israel)

YAKOVLEV G.,
Doctor of Science (Engineering), Professor (Izhevsk)

YU JIANGMIAO,
PhD / Associate Professor (China, Guangzhou)

InterConPan-2022

Технологический суверенитет для индустриального домостроения в Российской Федерации

InterConPan-2022

Technological Sovereignty for Industrial Housing Construction in the Russian Federation

АО «ЦНИИЭП жилища» (Москва) и объединенная редакция журналов «Строительные материалы»® и «Жилищное строительство» (Москва) при поддержке Комитета Торгово-промышленной палаты РФ по предпринимательству в сфере строительства выступили организаторами XII Международной научно-практической конференции «InterConPan-2022: инновации для индустриального домостроения», которая прошла 28–29 июня 2022 г. в Конгресс-Центре Торгово-промышленной палаты в Москве. В мероприятии приняли участие более 170 специалистов строительно-инвестиционных компаний, домостроительных предприятий и проектных организаций, представители машиностроительных и инженеринговых компаний, поставщики программного обеспечения, ученые вузов и научно-исследовательских институтов из 27 регионов Российской Федерации и трех зарубежных стран. Партнерами конференции в этом году стали ООО «Петро Билдинг Системс» (Санкт-Петербург); ЗАО «Рекон» (Чебоксары); Allbau Software GmbH (Германия); ООО «ШНЕЛЛ РУС» (Италия). Производственный партнер – ГК «МонАрх» (Москва).

JSC «TSNIEPzhilishcha» (Moscow) and the joint editorial board of the magazines «Construction Materials»® and «Housing Construction» (Moscow) with the support of the Committee of the Chamber of Commerce and Industry of the Russian Federation on Entrepreneurship in the field of construction were the organizers The XII International Scientific and Practical Conference «InterConPan-2022: innovations for industrial housing construction», which was held on June 28–29, 2022 at the Congress Center of the Chamber of Commerce and Industry in Moscow. The event was attended by more than 170 specialists of construction and investment companies, house-building enterprises and design organizations, representatives of machine-building and engineering companies, software suppliers, scientists from universities and research institutes from 27 regions of the Russian Federation, three foreign countries. The partners of the conference were Petro Building Systems LLC (St. Petersburg); Recon CJSC (Cheboksary); Allbau Software GmbH (Germany); SCHNELL RUS LLC (Italy). The production partner is Monarch Group of Companies (Moscow).

Особое место среди технологий строительства жилья занимает индустриальное домостроение, позволяющее максимально быстро возводить большой объем комфортного жилья по доступной для массового потребителя цене. Данная технология полностью отвечает задачам Стратегии развития строительной отрасли и ЖКХ до 2030 г., которая обсуждается и дорабатывается в Минстрое РФ.

Участники конференции заслушали более 20 докладов и обсудили ключевые вопросы развития отрасли:

- снижение зависимости индустриального домостроения от поставок импортного оборудования, развитие отечественных технологий, их своевременное и эффективное внедрение для обеспечения технологического суверенитета;

- внедрение цифровых технологий в проектирование, производство и строительство;

- современное « типовое » проектирование: разработка, внедрение и широкое использование при возведении зданий и сооружений научно обоснованных типовых объемно-плани-





рочных и конструктивных решений, модульных зданий комплектной поставки, что позволит развить эффективные методы широкого повторного использования надежных, технологичных и отработанных проектных решений, обеспечивая рациональное использование материальных и финансовых ресурсов при сокращении сроков строительства;

– нормативно-технические документы в области индустриального домостроения и использования модульных зданий и сооружений, а также вопросы упрощения нормативного правового регулирования строительства зданий с применением модульных технологий.

Более тридцати докладов заслушано в ходе работы XII Международной научно-практической конференции «InterConPan-2022: инновации для индустриального домостроения».

Коллеги обменивались опытом и обсуждали вопросы технологического суверенитета в области индустриального домостроения.

Исполняющий обязанности директора Федерального центра нормирования и стандартизации Минстроя России **А.В. Копытин** (Москва) отметил, что в утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации 27.09.2021 № 2692-р дорожной карте «Рейнжиниринг правил промышленного строительства» определен упрощенный порядок градостроительной деятельности – сокращенный состав проектной документации и осуществление экспертизы только в части привязки модульного здания к земельному участку. А декларируемый в Стратегии развития строительной отрасли и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации до 2030 г. с прогнозом на период до 2035 г. запуск массового строительства индивидуальных жилых домов индустриальным способом требует «включения в план мероприятий по реализации национальных проектов технологий индустриального домостроения, в том числе технологий сборно-монолитного каркаса, блочно-модульного строительства и деревянного домостроения, а также современных строительных материалов,





включая алюминиевые, композитные и полимерные и полученные за счет вторичной переработки сырья или отходов строительства и сноса».

Проекты монолитно-сборных домов для первоочередной застройки малоэтажных поселков представил д-р техн. наук, научный руководитель АО «ЦНИИЭП жилища» (Москва) **С.В. Николаев**. Он рассказал об опыте строительства пилотного дома, на котором отработаны технологические и ценовые вопросы. Монолитно-панельный дом со сборно-монолитными петлевыми соединениями и многупустотными плитами перекрытий – это симбиоз двух видов строительства: от монолитного домостроения взято бетонирование узлов соединений панелей для надежного восприятия усилий в узлах соединений и создания надежной преграды для протеканий и промерзаний, от панельного – заводское гарантированное качество наружных, внутренних стен, перекрытий, бетонных лестниц и перегородок. При этом комфортное жилье стоит на 15–20% ниже самого дешевого панельного жилья и строится в два-три раза быстрее монолитного: от инвестирования строительства до въезда в дом не более 1,5 месяцев. Применение сборно-монолитных соединений позволяет достичь абсолютной герметичности горизонтальных и вертикальных стыков в доме, исключить сварочные работы и тем самым обеспечить экологичность возведения зданий. Полученные результаты позволяют определить (в ценовых параметрах 2021 г.) себестоимость строительства в 45 тыс. р./м² и сроки строительства до 1,5 месяцев для домов с закрытым тепловым контуром.



На эффективности использования отечественных кассетных установок остановился **В.В. Мошкин** – ген. директор ООО «Петро Билдинг Системс» (Санкт-Петербург). Он отметил, что в сравнении с горизонтальным формованием минимум в десять раз меньше задействуется производственной площади: кассетная установка на 20 отсеков занимает 150 м². Поверхность панелей не требует дополнительной обработки. Кантования изделия не требуется. Использование магнитной бортоснастки позволяет быстро перенастраивать оборудование под другие проекты. Ремонтпригодная система





обогрева позволяет устранить неполадки без разрезания рубашки, а эффективная термообработка изделия с двух сторон положительно влияет на производительность оборудования. Производительность оборудования до двух оборотов в сутки кассетной установки на 20 отсеков позволяет производить 200 тыс. м² стеновых панелей в год.

Ген. директор Концерна «КРОСТ» (Москва) **А.А. Добашин** сделал акцент на промышленно-строительном суверенитете. Строительная отрасль РФ имеет зависимых от импорта позиций: из материалов – стекло, пигменты, химия (20%); из изделий – муфты, гравюлки, саморезы, инструмент (40%); из конструкций – высокопрочные закладные (10%); из оборудования – краны, лифты, опалубка, кондиционеры, насосы, генераторы, линии для производства ЖБИ, датчики, станки ЧПУ, строительная техника, оборудование для испытаний (80%). Это приводит к перенастройке технологической цепочки, а в итоге к срыву поставок, росту стоимости, увеличению сроков сдачи объекта. Еще в 2021–2022 гг. Концерн «КРОСТ» локализовал производство высокопрочной опалубки для производства сборного железобетона на основе итальянских технологий. В результате срок изготовления уменьшился в четыре раза, стоимость – в два раза. Сотрудничество с НИИСФ РААСН позволило ввести в эксплуатацию климатическую камеру, предназначенную для испытаний больших размеров фрагментов ограждающих светопрозрачных конструкций зданий на водонепроницаемость, воздухопроницаемость, ветрозащитенность. До конца 2021 г. такие испытания приходилось осуществлять на зарубежных экспериментальных базах. С помощью этой установки можно осуществлять испытания конструкций площадью до 75 м², фрагментов сооружений высотой на три этажа.

Кроме того, Алексей Алексеевич рассказал о комбинаторике как методе проектирования современной промышленной коллекции зданий, позволяющей вычислять необходимое количество элементов и их комбинаций в каждом домокомплекте; число видов работ, выполняемых параллельно как на заводе, так и на строительной площадке; необходимое количество операций при производстве промышленных элементов для оптимизации производства. Благодаря комбинаторике весь строительный процесс можно разложить на типовые операции, оптимизировать трудовые и временные затраты на каждую операцию, в конечном счете фундаментально ускорить строительство.





Эстетическим качествам жилых домов предложил уделять больше внимания **В.А. Шембаков**, ген. директор ЗАО «Рекон» (Чебоксары), поставляющего комплекс отечественного оборудования для индустриального возведения зданий. Достижение архитектурной выразительности отдельных индустриальных элементов возможно за счет использования фиброцемента в наружных четырехслойных панелях, выполненных на универсальном стенде. Он отметил, что при соединении современных технологий, обеспечивающих прочность конструкций, с архитектурной выразительностью в итоге будут выполнены базовые требования строительства – безопасность, сейсмостойчивость, функциональность, энергоэффективность и ресурсосбережение.



Об опыте возведения высотных крупнопанельных домов подробно рассказал **Е.В. Румянцев**, руководитель управления R&D Департамента Продукта ООО «ПИК-Строительные Технологии» (Москва). В соответствии с СП 276.1325800.2016 «Здания и комплексы высотные. Правила проектирования» здание, имеющее «пожарную» высоту более 75 м, является высотным, а по ГрК РФ здание высотой более 100 м является уникальным. Известно, что современные требования нормативных документов по проектированию сборных ж/б конструктивных систем зданий (СП335, СП356) не распространяются на высотные здания, а СП 276.1325800.2016 содержит прямой запрет на использование сборных железобетонных конструктивных систем и допускает использование сборных конструкций только в качестве несъемной опалубки, а также при обосновании в качестве плит перекрытий, лестничных площадок и маршей. Известен отечественный опыт возведения сборных зданий в Челябинске (75 м) и Екатеринбурге (80 м). В докладе была представлена разработанная система мониторинга конструкций при возведении 33-этажного дома до 100 м высотой: при контроле несущих конструкций (внутренних и наружных стен) необходимо контролировать вертикальные относительные деформации, косвенно – напряжения, изменения вертикальной нагрузки струнными датчиками деформаций; при контроле конструктивной системы здания в совокупности необходимо контролировать угловые деформации (крен), параметры колебаний (частоты и амплитуды) цифровыми двухосевыми наклономерами и трехкомпонентным акселерометром. При возведении пилотных домов особенное внимание было уделено выполнению вертикальных сты-





ков с помощью перевязки стеновых панелей, заливке стыков с помощью «холодных» самоуплотняющихся мелкозернистых бетонных смесей.

В докладе **Д. Хайретдинова** (Allbau Software GmbH) было отмечено, что если рассмотреть развитие сборного проекта от получения исходных данных проектирования к выдаче производственных данных и планированию, то обычно эти стадии разделяются ручными операциями, на которых теряется производительность – ручная загрузка в машину шаблонов сеток, очистка чертежа изделия для графопостроителя, ручной ввод объемов комплектующих с чертежа в карточку изделия 1С и т. д. В Allplan Precast же эти операции соединены бесшовно, и производительность не только не теряется, но наращивается, в частности за счет применения специализированных модулей и функций в Allplan Precast для OpenBIM, которые вошли в состав пакетов для удобного заимствования модели архитектора, автопробивания проемов, работы с альбомом типовых узлов, проектирования объемных изделий, в том числе и лестниц.

Обзор вариантов производства объемных модулей и опыта их применения сделал член Комитета по предпринимательству в сфере строительства Торгово-промышленной палаты РФ **Р.Х. Морзаганов**. Он отметил преимущества использования опрокидывающейся поршневой формы при индустриальном производстве: сокращение сроков производства; более высокий объем производства (4–5-кратное бетонирование изделий в сутки в одной форме); высокое качество поверхности всех сторон; отсутствие дополнительной установки панелей крыши или пола; уменьшенные площади для окончательной отделки. Последующая сборка плоских элементов в объемный блок с установкой инженерных коммуникаций и чистовой отделкой позволяет организовать универсальное производство любых плоских и объемных элементов; изготавливать объемные блоки разной конфигурации и размеров с финишной отделкой на заводе; создавать объекты жилого и общественного назначения с разнообразной архитектурой; возводить и малоэтажное и многоэтажное жилье.

В проекте решения XII Международной научно-практической конференции «InterConPan-2022» участники отметили, что индустриальное домостроение превосходит по скорости, качеству и экономичности все другие методы строительства жилья – кирпичное, монолитное, крупноблочное. Только крупнопанельное и объемно-блочное домостроение от малоэтажного до высотного способно в короткие сроки решить главную социально-экономическую задачу государства – обеспечение населения России качественным и недорогим жильем. Для бесперебойной работы предприятий, производящих железобетонные конструкции, необходимо обеспечить технологический суверенитет: наладить бесперебойную поставку современного оборудования на заводы и отработать схему восстановления вышедшего из строя импортного оборудования. Отмечено, что одна из главных задач – подготовка высококвалифицированных инженеров-технологов-строителей. Существующая в строительных вузах России двухуровневая система «бакалавр–магистр» готовить таких специалистов практически не может. В настоящее время предприятия стройиндустрии испытывают острый дефицит инженеров-технологов, которых выпускали строительные факультеты строительных вузов страны. В соответствии





с Постановлением ЦК КПСС и Правительства СССР от 1954 г. «О производстве бетонных и железобетонных изделий для сборного строительства» к 1989 г. в СССР действовало 6 тыс. заводов и комбинатов общей мощностью 150 млн м³ бетонных изделий и конструкций для всех видов строительства. В настоящее время в каждом регионе РФ имеется работающий завод ЖБК, КПД или ОБД. Поэтому наступило время перехода технических вузов России на подготовку полноценных инженеров, а для строительной индустрии – инженеров-технологов-строителей по учебному плану и программам, соответствующим современному уровню развития науки и технологий. Участники конференции предложили, в частности, разработать новый учебный план и рабочие программы дисциплин по специальности «Индустриальное домостроение» к началу 2023/24 учебного года на основе базовых государственных архитектурно-строительных университетов, а ведущие проектные институты и предприятия сборных железобетонных конструкций, КПД и ОБД просить обеспечить студентам специальности «Индустриальное домостроение» возможность прохождения практики и последующее устройство на инженерные должности на своих заводах.

В рамках конференции состоялся круглый стол, посвященный обсуждению вопросов комплексного проектирования и организации сопровождающих производств. Особенное внимание участники круглого стола уделили снижению материалоемкости изделий КПД и вопросам использования пористых заполнителей для производства изделий КПД. Коллеги обменялись мнениями о производстве крупногабаритных модулей и перспективах отечественного производства оборудования для обеспечения технологического суверенитета.

О возможности индустриальных технологий при восстановлении разрушенных в чрезвычайных ситуациях жилых, общественных и промышленных объектов известно много. Необходимо отметить возможность быстрой ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций за счет оперативного развертывания мобильного производства, сокращения сроков нового строительства и восстановительных работ; высокой гибкости производства в результате применения универсального оборудования для изготовления индивидуальных и стандартных ж/б изделий индустриальным способом, изготовления конструкций по индивидуальным проектам восстановления утраченных элементов зданий (перекрытий, внутренних, наружных стен и лестнично-лифтовых узлов). Эта технология уже предлагается некоторыми застройщиками.





29 июня 2022 г. участники «InterConPan-2022» в рамках выездной сессии посетили инновационный завод по производству крупных модулей ГК «МонАрх».

Технополис модульного домостроения изготавливает модули площадью до 100 м² разных габаритов.

В докладе зам. ген. директора ООО «Концерн МонАрх» **А.С. Мещерякова**, который он сделал на пленарном заседании 28 июня, было отмечено, что максимальная длина модуля 15,5 м, максимальная ширина 7,5 м, максимальная высота 3,5 м. Основные особенности технологии заводского производства сверхгабаритных модулей: бесперебойность производства в оптимальных условиях; заводское качество, которого сложно достичь в условиях строительной площадки; контролируемая себестоимость. 90% операций по возведению дома происходят в заводских условиях. В результате достигается более 95% заводской готовности квартир и мест общего пользования с отделкой, сантехническими и электромонтажными работами.

Участники InterConPan-2022 посетили шоу-румы одно-, двух-, трехкомнатных квартир в эксплуатирующемся офисном центре; побывали в первом экспериментальном семиэтажном двухсекционном доме. Специалисты ООО «Комбинат Инновационных Технологий – МонАрх» подробно рассказали о технологии крупногабаритного модульного домостроения, с помощью которой **впервые в мире** изготовлены сверхкрупногабаритные модули площадью свыше 100 м²; освоены крупногабаритные модули (до трех этажей) лестничных клеток с полной отделкой и устройством фасадов в заводских условиях; организовано производство трехэтажного блока лифтов с начинкой оборудования и комплектующих в заводских условиях.

Самый распространенный вопрос, который возникал у участников конференции: как обеспечить доставку готовых блоков к месту монтажа? Оказалось, что данная технология уменьшает нагрузки на городскую дорожную сеть при транспортировке сверхкрупногабаритных модулей на объект. Например, при возведении одного дома необходимо 120–150 ночных рейсов вместо 1 тыс. дневных. При этом снижаются шумовые воздействия на окружающую среду в процессе возведения здания: все отделочные работы уже выполнены. Причем в заводских условиях можно добиваться энергосбережения и энергоэффективности. Специалисты ГК «МонАрх» декларировали строительство одного здания выше нулевого цикла за один месяц вместо одного года и, как следствие, ускорение сроков окупаемости проекта. Кроме того, данная технология пригодна для возведения домов в районах Крайнего Севера за счет сокращения трудоемкости работ на стройплощадке в несколько раз и быстрого перевода готовых объектов на постоянное энергоснабжение.



**Объединение профессионалов гарантирует успех!
Оставайтесь с нами! Ждем встречи в 2023 году!**

Д.Г. ЗЮКИН, руководитель технического отдела (dg@bpb.su)

Производственно-строительное предприятие ООО «БлокПластБетон» (141075, Московская обл., г. Королев, ул. М. Цветаевой, 1)

Полистиролбетон. Рациональное использование энергетических ресурсов

Бурное развитие строительства в России в начале 1990-х гг. в условиях надвигающегося энергетического кризиса требовало новых материалов и технологий, в первую очередь из-за резко возросших требований к теплозащите ограждающих конструкций зданий. На начальном этапе существенное повышение требований к сопротивлению теплопередаче ограждающих конструкций в условиях отсутствия отечественных теплоэффективных материалов приводило к нерациональному росту толщины наружных стен и значительному увеличению материалоемкости здания в целом, вследствие чего появилась необходимость сооружать более массивные фундаменты. Все это потребовало создания «теплого дома» по инновационной технологии, обеспечивающей требуемое сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций на основе однослойных теплотехнически однородных наружных стен из принципиально нового материала – полистиролбетона.

Ключевые слова: полистиролбетон, теплозащита, панель, бетон, энергоэффективность, дом, технология строительства.

Для цитирования: Зюкин Д.Г. Полистиролбетон. Рациональное использование энергетических ресурсов // *Строительные материалы*. 2022. № 10. С. 12–16. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-807-10-12-16>

D.G. ZYUKIN, Head of Technical Department (dg@bpb.su)

Production and Construction Enterprise "BlockPlastBeton" LLC (BlockPlastBeton) (1, Tsvetaevoy Street, Korolev, 141075, Moscow Region, Russian Federation)

Polystyrene Concrete. Rational use of Energy Resources

The rapid development of construction in Russia in the early 1990s in the context of the impending energy crisis required new materials and technologies. First of all, due to the sharply increased requirements for thermal protection of building enclosing structures. At the initial stage, a significant increase in the requirements for resistance to heat transfer of enclosing structures in the absence of domestic heat-efficient materials led to an irrational increase in the thickness of the outer walls and a significant increase in the material consumption of the building as a whole. As a result, it became necessary to build more massive foundations. All this required the creation of a "warm house" using an innovative technology that provides the required resistance to heat transfer of enclosing structures based on single-layer thermo-technically homogeneous external walls made of a fundamentally new material – polystyrene concrete.

Keywords: polystyrene concrete, thermal protection, panel, concrete, energy efficiency, house, construction technology.

For citation: Zyukin D.G. Polystyrene concrete. Rational use of energy resources. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2022. No. 10, pp. 12–16. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-807-10-12-16>

НИИЖБ им. А.А. Гвоздева приступил к разработке полистиролбетона в содействии с такими организациями, как ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, НИИСФ РААСН (Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук), МНИИТЭП (Московский научно-исследовательский и проектный институт типологии, экспериментального проектирования) и др., что подчеркивает важность и принципиальность внедрения данной технологии. Были организованы всесторонние лабораторные исследования технологий производства и свойств материала; рассмотрены вопросы проектирования; организовано заводское экспериментальное производство изделий и конструкций и проведены их всесторонние испытания; выполнено опытное строительство нового поколения энергоэффективных зданий с применением полистиролбетона. Созданные нормативные документы сразу же внедрялись в практику строительства.

Первые пять домов высотой 19–25 этажей со штукатурным рельефным фасадом построены в районе Братеево (Москва) в 1998–2000 гг. Позднее в московском районе Куркино построено около 80 многоэтажных зданий с ограждающими конструкциями из



Рис. 1. Производственное предприятие «БлокПластБетон» (Московская обл.)

Fig. 1. Production Enterprise "BlockPlastBeton" (Moscow Region)

полистиролбетонных блоков и облицовочного кирпича. В настоящее время накоплен более чем двадцатилетний положительный опыт массового строительства и эксплуатации энергоэффективных зданий с использованием полистиролбетона, и объем введенного жилья перешагнул за 20 млн м².

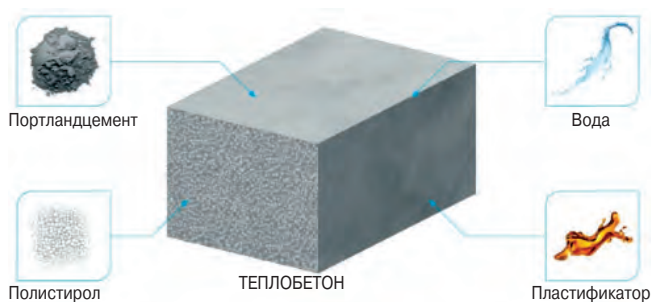


Рис. 2. Состав полистиролбетона
Fig. 2. Composition of polystyrene concrete

Производственное предприятие «БлокПластБетон» с 2009 г. непрерывно осуществляет выпуск и поставку строительных материалов на основе полистиролбетона. За это время пройден путь от небольшого цеха до крупного предприятия, способного выпускать более 10 тыс. м³ продукции ежемесячно (рис. 1). Полистиролбетон, сложный композитный материал, и для его производства необходимы определенные знания и опыт (рис. 2). Неоценимую помощь и поддержку оказал Вячеслав Наумович Ярмаковский – канд. техн. наук, главный научный сотрудник НИИСФ РААСН, почетный член РАССН, член Международной федерации по конструкционным бетонам (*fib*). Несмотря на плотный рабочий график, он всегда находил время и помогал на всех этапах производства. В настоящее время Вячеслав Наумович активно ведет работу по созданию особо легких бетонов новых модификаций с высокими показателями теплотехнического качества. В ближайшее время коллеги ждут обновленную технологию производства полистиролбетона [1–3].

Классификация полистиролбетона

По степени теплозащитных и конструктивных качеств полистиролбетон подразделяется на теплоизоляционный (D150–225), теплоизоляционно-

конструкционный (D250–350) и конструкционно-теплоизоляционный (D350–600). С позиций теплосбережения наибольший интерес представляют особо легкие бетоны марок по средней плотности D150–400 с учетом их прочности и морозостойкости. Полистиролбетон обеспечивает необходимую морозостойкость при плотности от D150 (F25), что дает возможность применения в наружных стенах зданий в виде плит для утепления торцов железобетонных конструкций (таблица). Полистиролбетон наиболее эффективно может применяться при плотностях 250–350 кг/м³ в ограждающих конструкциях с прочностью, достаточной для ненесущих стен (B0,5–B1,5).

Для несущих наружных стен блоки плотностью 400–600 кг/м³ из полистиролбетона имеют сопоставимые характеристики по прочности, но значительно более высокие характеристики по морозостойкости по сравнению с другими ячеистыми бетонами. По сравнению с ячеистыми бетонами равной плотности прочность при растяжении при изгибе выше в среднем в 2,5 раза; прочность при сжатии на 10–15%; морозостойкость выше на 3–4 марки; водопоглощение ниже в 2–3 раза, а теплопроводность ниже на 10–30%, что в совокупности делает полистиролбетон поистине уникальным материалом (рис. 3).

Блоки стеновые полистиролбетонные

Технология возведения монолитно-каркасных зданий существенно сокращает сроки строительства, экономически эффективна и позволяет возводить сооружения любого типа [4]. Благодаря высокой теплоэффективности использование полистиролбетонных блоков позволяет исключить дополнительное утепление и значительно снизить финансовые затраты. Сравнительно низкий вес блоков сокращает сроки кладочных работ. Также блоки не боятся атмосферных осадков и имеют высокую морозостойкость, что увеличивает срок эксплуатации конструкции в

Теплотехнические характеристики полистиролбетона
Thermal characteristics of polystyrene concrete

Марка по средней плотности	Коэффициент теплопроводности в сухом состоянии λ_0 , Вт/(м·°C)	Расчетные характеристики сборных изделий при условиях эксплуатации А и Б				
		Влажность w , %		Коэффициент теплопроводности λ , Вт/(м·°C)		Паропроницаемость μ , мг/(м·ч·Па)
		А	Б	А	Б	
D5150	0,051	3	4	0,054	0,056	0,135
D175	0,055	3	4	0,058	0,06	0,128
D200	0,062	3	4	0,066	0,069	0,12
D225	0,066	3	4,5	0,071	0,075	0,115
D250	0,07	3	4,5	0,076	0,08	0,11
D300	0,078	3	5	0,085	0,091	0,1
D350	0,085	3,5	6	0,095	0,101	0,09
D400	0,095	3,5	6	0,106	0,117	0,085
D450	0,105	4	7	0,118	0,13	0,08
D500	0,115	4	7	0,13	0,145	0,075
D550	0,125	4	8	0,143	0,16	0,07
D600	0,135	4	8	0,158	0,176	0,068



Рис. 3. Основные преимущества полистиролбетона
Fig. 3. Main advantages of polystyrene concrete

целом. Полистиролбетон плотностью выше D300 относится к группе горючести НГ и соответствует требованиям пожарной безопасности.

Помимо всего, значительно снижается нагрузка на основную железобетонную конструкцию (рис. 4). Для примера рассмотрим двухсекционный 17-этажный дом. Для устройства наружных стен из ячеистых блоков требуется 1549,8 м³ блоков. При удельном весе газосиликата плотностью D500 в 600 кг/м³ (при идеальных условиях) общий вес составит около 930 т. При применении полистиролбетона плотностью D300 шириной 330 мм получим общий объем 1278,6 м³, общий вес которого составит около 383 т. Таким образом, нагрузка на каркас снизится на 547 т.

Вследствие уменьшения общего объема блока уменьшаются и финансовые затраты на строительномонтажные работы на 20% и более, увеличивается скорость кладки за счет небольшого веса и количества полистиролбетонных блоков. За счет низкого водопоглощения полистиролбетона полностью отсутствует риск возникновения плесени после отделки квартир. Высокая энергоэффективность значительно снижает эксплуатационные расходы (рис. 5).

Энергоэффективные быстровозводимые дома из крупноформатных полистиролбетонных панелей

В 2019 г. Минстрой России разработал проект программы по развитию индивидуального жилищного строительства, которая рассчитана до 2024 г. и должна увеличить объемы строительства индивидуальных домов с нынешних 30–36 млн м² в год до 40 млн м². Реализация данной программы напрямую зависит от темпов строительства и наличия квалифицированной рабочей силы. Помимо этого, построенные дома должны быть энергоэффективными и обладать достаточной надежностью и долговечностью, т. е. полностью соответствовать современным нормам. В первую очередь под эти критерии попадают каменные дома. При этом классические варианты возведения индивидуальных домов на основе каменной кладки не могут позволить в полной мере обеспечить реализацию данной программы.

Для реализации программы индивидуального жилищного строительства специалистами разработана

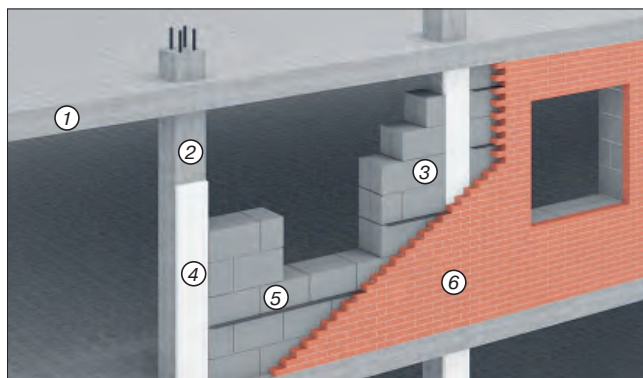


Рис. 4. Конструкция наружной стены: 1 – ж/б перекрытие; 2 – несущая ж/б колонна; 3 – полистиролбетонный блок D300 – 330 мм; 4 – полистирол или иной утеплитель, толщина по расчету; 5 – кладочная сетка; 6 – облицовочный кирпич 120 мм

Fig. 4. Design of the outer wall: 1 – reinforced concrete floor; 2 – bearing reinforced concrete column; 3 – polystyrene concrete block D300 – 330 mm; 4 – polystyrene or other insulation, thickness according to the calculation; 5 – masonry mesh; 6 – facing brick 120 mm

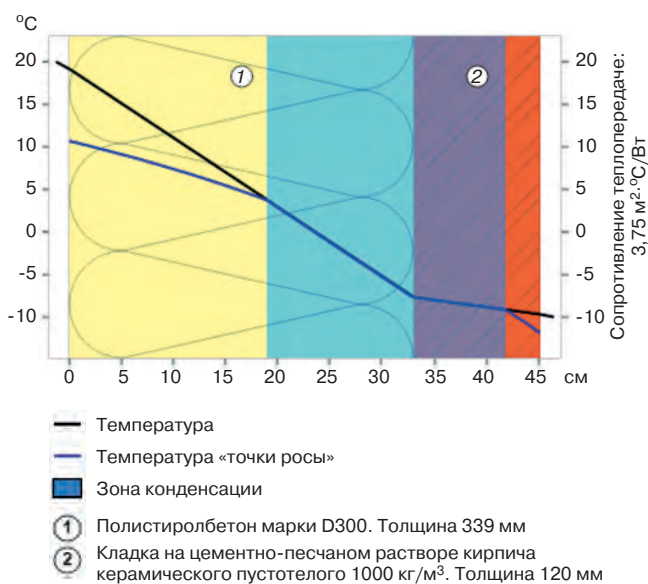


Рис. 5. Теплопроводность стены с пенополистиролбетоном
Fig. 5. Thermal conductivity of a wall with expanded polystyrene concrete

технология строительства с применением крупноформатных полистиролбетонных панелей с системой паз-гребень (рис. 5, 6).

Преимущества данной технологии по сравнению с обычной каменной кладкой заключаются в скорости, качестве, безопасности и надежности. В первую очередь это должно заинтересовать крупных застройщиков и обладателей земельных участков под коттеджную застройку. Но и для частного собственника, решившего построить собственный дом, эта технология актуальна и поможет воплотить в реальность самые смелые идеи при минимальных финансовых затратах.

Строительство дома из крупноформатных полистиролбетонных панелей напоминает сборку детского конструкторского набора с прилагаемой инструкцией. На стройплощадку доставлять уже готовые детали сооружения, которые строителям остается лишь смонтировать. При этом для доставки крупноформатных панелей не требуется специальной тех-

ники, может использоваться практически любой вид грузового транспорта. В результате производительность труда не очень высока. Площадь строительной площадки гораздо меньше необходимой при строительстве кирпичного дома. Такие длительные и трудоемкие процессы, как мелкоштучная каменная кладка, применяемая при классическом строительстве, полностью исключены. И как раз в этом специалисты и видят главное преимущество данного домостроения перед другими типами строительства. Также плюсом домов из крупноформатных полистиролбетонных панелей с системой паз-гребень является то, что они не будут давать усадку после постройки, а помещения в таких домах не потребуют особого ремонта и выравнивания поверхностей.

Перемычки армированные полистиролбетонные

Полистиролбетонные перемычки выполняют одновременно функции стенообразующего материала и утеплителя, что очень актуально для самых уязвимых мест ограждающих конструкций. В настоящее время распространена технология перекрытия проемов при помощи металлического каркаса с последующим заполнением стеновым материалом (рис. 8). Применение полистиролбетонных перемычек позволяет получить финансовую экономию до 300% и увеличить производительность труда, т. е. снизить сроки строительства.

Монтаж полистиролбетонных перемычек ввиду их небольшого веса выполняется двумя рабочими. Полученная конструкция отличается повышенной прочностью и не подвержена влиянию низкой температуры. Размерный ряд довольно широкий, а технология производства позволяет выполнить полистиролбетонные перемычки практически любого сечения и формы (рис. 9).



Рис. 6. Технология возведения жилого дома
Fig. 6. Construction technology of a residential building

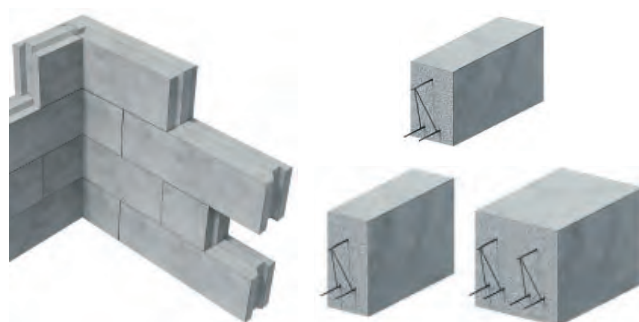


Рис. 7. Полистиролбетонная панель с системой паз-гребень
Fig. 7. Polystyrene concrete panel with tongue-and-groove system
Рис. 8. Перемычки армированные полистиролбетонные
Fig. 8. Lintels reinforced with polystyrene concrete

Сухая полистиролбетонная смесь «Теплый бетон»

Для расширения возможностей применения полистиролбетона компания «БлокПластБетон» разработала и запустила в производство сухую полистиролбетонную смесь – «Теплый бетон», выпускаемую в строгом соответствии с нормативными документами (рис. 10). Эта строительная смесь содержит все необходимые компоненты – нужно только добавить воды согласно инструкции. Благодаря отработанной рецептуре готовую полистиролбетонную смесь можно с легкостью приготовить и использовать в любых условиях строительства и для различных целей.

Полистиролбетон имеет практически постоянное расчетное массовое соотношение влаги от 4 до 6%, тогда как при увеличении содержания влаги в минеральной вате всего на 1% ее теплоизолирующая способность уменьшается почти на 20%. Полистиролбетон соответствует экологическим нормам и не требует дополнительной защиты.

Для утепления, шумоизоляции, стяжки и конструктивных элементов используется полистиролбетонная смесь различной плотности, от D150 до D600 кг/м³. В зависимости от плотности полистиролбетон обладает разнообразием по специфике применения.

Основные варианты применения сухой полистиролбетонной смеси «Теплый бетон» следующие.

Кровля – применение монолитного полистиролбетона при устройстве плоской или с небольшим уклоном кровли позволит получить долговечную, прочную и теплую конструкцию. За счет небольшой плотности нагрузка на здание будет минимальной, а отличная пластичность раствора позволит с легкостью организовать на кровле оптимальный уклон для стока воды. Гидроизоляционный ковер кровельного покрытия укладывается непосредственно по теплоизоляционному слою из монолитного полистиролбетона.

Чердачное перекрытие – при утеплении полистиролбетоном, перекрытие неотапливаемого чердака позволит получить не только отличную теплоизоляцию, но и решит проблему шумоизоляции.

Перекрытие над неотапливаемым подвалом – монолитный полистиролбетон не позволит проникнуть

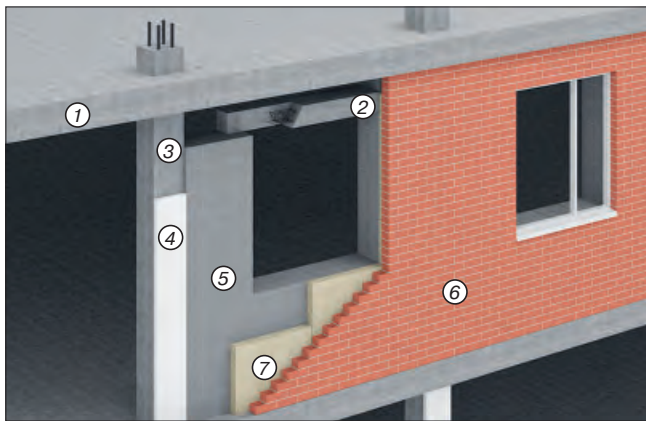


Рис. 9. Конструкция наружной стены с полистиролбетонными перемычками: 1 – перекрытие ж/б; 2 – полистиролбетонная армированная перемычка; 3 – несущая ж/б колонна; 4 – полистирол или иной утеплитель, толщина по расчету; 5 – стеновой материал (ГС, СКЦ и т. п.); 6 – облицовочный кирпич; 7 – утеплитель. При использовании полистиролбетона не требуется

Fig. 9. Design of the outer wall with polystyrene concrete lintels: 1 – reinforced concrete floor; 2 – polystyrene concrete reinforced lintel; 3 – bearing reinforced concrete column; 4 – polystyrene or other insulation, thickness according to the calculation; 5 – wall material (GS, SKTs, etc.); 6 – facing brick; 7 – heat insulator. When using polystyrene concrete is not required

холоду внутрь помещения при минимальной нагрузке на перекрытие.

Утепление лоджий и балконов – небольшой объемный вес полистиролбетона позволит провести качественное и долговечное утепление при незначительной нагрузке на конструкцию.

Утепление стен зданий – полистиролбетонная смесь благодаря устойчивости к гниению, низкому влагопоглощению и долговечности, высокой теплоизоляции и шумоизоляции применяется в качестве утеплителя наружных стен зданий совместно с использованием съемной и несъемной опалубки.

Заделка швов при панельном строительстве.

Стяжка пола – применение монолитного полистиролбетона позволит получить легкую прочную стяжку. Дополнительно вы приобретете отличную шумоизоляцию, которая доставит комфорт не только вам, но и вашим соседям.

Список литературы

1. Юдин И.В., Ярмаковский В.Н. Инновационные технологии в индустриальном домостроении с использованием конструкционных легких бетонов // *Строительные материалы*. 2010. № 1. С. 15–17.
2. Ярмаковский В.Н., Бремнер Т.У. Легкий бетон: настоящее и будущее // *Строительный эксперт*. 2005. № 20. С. 5–7. № 21. С. 5–7.
3. Петров В.П., Макридин Н.И., Соколова Ю.А., Ярмаковский В.Н. Технология и материаловедение пористых заполнителей и легких бетонов. М.: Палеотип: РААСН, 2013. 332 с.
4. Зюкин Д.Г. Крупноформатные полистиролбетонные панели – залог успешного строительства // *Строительные материалы*. 2022. № 6. С. 58–60. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-803-6-58-60>



Рис. 10. Сухая полистиролбетонная смесь

Fig. 10. Dry polystyrene concrete mix

Стены несущие и самонесущие – применение полистиролбетонной смеси в несущих стенах и перегородках позволит получить прочное, долговечное и теплое здание. Возможно строительство до трех этажей. Используется как съемная, так и несъемная опалубка. Самонесущие стены высотой до 3 м несут нагрузку от собственного веса и не должны принимать нагрузку от вышележащих перекрытий.

Нестандартные варианты (вазоны, садовые фигурки, элементы декора фасада и многое другое) – возможно применить полистиролбетонную смесь для любых ваших идей: полистиролбетон очень пластичен и легок в обработке.

Подводя итог, можно с полной уверенностью заявить, что строительные материалы, произведенные на основе «Теплого бетона» – полистиролбетона, позволяют эффективно использовать энергетические ресурсы. Для населения это сокращение коммунальных расходов, для страны в целом – экономия ресурсов, для экологии – ограничение выброса парниковых газов в атмосферу, для строительных компаний – снижение затрат на строительство. Вышеупомянутые основные преимущества полистиролбетона оценили множество частных заказчиков, а также признали ведущие строительные компании и застройщики.

References

1. Yudin I.V., Yarmakovskiy V.N. Innovative technologies in industrial housing construction using structural lightweight concretes. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2010. No. 1, pp. 15–17. (In Russian).
2. Yarmakovskiy V.N., Bremner T.U. Lightweight concrete: present and future. *Stroitel'nyi Expert*. 2005. No. 20, pp. 5–7. No. 21, pp. 5–7. (In Russian).
3. Petrov V.P., Makridin N.I., Sokolova Yu.A., Yarmakovskiy V.N. Tekhnologiya i materialovedenie poristykh zapolnitelei i legkikh betonov [Technology and materials science of porous aggregates and light concretes]. Moscow: Paleotype, RAASN, 2013. 332 p.
4. Zyukin D.G. Large-format polystyrene concrete panels – the key to successful construction. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2022. No. 6, pp. 58–60. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-803-6-58-60>

УДК 693.542.4

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-807-10-17-24>

Л.Я. КРАМАР, д-р техн. наук (kramar-l@mail.ru), И.М. ИВАНОВ, аспирант (ivanov.im@bk.ru),
 К.В. ШУЛДЯКОВ, канд. техн. наук (kirill-shuld@ya.ru),
 М.В. МОРДОВЦЕВА, магистрант (mariamordovtseva@mail.ru)

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

Влияние суперпластификаторов на микроструктуру и упругие свойства бетона

В настоящее время производство конструкционных высокопрочных бетонов не обходится без применения минеральных и химических добавок, так как с их помощью достигаются высокие технологические, эксплуатационные и экономические показатели. При воздействии нагрузки такие бетоны должны обладать строго определенными деформационными свойствами. Поэтому одним из основных параметров для таких бетонов является модуль упругости и коэффициент Пуассона. Если влияние минеральных добавок на деформационные свойства бетона изучено хорошо, то влияние химических добавок практически не изучено. Это особенно актуально ввиду появления большого разнообразия химических добавок-суперпластификаторов. В связи с этим было проведено исследование влияния суперпластификаторов разных поколений на структуру и свойства цементного камня бетона, его модуль упругости и коэффициент Пуассона. В первой части исследования изучено влияние добавок-суперпластификаторов на состав и строение продуктов гидратации цемента. Во второй части установлено влияние добавок-суперпластификаторов разных поколений на модуль Юнга, коэффициент Пуассона и другие характеристики высокопрочного бетона. В результате показано, что добавки-суперпластификаторы значительно влияют на состав и строение гидратов в цементном камне, что существенно изменяет деформационные свойства бетона.

Ключевые слова: суперпластификатор, микрокремнезем, структура, бетон, деформационные свойства, модуль упругости, коэффициент Пуассона.

Для цитирования: Крамар Л.Я., Иванов И.М., Шулдяков К.В., Мордовцева М.В. Влияние суперпластификаторов на микроструктуру и упругие свойства бетона // *Строительные материалы*. 2022. № 10. С. 17–24. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-807-10-17-24>

L.Ya. KRAMAR, Doctor of Sciences (Engineering) (kramar-l@mail.ru), I.M. IVANOV, Postgraduate (ivanov.im@bk.ru),
 K.V. SHULDYAKOV, Candidate of Sciences (Engineering) (kirill-shuld@ya.ru), M.V. MORDOVITSEVA, Graduate student (mariamordovtseva@mail.ru)
 South Ural State University (National Research University) (76, Lenina Avenue, Chelyabinsk, 454080, Russian Federation)

Influence of Superplasticizers on the Microstructure and Elastic Properties of Concrete

At present, the production of structural high-strength concretes is not complete without the use of mineral and chemical additives, since with their help high technological, operational, and economic indicators are achieved. When exposed to a load, such concretes must have strictly defined deformation properties. Therefore, one of the main parameters for such concretes is the modulus of elasticity and Poisson's ratio. If the effect of mineral additives on the deformation properties of concrete is well studied, then the effect of chemical additives is practically not studied. This is especially true in view of the emergence of a wide variety of chemical additives-superplasticizers. In this regard, a study was made of the influence of superplasticizers of different generations on the structure and properties of the cement stone of concrete, its modulus of elasticity and Poisson's ratio. In the first part of the study, the influence of superplasticizer additives on the composition and structure of cement hydration products was studied. In the second part, the influence of superplasticizer additives of different generations on Young's modulus, Poisson's ratio and other characteristics of high-strength concrete is established. As a result, it was shown that superplasticizers significantly affect the composition and structure of hydrates in cement stone, which significantly changes the deformation properties of concrete.

Keywords: superplasticizer, silica fume, structure, concrete, deformation properties, modulus of elasticity, Poisson's ratio.

For citation: Kramar L.Ya., Ivanov I.M., Shuldjakov K.V., Mordovtseva M.V. Influence of superplasticizers on the microstructure and elastic properties of concrete. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2022. No. 10, pp. 17–24. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-807-10-17-24>

Современные бетоны, предназначенные для возведения высотных зданий, подземных и промышленных сооружений, дорожных и аэродромных покрытий, в процессе эксплуатации подвергаются повышенным постоянным и циклическим нагрузкам, а также замораживанию-оттаиванию, увлажнению-высушиванию и другим воздействиям. Такие бетоны требуют более тщательного подхода к оценке их свойств и устойчивости к повышенным и переменным нагрузкам при эксплуатации. Все эти воздействия приводят к возникновению в бетонах неоднородностей и трещин, активизации коррозионных процессов, а также способствуют развитию ползучести и других изменений структуры бетона, вызывая

постепенное разрушение. Одним из главных параметров, определяющих несущую способность и долговечность таких бетонов, является модуль упругости.

В настоящее время в России, странах Евросоюза, Британии, США, Австралии и других странах при расчете бетонных и железобетонных конструкций модуль упругости бетона принимают в зависимости от класса бетона по прочности при сжатии (СП 63.13330.2018 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. СНиП 52-01–2003 с Изменением № 1»; ACI 318–14 «Building code requirements for structural concrete»; AS 3600–2009 «Concrete structures»; EN 12390-3:2019 «Testing hardened concrete – Part 3: Compressive strength of test specimens»). По данным ис-

следований [1, 2], такой способ учета модуля упругости является недостаточно точным, так как конструкционные бетоны значительно отличаются от рядовых структурой и свойствами.

Исследованиями последних десятилетий доказано, что модуль упругости бетона в большей степени зависит от следующих основных факторов: количества и вида используемых заполнителей, вида вяжущего, водоцементного отношения, вида и количества добавок, условий и продолжительности твердения, плотности и прочности бетона. При этом прочность бетона оказывает значительно меньшее влияние на модуль упругости, чем все перечисленные факторы [3–5].

Исследования влияния современных органических добавок [3, 6–9] не дают полного ответа на вопрос о роли цементного камня и его контактной зоны в формировании модуля упругости бетона. Однако при нагрузке и воздействии на бетон среды эксплуатации наиболее уязвимой его составляющей является цементный камень и контактная зона «цементный камень – заполнитель». Это подтверждается модулем упругости бетона, величина которого обычно не превышает 45 ГПа, в то время как модуль упругости практически всех видов крупного заполнителя превышает 70 ГПа [10]. Из этого следует, что деформации и образованию трещин подвержен прежде всего цементный камень. Следовательно, структура и свойства цементного камня бетона определяют его модуль упругости.

Все свойства цементного камня, в том числе модуль упругости, зависят от формируемой пористости, т. е. от водоцементного отношения, и фазового состава продуктов гидратации цемента. Эти параметры связаны с особенностями и количеством вводимых химических и минеральных добавок. Но до сих пор исследованиями не установлено влияние фазового состава цементного камня на модуль упругости бетона [7, 10–15]. Это актуально, так как в настоящее время рынок предлагает большое количество разных добавок, в особенности суперпластификаторов, значительно различающихся между собой по химическому составу и механизму действия, влиянию на процессы гидратации цемента и состав продуктов этого процесса.

Сегодня получение высокопрочных конструкционных бетонов не обходится без применения химических и минеральных добавок. Обычно в комплекс добавок включают суперпластификатор (СП) и микрокремнезем (МК), что позволяет в значительной степени повысить прочность, выносливость и стойкость бетона ко всем видам внешней и внутренней коррозии. Исходя из вышеописанного и учитывая особенности формирования структуры и свойств бетонов, а также влияние на эти свойства гидратных фаз цементного камня, необходимо рассмотреть влияние комплексных добавок, включающих СП и МК, на формирование структуры и состава гидросиликатных фаз цементного камня и установить их взаимосвязь с модулем упругости бетона.

Целью настоящего исследования является изучение влияния наиболее распространенных современных суперпластификаторов, вводимых в качестве добавки в бетон совместно с микрокремнеземом, на состав гидросиликатных фаз, особенности формирования структуры цементного камня и установление взаимосвязи этих характеристик с начальным модулем упругости конструкционного высокопрочного бетона нормального твердения.

Для проведения исследования необходимо было решить следующие задачи:

- изучить влияние суперпластификаторов разных поколений, включаемых в комплекс СП+МК, на структуру цементного камня и состав гидратных фаз;
- установить влияние добавок на модуль упругости бетона и выявить влияние на него структуры цементного камня.

Материалы и методы

Для проведения исследований применяли следующие материалы:

- щебень гранодиоритовый Новосмолинского карьера, соответствующий ГОСТ 8267–93 «Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия» и ГОСТ 26633–2015 «Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия»: фракция 5–10 мм, морозостойкость – F400; $R_{сж}$ = 140 МПа; E = 72 ГПа;

- песок кварцевый месторождения «Хлебороб», удовлетворяющий требованиям ГОСТ 8736–2014 «Песок для строительных работ. Технические условия»: $\rho_{и}$ = 2,62 г/см³; $\rho_{н}$ = 1565 кг/м³; M_k = 2,11; содержание пылевидных и глинистых – 2±0,1%;

- портландцемент ЦЕМ I 42.5 Н ГОСТ 31108–2020 «Цементы общестроительные. Технические условия» производства SLK Cement;

- микрокремнезем конденсированный (МК), соответствующий ГОСТ Р 58894–2020 «Микрокремнезем конденсированный для бетонов и строительных растворов. Технические условия» и ТУ 5743-048-02495332–96, а также ГОСТ Р 56592–2015 «Добавки минеральные для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия»;

- суперпластификаторы (СП): нафталинформальдегидный суперпластификатор СП-1 и высоководоредуцирующие суперпластификаторы: на основе эфира поликарбоксилатов – Master Glenium SKY 591 (далее – Glenium) и на основе эфиров полиарила – Master Polyheed 3045 (далее – Polyheed).

Все принятые для исследований добавки соответствуют требованиям ГОСТ 24211–2008 «Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия», являются эффективными и часто рекомендуются для использования в производстве сооружений из бетона и железобетона.

Исследование особенностей минералогического и фазового состава цементного камня бетона проводили с применением: электронной микроскопии (ЭМ); рентгенофазового анализа (РФА) и син-

хронного термического анализа (СТА), совмещающего термогравиметрию (ТГ) и дифференциальную сканирующую калориметрию (ДСК). РФА проводили на рентгеновском аппарате фирмы Rigaku с гониометром Ultima IV In-plane, при $U=40$ кВт; $I=30$ мА и ширине выходной щели 10 мм. СТА – на синхронном термоанализаторе «Luxx STA 409 PC». Исследование структуры цементного камня проводили с использованием сканирующего растрового электронного микроскопа Jeol JSM-7001F. Все полученные результаты по структуре цементного камня и бетона определяли с использованием справочников [16, 17] и открытой базы данных характеристик минералов RRUFF (веб-сайт проекта RRUFF, содержащий интегрированную базу данных спектров комбинационного рассеяния, рентгеновской дифракции и химических данных для минералов – <https://rruff.info>).

Открытую пористость изучали по водопоглощению согласно ГОСТ 12730.3–2020 «Бетоны. Метод определения водопоглощения». Прочность бетона контролировали по ГОСТ 10180–2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам». Призмную прочность, модуль упругости (E) и коэффициент Пуассона (μ) бетонов определяли в 28-суточном возрасте согласно ГОСТ 24452–80 «Бетоны. Методы определения призмной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона». Модуль объемной упругости (K) и модуль сдвига (G) вычислены по известным формулам:

$$K = \frac{E}{3 - 6\mu}; \quad G = \frac{E}{2 + 2\mu}.$$

Исследование разделено на две части. В первой – изучали влияние комплексов различных СП с МК на структуру и свойства цементного камня. Во второй части устанавливали влияние принятых комплексов добавок на структуру и физико-механические свойства тяжелого конструкционного высокопрочного бетона.

Исследование влияния добавок на структуру и свойства цементного камня

Исследование влияния добавок на свойства цементного камня проводили в сравнении с контрольным составом – без добавок. Дозировки добавок по массе цемента: суперпластификатор – 1%; микрокремнезем – 8%. Образцы-кубики с ребром 20 мм изготавливали из цементного теста нормальной густоты. Все образцы твердели в камере нормального твердения, поддерживающей заданную температуру $20 \pm 1^\circ\text{C}$ и влажность воздуха $95 \pm 5\%$. Свойства цементного камня исследуемых составов оценивали по прочности, пористости, содержанию $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и по количеству химически связанной воды.

Результаты определения прочности цементного камня с комплексными добавками в сравнении с цементным камнем без добавок представлены на рис. 1, где для каждого состава и срока твердения приведены средние значения прочности по шести образцам.

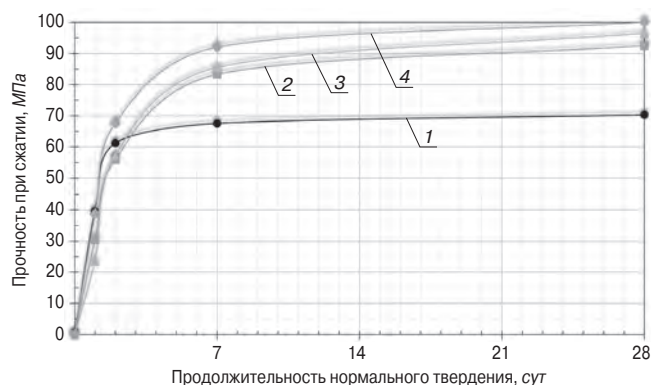


Рис. 1. Влияние добавок на прочность цементного камня в зависимости от продолжительности нормального твердения: 1 – без добавок; 2 – МК+СП-1; 3 – МК+Glenium; 4 – МК+Polyheed

Fig. 1. Influence of the additives on strength of cement matrix depending on the duration of normal hardening: 1 – without additives; 2 – microsilica+SP-1; 3 – microsilica+Glenium; 4 – microsilica+Polyheed

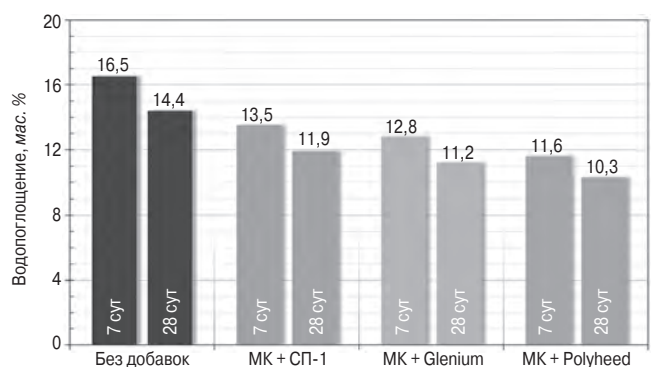


Рис. 2. Влияние добавок на открытую пористость цементного камня на 7-е и 28-е сутки нормального твердения

Fig. 2. Influence of additives on the apparent porosity of cement matrix on the 7th and 28th days of normal hardening

Внутрисерийный коэффициент вариации прочности не превышал 5%.

Изучение влияния добавок на прочность цементного камня выявило, что наибольший эффект по ее приросту во все сроки твердения дает комплекс с добавкой Master Polyheed 3045. Введение СП-1 и Master Glenium SKY 591 в первые сутки снижает набор прочности даже по сравнению с бездобавочным составом. Но на вторые сутки прочность всех составов составляет более 60% от 28-суточной прочности. Ко вторым суткам скорость набора прочности бездобавочного состава резко падает и далее до 28 сут увеличивается только на 13%, достигая 70,3 МПа. В то же время прочность образцов с добавками продолжает существенно увеличиваться, в зависимости от суперпластификатора прирост прочности от 2 до 28 сут составил 32–40%. При этом все комплексные добавки активизируют процесс гидратации и набора прочности в основном до 7 сут. Цементный камень, в зависимости от используемого СП, к 28 сут достигает 92–100 МПа. Наибольшую прочность набирает цементный камень с добавкой Polyheed.

Результаты определения открытой пористости цементного камня с разными добавками представлены на рис. 2.

Исследованием установлено, что максимальную пористость имеет бездобавочный цементный камень. С увеличением времени твердения образцов цементного камня, независимо от вводимой добавки, их пористость снижается практически одинаково. Введение суперпластификаторов снижает пористость цементного камня по отношению к бездобавочному: с СП-1 на 17,4%; с Glenium на 22,2% и с Polyheed на 28,5%. Из этого следует, что наименьшую пористость имеет цементный камень с добавкой Polyheed, что согласуется с данными по прочности цементного камня.

Вводимые в цементное тесто добавки оказывают влияние не только на физические характеристики цементного камня, но и на состав гидратных фаз. Результаты исследования влияния комплексных добавок на содержание в цементном камне портландита – $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и химически связанной воды (рис. 3) свидетельствуют об этом.

Из полученных результатов (рис. 3) следует, что при введении в цементное тесто микрокремнезема совместно с суперпластификатором в формирующемся цементном камне снижается содержание портландита и повышается содержание химически связанной воды. При этом тип применяемого суперпластификатора оказывает дополнительное влияние, особенно на содержание гидроксида кальция. Введение комплексных добавок МК+СП-1 и МК+Glenium способствует снижению содержания $\text{Ca}(\text{OH})_2$ на 16,3 и 18,6% соответственно, в то время как МК+Polyheed снижает его содержание на 30,2%.

Известно, что при прочих равных условиях отношение CaO/SiO_2 в ГСК зависит от концентрации $\text{Ca}(\text{OH})_2$ прямо пропорционально [18, 19]. Следовательно, основность гидросиликатов кальция в цементном камне с добавками снижается в зависимости от суперпластификатора в ряду: СП-1, Glenium, Polyheed.

Известно, что бездобавочный цементный камень формируется обычно из высокоосновных ГСК типа CSH (II); такие ГСК имеют соотношение CaO/SiO_2 от 1,5 до 2. Введение в цементное тесто микрокремнезема формирует цементный камень преимущественно из низкоосновных гидросиликатных фаз типа CSH (I) [16, 17, 19]. Применение вместе с МК суперпластификаторов СП-1 и Glenium способствует формированию структуры цементного камня из ГСК типа CSH (I), имеющих, по-видимому, соотношение CaO/SiO_2 от 1 до 1,5. Применение комплексной добавки МК+Polyheed способствует также формированию структуры цементного камня из низкоосновных ГСК типа CSH (I), но с более пониженным соотношением CaO/SiO_2 – от 0,8 до 1,25, о чем свидетельствует минимальное содержание гидроксида кальция и химически связанной воды, минимальная пористость и максимальная прочность при сжатии цементного камня.

Синхронный термический анализ подтвердил существенное содержание низкоосновных гидросиликатов кальция в порошковых пробах цементного

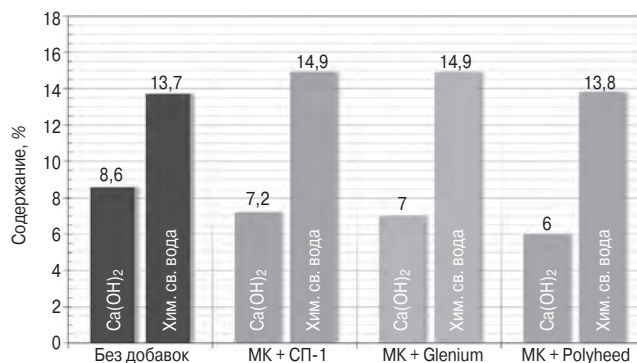


Рис. 3. Влияние добавок на содержание $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и химически связанной воды в цементном камне 28-суточного нормального твердения
 Fig. 3. Influence of additives on the content of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ and chemically bound water in cement matrix of 28-day normal hardening

камня с комплексом МК+Polyheed, так как на кривой дифференциальной сканирующей калориметрии обнаружен интенсивный экзоэффект при температуре 830–860°C, свидетельствующий о наличии низкоосновных ГСК и их превращении в волластонит.

Гидросиликаты кальция, обычно образующиеся при гидратации цемента в нормальных условиях, представляют собой слабозакристаллизованные (субмикроструктурные) гидраты, рентгеноструктурная идентификация которых затруднена. В связи с этим рентгенофазовый анализ не позволил найти убедительных доказательств различия фазового состава гидратов, формирующих цементный камень с рассматриваемыми добавками.

С целью подтверждения выводов относительно фазового состава гидратов и углубленного изучения микроструктуры цементного камня применяли метод растровой сканирующей электронной микроскопии. Для проведения исследований подготавливали образцы-сколы цементного камня и проводили их микроскопический анализ. Рассмотрим последовательно на рис. 4 снимки сколов цементного камня без добавок и с комплексными добавками.

Микроструктура цементного камня бетона без добавок (рис. 4) представлена в основном гидросиликатными образованиями в виде переплетенных и сросшихся призм, мельчайших зародышей и пластинок, кроме того, на всей поверхности сколов встречаются мелкие и крупные кристаллические образования гидроксида кальция в виде гексагональных пластинок.

Введение комплексной добавки МК+СП-1 способствует формированию цементного камня из гидратов пластинчатого строения типа CSH (I), с включениями в поровом пространстве небольшого количества гидроксида кальция в виде пластинок разного вида и размера (рис. 4). Введение совместно с МК добавки Glenium еще в большей степени способствует формированию структуры цементного камня в виде пластинок, между которыми в небольшом количестве располагаются мелкокристаллические включения $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Микроструктура первых трех рассмотренных композиций содержит гидратные фазы, формирую-

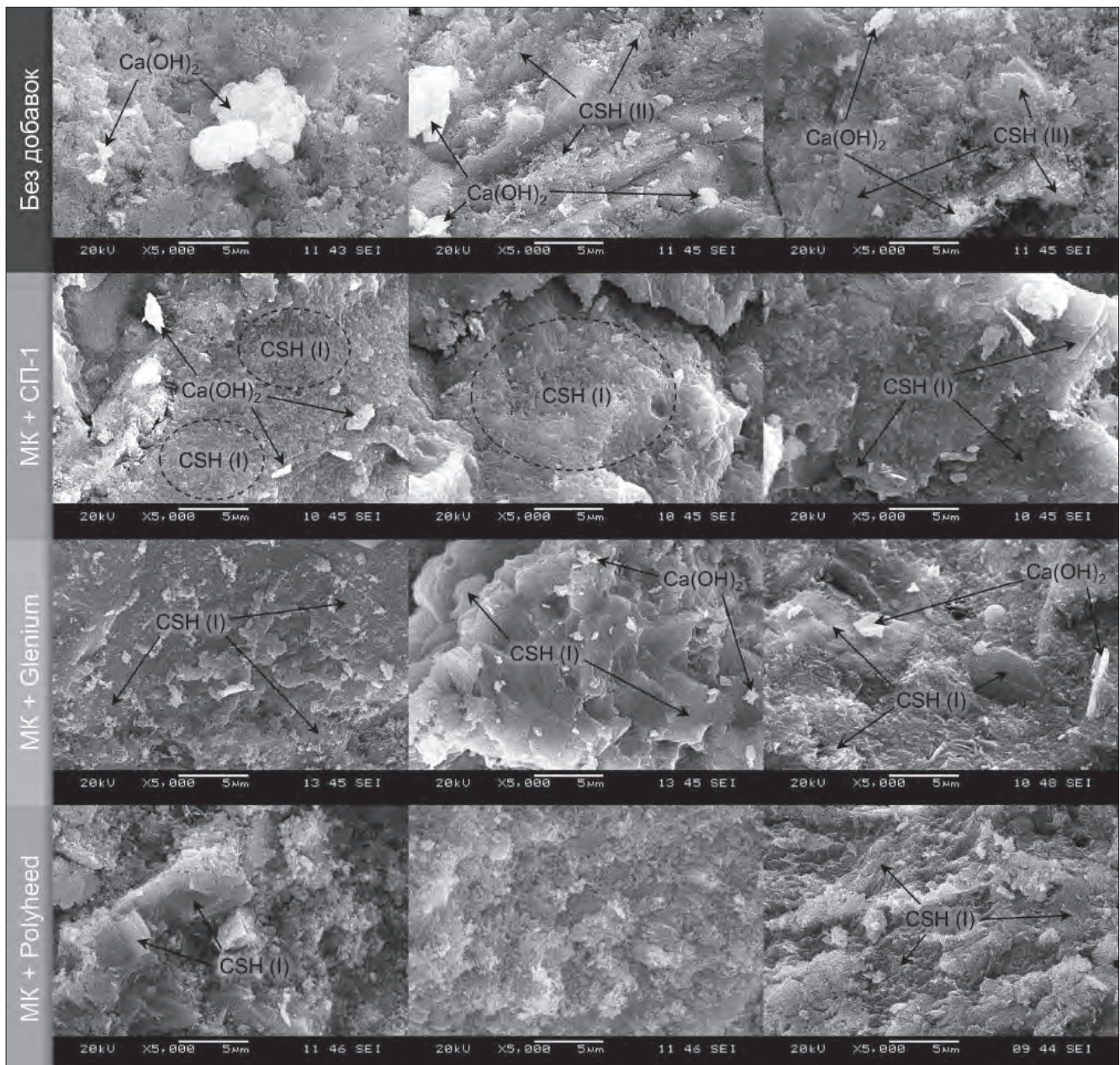


Рис. 4. Микроструктура цементного камня с рассматриваемыми добавками при увеличении в 5000 раз в трех различных областях
Fig. 4. Microstructure of cement matrix with additives in question at 5000 times magnification in three different areas

щиеся и в трехмерном, и в двумерном порядке. В рассматриваемом ряду композиций заметно увеличивается преобладание гидратных фаз пластинчатого строения. Структура цементного камня с комплексом МК+Polyheed практически полностью формируется из гидратов пластинчатого строения, т. е. ГСК в этой композиции формируются преимущественно в двумерном порядке. При этом встречаются мельчайшие зародыши портландита, находящегося между слоями ГСК. Это дополнительно свидетельствует о том, что ГСК в цементном камне с МК+Polyheed имеют низкое отношение CaO/SiO_2 .

Таким образом, можно сделать вывод, что добавки оказывают влияние на основные физико-механические характеристики цементного камня, на его струк-

туру и состав гидратных фаз. Направленное формирование структуры и свойств цементного камня бетона может значительно изменить не только его прочность, выносливость и стойкость к воздействию агрессивных сред, но и значительно изменить его деформационные свойства: модуль упругости и коэффициент Пуассона.

Исследование влияния комплексных добавок на модули упругости бетона

В настоящем разделе изучается влияние добавок-суперпластификаторов разного поколения на деформационные свойства высокопрочного бетона, модифицированного минеральной добавкой – микрокремнеземом. Добавки и их дозировки применяли такие же, как и в предыдущем разделе. На основе

портландцемента ЦЕМ I 42.5 Н и других материалов, представленных ранее, были рассчитаны и подобраны составы бетона класса по прочности при сжатии В60 ($R_{TP}=75$ МПа), имеющие марку бетонной смеси по подвижности П1. Из полученных бетонных смесей были изготовлены образцы бетона: кубы с ребром 100 мм и призмы с размерами 100×100×400 мм. Кубиковая и призматическая прочность, модуль упругости и коэффициент Пуассона бетонов определены согласно ГОСТ 10180–2012 и ГОСТ 24452–80 на образцах 28-суточного нормального твердения. Полученные результаты представлены на рис. 5 и 6.

Плотность всех полученных бетонных смесей и бетонов была примерно одинаковой, от 2337 до 2349 кг/м³. Кубиковая прочность (рис. 5, R) изучаемых бетонов находится на одном уровне, в рамках погрешности – от 76,6 до 78,1 МПа, за исключением состава с Polyheed, прочность которого несколько выше – 80 МПа. При анализе призматической прочности (рис. 5, R_{pp}) установлено, что наименьшее ее значение имеет контрольный состав – без добавок (58 МПа), а максимальную призматическую прочность имеет бетон на МК+Glenium (71,7 МПа). Среди составов с добавками наименьшую призматическую прочность набрал бетон с добавкой Polyheed (66,4 МПа). Значительно отличающаяся призматическая прочность при сопоставимой кубиковой прочности свидетельствует о существенном влиянии структуры цементного камня на поведение бетона при нагрузке. В связи с этим бетоны имеют существенно отличающиеся деформационные свойства (рис. 6).

Результаты испытаний (рис. 6) показали, что максимальный модуль упругости имеют бетоны, изготов-

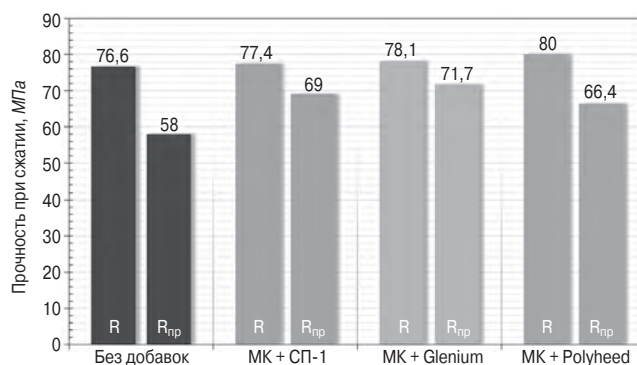


Рис. 5. Влияние добавок на кубиковую (R) и призматическую (R_{pp}) прочность бетона

Fig. 5. Influence of additives on cubic (R) and prismatic (R_{pp}) concrete compressive strength

ленные с суперпластификаторами СП-1 и Glenium; их модуль упругости одинаков и составляет 48,4 ГПа, что на 10,8% превышает модуль упругости бездобавочного состава. При этом модуль упругости бетона с добавкой Polyheed практически равен модулю упругости бездобавочного состава и существенно ниже, чем у составов с другими суперпластификаторами.

Бездобавочный состав имеет самый низкий модуль упругости и самый высокий коэффициент Пуассона (рис. 6). Это объясняется отсутствием добавок и, как следствие, повышенной пористостью (рис. 2) и формированием структуры цементного камня в основном из высокоосновных ГСК типа CSH (II).

Все бетоны с суперпластификаторами в этом исследовании имеют одинаковое водоцементное отношение, поэтому определяющим фактором деформативных свойств для них становится состав продуктов

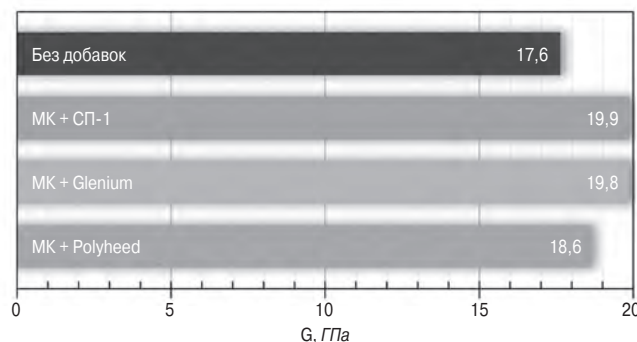
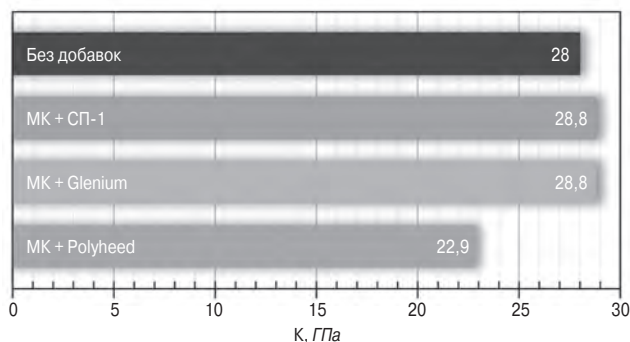
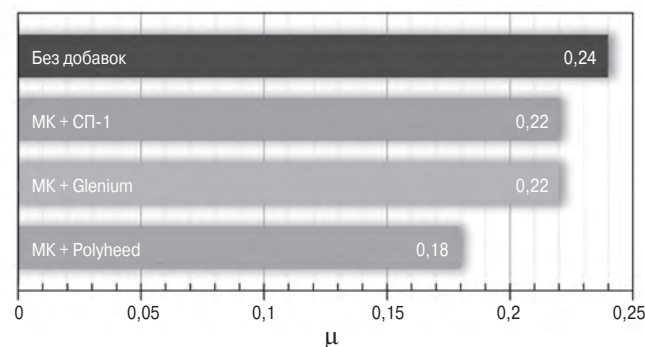
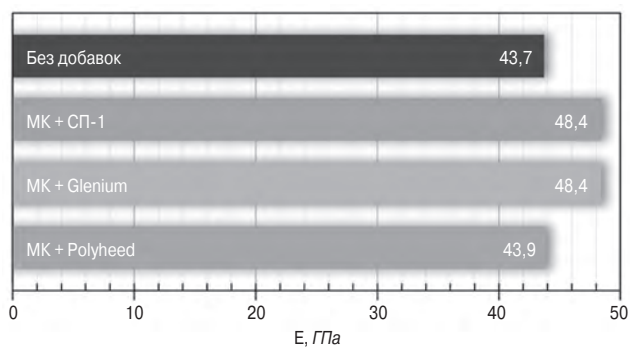


Рис. 6. Влияние добавок на деформационные свойства бетона: модуль упругости (E), коэффициент Пуассона (μ), модуль объемной упругости (K) и модуль сдвига (G)

Fig. 6. Influence of additives on the deformation properties of concrete: longitudinal modulus of elasticity (E), Poisson's ratio (μ), volumetric modulus of elasticity (K) and shear elasticity (G)

гидратации цемента. В бетонах с самым высоким модулем упругости (с добавками СП-1 и Glenium) структура цементного камня, как было установлено в предыдущем разделе, формируется преимущественно из низкоосновных, тоберморитоподобных гидросиликатов кальция с соотношением $\text{CaO/SiO}_2=1-1,5$, имеющих в некоторой степени трехмерный порядок. В бетоне с комплексной добавкой МК+Polyheed структура цементного камня состоит из низкоосновных гидросиликатов кальция с соотношением $\text{CaO/SiO}_2=0,8-1$, имеющих преимущественно двумерный порядок, что снижает модуль упругости бетона.

Изучив другие упругие свойства бетонов (рис. 6), установлено, что бетон с добавкой Polyheed имеет минимальные коэффициент Пуассона (0,18) и модуль объемной упругости (22,9 ГПа). Следовательно, бетон с этой добавкой при нагрузке подвергается повышенным продольным деформациям при низких поперечных деформациях и при этом с наибольшим изменением объема. Так ведет себя структура цементного камня бетона, представленная в подавляющем количестве низкоосновными гидросиликатами кальция пластинчатого и слоистого строения.

Заключение

Совместно с микрокремнеземом суперпластификаторы разного поколения влияют на основность и строение продуктов гидратации цемента, которые определяют деформационные свойства бетона. Наибольшее влияние оказывает суперпластификатор на основе эфиров полиарила, который максимально снижает содержание портландита и основность гидросиликатов кальция, что приводит к формированию структуры цементного камня пластинчато-слоистого строения, преимущественно в двумерном порядке, что значительно снижает все модули, характеризующие упругие свойства бетона.

Наибольшие модули упругости свойственны бетонам с поликарбоксилатным и нафталинформальдегидным суперпластификаторами, в которых структура была сформирована из низкоосновных гидросиликатов кальция с соотношением CaO/SiO_2 от 1 до 1,5, имеющих в некоторой степени трехмерный порядок в строении.

Список литературы / References

1. Несветаев Г.В., Давидюк А.Н. Самоуплотняющиеся бетоны: модуль упругости и мера ползучести // *Строительные материалы*. 2009. № 6. С. 68–71.
1. Nesvetaev G.V., Davidiuk A.N. Self-compacting concretes: modulus of elasticity and creep measure. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2009. No. 6, pp. 68–71. (In Russian).
2. Несветаев Г.В., Кардумян Г.С. Модуль упругости цементного камня с суперпластификаторами и органоминеральными модификаторами с учетом его собственных деформаций при твердении // *Бетон и железобетон*. 2013. № 6. С. 10–13.
2. Nesvetaev G.V., Kardumyan G.S. Modulus of elasticity of cement matrix with superplasticizers and organomineral modifiers taking into account its own deformations during hardening. *Beton i Zhelezobeton*. 2013. No. 6, pp. 10–13. (In Russian).
3. Каприелов С.С., Карпенко Н.И., Шейнфельд А.В., Кузнецов Е.Н. О регулировании модуля упругости и ползучести высокопрочных бетонов с модификатором МБ-50С // *Бетон и железобетон*. 2003. № 6. С. 8–12.
3. Kapriyelov S.S., Karpenko N.I., Sheinfel'd A.V., Kuznetsov E.N. On the regulation of modulus of elasticity and creep of high-strength concrete with modifier MB-50C. *Beton i zhelezobeton*. 2003. No. 6, pp. 8–12. (In Russian).
4. Krizoba K., Hela R. Evaluation of static modulus of elasticity depending on concrete compressive strength. *International Journal of Civil, Environmental, Structural, Construction and Architectural Engineering*. 2015. Vol. 9. No. 5, pp. 654–657. doi.org/10.5281/zenodo.1107529
5. Берг О.Я., Щербаков Е.Н., Писанко Г.Н. Высокопрочный бетон / Под ред. О.Я. Берга. М.: Стройиздат, 1971. 208 с.
5. Berg O.Ya., Shcherbakov E.N., Pisanko G.N. Vysokoprochnyi beton. Pod red. O.Ya. Berga [High-strength concrete. Edited by O.Ya. Berg]. Moscow: Stroyizdat. 1971. 208 p.
6. Alexander M.G., Davis D.E. Aggregates in concrete – a new assessment of their role. *Concrete Beton*. 1991. Vol. 59, pp. 10–20.
7. dos Santos A.C., de Arruda A.M., da Silva T.J., Vitor P.C.P., Trautwein L.M. Influence of coarse aggregate on concrete's elasticity modulus. *Acta Scientiarum – Technology*. 2017. Vol. 39. No. 1, pp. 17–25. DOI: https://doi.org/10.4025/actascitech-nol.v39i1.29873
8. Маилян Д.Р., Несветаев Г.В. Регулирование жесткости и прочности железобетонных балок варьированием модуля упругости бетона // *Вестник ТГАСУ*. 2018. Т. 20. № 4. С. 86–93. DOI: 10.31675/1607-1859-2018-20-4-86-93
8. Mailyan D.R., Nesvetaev G.V. Regulation of rigidity and strength of reinforced concrete beams by varying the modulus of elasticity of concrete. *Vestnik TGASU*. 2018. Vol. 20. No. 4, pp. 86–93. DOI: 10.31675/1607-1859-2018-20-4-86-93 (In Russian).
9. Несветаев Г.В., Халезин С.В. О прочности бетона с каркасной структурой // *Интернет-журнал «Науковедение»*. 2015. Т. 7. № 3. С. 116 (1–10). DOI: 10.15862/92TVN315
9. Nesvetaev G.V., Khalezin S.V. On the strength of concrete with a frame structure. *Internet-zhurnal «Naukovedenie»*. 2015. Vol. 7. No. 3, pp. 116 (1–10). DOI: 10.15862/92TVN315 (In Russian).
10. Бабков В.В., Мохов В.Н., Капитонов С.М., Комохов П.Г. Структурообразование и разрушение цементных бетонов. Уфа: ГУП «Уфимский полиграфкомбинат», 2002. 376 с.

10. Babkov V.V., Mokhov V.N., Kapitonov S.M., Komokhov P.G. *Strukturoobrazovanie i razrushenie tsementnykh betonov* [Structure formation and destruction of cement concretes]. Ufa: GUP «Ufimskii poligrafkombinat». 2002. 376 p.
11. Nassif H.H., Najm H., Suksawang N. Effect of pozzolanic materials and curing methods on the elastic modulus of HPC. *Cement and Concrete Composites*. 2005. Vol. 27. No. 6, pp. 661–670. DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2004.12.005
12. Skalny J., Mindess S. Physico-chemical phenomena at the cement paste. Aggregate interface. *Proceeding of 10th international symposium on the reactivity of solids*. Dijon. 1984, pp. 223–224.
13. Scrivener K.L., Crumbie A.K., Pratt P.L. A study of the interfacial region between cement paste and aggregate in concrete. *MRS Proceedings*. 1987. Vol. 114. No. 1. DOI: 10.1557/PROC-114-87
14. Chen D., Zou J., Zhao L., Xu S., Xiang T., Liu, C. Degradation of dynamic elastic modulus of concrete under periodic temperature-humidity action. *Materials*. 2020. Vol. 13. No. 3. DOI: 10.3390/ma13030611
15. Тамразян А.Г., Есаян С.Г. Механика ползучести бетона: Монография. М.: МГСУ, 2012. 524 с.
15. Tamrazyan A.G., Esayan S.G. *Mekhanika polzuchesti betona: monografiya* [Mechanics of concrete creep: monograph]. Moscow: MGSU. 2012. 524 p.
16. Горшков В.С., Тимашев В.В., Савельев В.Г. Методы физико-химического анализа вяжущих веществ. М.: Высшая школа, 1981. 335 с.
16. Gorshkov V.S., Savel'ev V.G., Abakumov A.V. *Vyazhushchie, keramika i steklokristallicheskie materialy: struktura i svoistva. Sprav. posobie.* [Binders, ceramics and glass-crystalline materials: structure and properties. Guide]. Moscow: Stroyizdat. 1995. 576 p.
17. Горшков В.С., Савельев В.Г., Абакумов А.В. Вяжущие, керамика и стеклокристаллические материалы: структура и свойства: Справ. пособие. М.: Стройиздат, 1995. 576 с.
17. Gorshkov V.S., Savel'ev V.G., Abakumov A.V. *Vyazhushchie, keramika i steklokristallicheskie materialy: struktura i svoistva. Sprav. posobie.* [Binders, ceramics and glass-crystalline materials: structure and properties. Guide]. Moscow: Stroyizdat. 1995. 576 p.
18. Шмитко Е.И., Крылова А.В., Шаталова В.В. Химия цемента и вяжущих веществ: Учебное пособие. Воронеж: Изд-во ВГАСУ, 2005. 164 с.
18. Shmit'ko E.I., Krylova A.V., Shatalova V.V. *Khimiya tsementa i vyazhushchikh veshchestv: uchebnoe posobie* [Chemistry of cement and binders: textbook]. Voronezh: VGASU. 2005. 164 p.
19. Тейлор Х. Химия цемента / Пер. с англ. А.И. Бойковой, Т.В. Кузнецовой. М.: Мир, 1996. 560 с.
19. Teilor Kh. *Khimiya tsementa*. Per. sangl. Boikovoi A.I., Kuznetsovoi T.V. [Chemistry of cement. Trans. from English Boikova A.I., Kuznetsova T.V.]. Moscow: Mir. 1996. 560 p.

СПЕЦИАЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

ЧИСЛЕННЫЕ РАСЧЕТЫ В ГЕОТЕХНИЧЕСКОЙ ПРАКТИКЕ

Учебное и практическое пособие

Авторы: Мангушев Р.А., Дьяконов И.П., Полунин В.М.

Опыт применения конечно-элементной программы «ПЛАКСИС» (учебное и практическое пособие) / Под редакцией чл.-корр. РААСН, д-ра техн. наук, профессора Р.А. Мангушева. М.: Изд-во АСВ, 2022. 316 с.

В учебном и практическом пособии рассмотрены основные положения, программы и модели грунтов, используемые в конечно-элементном программном комплексе «ПЛАКСИС» (PLAXIS) как в плоской – двухмерной, так и трехмерной постановке. Представлен обширный набор численных примеров, относящихся к расчетам различного типа оснований и фундаментов и даны рекомендации по использованию программ «ПЛАКСИС» (PLAXIS) для решения задач по оценке устойчивости грунтовых оснований, откосов и ограждений котлованов, фильтрационных и консолидационных задач механики грунтов, а также при моделировании задач динамики в грунтовых основаниях.

Предназначено для студентов и аспирантов строительных вузов и факультетов, слушателей курсов и институтов повышения квалификации инженеров-строителей и практикующих инженерно-технических работников проектных и строительных организаций.



УДК 666.9.031

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-807-10-25-40>

В.Т. ЕРОФЕЕВ¹, д-р техн. наук (erofeevvt@bk.ru);
 И.Н. МАКСИМОВА², канд. техн. наук (maksimovain@mail.ru),
 О.В. ТАРАКАНОВ², д-р техн. наук (tarov60@mail.ru);
 Я.А. САНЯГИНА¹, инженер (аспирант) (sanyagina@mail.ru),
 И.В. ЕРОФЕЕВА¹, канд. техн. наук (ira.erofeeva.90@mail.ru);
 О.В. СУЗДАЛЬЦЕВ³, канд. техн. наук (spartak88ru@mail.ru)

¹ Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва (430005, г. Саранск, ул. Большевикская, 68)

² Пензенский государственный университет архитектуры и строительства (440028, г. Пенза, ул. Германа Титова, 28)

³ ООО «Азия Цемент» (440000, г. Пенза, ул. Бакунина/Плекханова, д. 20Б/34)

Декоративно-отделочные порошково-активированные бетоны с зернистой фактурой поверхности

Показано, что в последние годы в отечественной и мировой практике широкое применение нашли самоуплотняющиеся бетонные смеси, отличающиеся высокой удобоукладываемостью без применения вибрационного воздействия. Приведены результаты исследования по подбору составов декоративно-отделочных порошково-активированных бетонов зернистой фактурой поверхности по реологическим свойствам. Рассчитаны структурные и реотехнологические показатели порошково-активированных бетонов. Показано, что с точки зрения реотехнологических показателей наиболее качественными являются составы самоуплотняющихся бетонов с осадкой конуса 27,4 и 28,5 см, это соответствует американскому стандарту SF2. Очевидна закономерность в достижении близких значений условных реологических матриц ($I_{П_1}^{BД}$, $I_{П_3}^{BДП_1}$), равных соответственно 1,67–1,97 и 1,78–1,98, свидетельствующих, что объемное содержание водно-дисперсно-тонкозернистой суспензионной составляющей для самоуплотняющихся порошково-активированных песчаных бетонов должно быть в диапазоне 60%. Только при высоком содержании водно-дисперсно-тонкозернистой суспензии будет обеспечиваться абсолютная саморастекаемость. Из полученных значений условных реологических критериев порошково-активированных бетонов следует, что все они значительно больше единицы и характеризуют существенное превышение объемов реологических матриц над объемами тонкозернистых, грубозернистых компонентов, которые вмещаются в них с большими раздвижками частиц и зерен. В результате выполнения исследований на прочность и морозостойкость выявлены высокие показатели прочности и морозостойкости декоративных порошково-активированных бетонов с зернистой фактурой поверхности.

Ключевые слова: декоративный бетон, зернистая фактура, порошковая активация, реологические свойства, объемные концентрации матриц, матрицы различных родов, физико-механические свойства.

Для цитирования: Ерофеев В.Т., Максимова И.Н., Тараканов О.В., Санягина Я.А., Ерофеева И.В., Суздальцев О.В. Декоративно-отделочные порошково-активированные бетоны с зернистой фактурой поверхности // *Строительные материалы*. 2022. № 10. С. 25–40. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-807-10-25-40>

V.T. EROFEEV¹, Doctor of Sciences (Engineering) (erofeevvt@bk.ru); I.N. MAKSIMOVA², Candidate of Sciences (Engineering) (maksimovain@mail.ru), O.V. TARAKANOV², Doctor of Sciences (Engineering) (tarov60@mail.ru); Ya.A. SANYAGINA¹, Engineer (postgraduate) (sanyagina@mail.ru); I.V. EROFEEVA¹, Candidate of Sciences (Engineering) (ira.erofeeva.90@mail.ru); O.V. SUZDALTSEV³, Candidate of Sciences (Engineering) (spartak88ru@mail.ru)

¹ National Research N.P. Ogarev Mordovia State University (68, Bolshevistskaya Street, Saransk, Republic of Mordovia, 30005, Russian Federation)

³ Penza State University of Architecture and Civil Engineering (28, Germana Titova Street, Penza, 440028, Russian Federation)

³ Asia Cement LLC (20B/34, Bakunina/Plekhanova Street, Penza, 440000, Russian Federation)

Decorative and Finishing Powder-Activated Concretes with a Granular Surface Texture

It is shown that in recent years, self-compacting concrete mixtures, characterized by high workability without the use of vibration, have been widely used in domestic and world practice. The results of a study on the selection of compositions of decorative and finishing powder-activated concretes with a granular surface texture according to rheological properties are presented. The structural and rheotechnological parameters of powder-activated concretes are calculated. It is shown that from the point of view of rheotechnological indicators, the compositions of self-compacting concretes with a cone draft of 27.4 and 28.5 cm are the most qualitative, which corresponds to the American standard SF2. There is an obvious regularity in achieving close values of conditional rheological matrices ($I_{P_1}^{BД}$, $I_{P_3}^{BДП_1}$) equal to 1.67–1.97 and 1.78–1.98, respectively, indicating that the volume content of the water-dispersed fine-grained suspension component for self-compacting powder-activated sand concretes should be in the range of 60%. Only at a high content of water-dispersed-fine-grained suspension will absolute self-spreading be ensured. From the obtained values of the conditional rheological criteria of powder-activated concretes, it follows that all of them are much greater than one and characterize a significant excess of the volumes of rheological matrices over the volumes of fine-grained, coarse-grained components that fit into them with large separation of particles and grains. As a result of the studies on strength and frost resistance, high indicators of strength and frost resistance of decorative powder-activated concretes with a granular surface texture were revealed.

Keywords: decorative concrete, granular texture, powder activation, rheological properties, volume concentrations of matrices, matrices of various kinds, physical and mechanical properties.

For citation: Erofeev V.T., Maksimova I.N., Tarakanov O.V., Sanyagina Ya.A., Erofeeva I.V., Suzdaltsev O.V. Decorative and finishing powder-activated concretes with a granular surface texture. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2022. No. 10, pp. 25–40. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-807-10-25-40>

Общепризнано, что самым эффективным показателем конкурентоспособности продукции выступает уровень качества, складывающийся из технического состояния продукции и полезности товара для потребителя, — за счет функциональных, социальных, эргономических, эстетических и экологических свойств [1–8]. В качестве проявляются потребительские свойства изделий в процессе их использования. Современное бетоноведение предъявляет жесткие требования к качеству бетонных и железобетонных изделий. Обязательные условия выполнения этих требований — применение при создании новых материалов физико-химических и технологических знаний, а также уточнение уже имеющихся либо введение новых характеристик материала, которые дают возможность совершенствовать методы проектирования и расчета конструкций, технологии их производства и таким образом шире использовать конструкционные возможности бетона [9–14]. Для упрощения процедуры оценки качества обобщенным показателем можно использовать различные методы. Подбор состава строительных материалов чаще всего ведется с многопараметрической оптимизацией и методологией квалиметрии [15, 16].

В отечественной и мировой практике в последние годы широко используются самоуплотняющиеся бетонные смеси, для которых характерна высокая удобоукладываемость без применения вибрационного воздействия [17–23]. Без их использования уже невозможно представить современное строительство. Уникальные реологические свойства самоуплотняющегося бетона — хорошая текучесть, высокая устойчивость к расслоению и эффективное удаление воздуха — позволяют активно использовать его прежде всего в тех областях строительства, где применение вибрации при формировании железобетонных конструкций затруднено, например при осуществлении работ в жилых районах, где действуют жесткие требования к шуму, при производстве изделий с высокой плотностью арматуры или сложной геометрией. Применение вибраторов для удобоукладываемости бетонной смеси в формы при выпуске железобетонных изделий, а также использование технологии пропаривания для более быстрого затвердения предполагало значительные расходы, тогда как производство самоуплотняющихся составов бетонных смесей менее затратно, причем в последнее время разработано большое количество различного оборудования как для их приготовления, так и для укладки [24].

Актуальными являются исследования, цель которых — получение строительных материалов и изделий с новыми свойствами: обеспечивающих экологическую безопасность, с использованием новых добавок, придающих поверхностям специальные свойства и т. д. Разработаны химически стойкие, биостойкие, самоочищающиеся декоративные и другие изделия и покрытия [25–30]. К эффективным технологиям, которые целесообразно применять в отрасли, относится также 3D-печать, осуществляе-

мая методом послойной экструзии в соответствии с заданной трехмерной цифровой моделью [30–32].

Использование инновационных технологий позволяет выпускать различные материалы и изделия архитектурно-строительного назначения с улучшенными декоративными свойствами. Для производства декоративных бетонов с зернистой фактурой поверхности подходят, в частности, бросовые отсевы камнедробления карьеров. В стране их накопилось более 6 млрд т, и из них можно получить все высоко- и тонкодисперсные наполнители и песок-заполнитель.

Проблема подбора составов бетона с рациональным расходом вяжущего находится в центре внимания многих исследователей [33–37]. Общеизвестно, что в бетонах оптимальной структуры цементным тестом должна быть не только покрыта поверхность зерен заполнителя, но и заполнены оставшиеся пустоты между ними. Эта цель достигается за счет применения принципа последовательного заполнения пустот, согласно которому зерна мелких фракций попадают в пустоты между зернами крупного заполнителя, не вызывая его раздвижку [38]. Нельзя не отметить, что с уменьшением пустотности между зернами мелкого заполнителя (песок) сокращается расход вяжущего, а прочность раствора повышается [38–40].

Применение веществ, обладающих поверхностной активностью на границе твердое тело — раствор, признано одним из наиболее эффективных способов регулирования реологических свойств и агрегатной устойчивости цементных композитов, в том числе декоративных. В производстве строительных материалов эти вещества получили название пластификаторов и суперпластификаторов (СП). Доказано, что введение пластифицирующих добавок повышает прочность цементного камня за счет уменьшения водоцементного отношения [41–44].

Как следует из основ физической химии, в бетонной смеси необходимо иметь достаточное количество высококонцентрированной водно-дисперсной смеси (матрицы). С помощью пластификатора ее можно превратить из агрегативно-неустойчивой в агрегативно-устойчивую. Важно при этом соблюдать основное правило: увеличение объема дисперсной фазы обеспечивается не за счет повышения расхода цемента, а добавлением 40–70% порошкового наполнителя (для малоцементного бетона — до 90–100%) [45–48]. Благодаря высокому содержанию дисперсного порошка, например молотого кварцевого песка, увеличивается объем водно-цементно-минеральной смеси и максимизируется разжижающее действие СП. В этом случае следует руководствоваться предельными значениями объемной концентрации твердой фазы C_V :

$$C_V = \frac{V_{ТВ}}{V_{ТВ} + V_B}, \quad (1)$$

где $V_{ТВ}$ — объем твердой фазы (цемента, молотого песка, тонкого песка, песка-заполнителя, щебня); V_B — объем воды.

По мнению В.И. Калашникова, важной задачей при выборе минеральных добавок в качестве микронаполнителей цементных бетонов является определение не только их реотехнологической активности по отношению к цементным системам, но и реакционной активности в сравнении с цементными системами с точки зрения связывания гидролизной извести, которая выделяется при гидратации цемента, и возможности формирования контактов срастания по бездефектным поверхностям микрокристаллов, образующихся на поверхности гидратирующихся частиц цемента и микронаполнителя.

Важнейшим параметром качества структуры бетона как активного и самого массового строительного материала конструкционного назначения является конструкционная прочность как комплексная механическая характеристика, сочетающая критерии прочности, надежности и долговечности [48–51]. В современном строительстве все отчетливее проявляется тенденция применения высокопрочных бетонов. В отдельных странах в течение последних десятилетий прочность применяемых товарных бетонов повысилась в полтора раза, и ставятся задачи ее увеличения в ближайшие десятилетия в два-три раза (до уровня 100–150 МПа) [10, 46, 47, 52].

Большое количество зданий и сооружений возводится в южных и северных регионах, которые характеризуются экстремальными природно-климатическими условиями. Объекты строительства в процессе эксплуатации подвергаются циклическим механическим нагрузкам и климатическим воздействиям. Например, обследование конструкций, работающих в условиях нестационарных режимов среды Волгоградской области, показало, что по истечении 15–20 лет эксплуатации конструкции практически перестают удовлетворять нормативным требованиям [53]. Циклические воздействия отрицательных и знакопеременных температур — еще одна серьезная причина разрушений материалов и конструкций [54, 55]. В связи с этим к строительным материалам и изделиям предъявляются специальные эксплуатационные требования. В частности, долговечность дорожных тротуарных покрытий и подобных элементов транспортных коммуникаций и благоустройства оценивается по большей части показателями морозостойкости и прочности [54–56].

Введение в бетонную смесь суперпластифицирующих и активных минеральных добавок дает возможность управлять процессами структурообразования, плотностью структуры цементного бетона [57–61]. В связи с тем, что в строительной отрасли при изготовлении различных строительных изделий используются декоративные бетоны, особую актуальность представляют комплексные исследования по формированию плотной и стабильной во времени структуры декоративных бетонов при циклическом физико-механическом воздействии [62–65]. Известно, что кроме прочности и морозостойкости затвердевшего бетона необходимо также обеспечить требуемую

удобоукладываемость бетонных смесей. Этому условию в большей степени отвечают порошково-активированные бетоны. В строительстве зданий и сооружений повышенной архитектурной выразительности весьма перспективно использование декоративных порошково-активированных бетонов, обладающих рациональным рецептурным составом, который подбирается с использованием принципа последовательного заполнения пустот [33, 34, 35, 38, 39, 66, 67].

Высокая прочность бетонов нового поколения обеспечивается не только благодаря наличию порошковой составляющей. С целью усиления действия суперпластификатора (СП) в составе БНП должен быть тонкозернистый песок фракции 0,16–0,63 мм, который способен разжижаться пластификаторами в водной вытяжке цементного теста. При этом адсорбция (хемосорбция) катиона кальция на отрицательно заряженных частицах кварца превращает поверхность в положительно заряженную [68–70].

При оценке долговечности и срока службы без потери прочностных и эстетических показателей для архитектурно-декоративных бетонов, которые эксплуатируются в условиях атмосферных воздействий, одним из главных критериев качества является морозостойкость. Проблема стойкости бетонов к воздействию мороза в водонасыщенном состоянии и повышения их морозостойкости посвящено большое число работ российских и зарубежных исследователей [71–78]. По мнению большинства ученых, ключевой причиной морозной деструкции цементных бетонов является фазовый переход воды в лед, сопровождающийся увеличением ее объема и появлением напряжений в жестком каркасе. Существенное воздействие на пористость и морозостойкость бетона оказывает величина В/Ц. Помимо этого, установлено, что повышению морозостойкости способствуют тонкомолотые добавки, которые составляют до 25–30% от массы цемента. Это связано с более качественным заполнением пустот между зернами мелкого заполнителя. Кроме того, сокращение удельного расхода цемента на единицу объема бетона уменьшает относительный объем цементного камня и снижает внутренние напряжения от не проявившейся капиллярной усадки, за счет этого повышаются трещиностойкость матрицы бетона и его морозостойкость [72–80]. У высокопрочных реакционно-порошковых бетонов (следует учесть, что они растекаются при влажности 10% и объем капиллярных пор в бетоне небольшой) капиллярная усадка и усадочные деформации, определенные после длительного твердения, незначительны [75, 79, 80].

Для бетонов старого поколения марка по морозостойкости, как правило, не превышает F300–400, и этого вполне достаточно для прогнозируемой высокой долговечности бетонов [79, 81], однако для архитектурно-декоративных бетонов в этом случае значительно сокращается период эксплуатации до исчезновения декоративной выразительности поверхностей. Бетоны, разрабатываемые для жестких условий эксплуатации, должны выдерживать более

1000 циклов попеременного замораживания-оттаивания. Первый этап подбора состава бетона — оценка реотехнологических свойств компонентов на предмет их разжижаемости с помощью различных суперпластификаторов, не только индивидуальных цементных и минеральных суспензий, но и их композиций; второй этап — создание конструкционных материалов, обладающих повышенной прочностью и плотностью, высокой морозостойкостью. Важнейшая задача при подборе состава не только получение высокопрочного бетона с низким значением водопоглощения, но и существенное повышение морозостойкости без использования специальных воздухововлекающих добавок, повышающих стоимость бетона.

Цель и задачи исследований

Цель исследований — подбор составов декоративно отделочных порошково-активированных бетонов с зернистой фактурой поверхности по реологическим свойствам, показателям прочности и морозостойкости.

Задачи исследований:

1. Провести анализ литературы по бетонам нового поколения с акцентом на структурных и реотехнологических свойствах порошково-активированных бетонов.

2. Методом подбора определить компоненты для создания порошково-активированных бетонов, ориентируясь при этом на задачи минимизации стоимости, обеспечения требуемой визуальной картины зернистой фактуры поверхности бетона и высокой реологии бетонных смесей на основе выбранных компонентов.

3. Рассчитать структурные и реотехнологические показатели декоративно-отделочных порошково-активированных бетонов и определить оптимальные по технологическим свойствам составы.

4. Осуществить экспериментальные исследования порошково-активированных бетонов в зависимости от вида применяемого суперпластификатора с применением различных наполнителей.

5. Рассчитать объемы различных матриц, объемные содержания водно-дисперсной, водно-дисперсно-тонкозернистой и растворной составляющих, относительные избытки объемов условных реологических матриц для декоративных порошково-активированных бетонов.

6. Выполнить экспериментальные исследования порошково-активированных бетонов в зависимости от вида применяемого суперпластификатора, а также используемых суперпластификатора и наполнителей по показателям прочности и морозостойкости.

Материалы и методы

На первом этапе исследований были изучены реотехнологические свойства нескольких видов цементных композитов и дисперсных наполнителей в суспензиях, пластифицированных пластификаторами

различного типа; второй этап состоял в изучении прочности и морозостойкости цементных композитов, пластифицированных СП зарубежного производства типа Melflux-1641. Компоненты подбирались с учетом совокупности следующих параметров: стоимость, обеспечение требуемой визуальной картины зернистой фактуры поверхности бетона, обеспечение высокой реологии бетонных смесей.

Наполнители и заполнители: в качестве тонкодисперсного компонента, повышающего объем реологической матрицы I ряда, был использован микрокварц Лебединского горно-обогатительного комбината, а в качестве наполняющих компонентов, обеспечивающих зернистую фактуру поверхности, — отсева дробления гранита фр. 0–5 мм и купершлак фр. 0–2,5 мм. Вяжущее: египетский белый цемент (СЕМ 52,5). В качестве СП и ГП были использованы материалы российского и зарубежного производства, в том числе Melflux 1641, Хидетал γ-9.

Отметим, что под оценкой реотехнологических свойств подразумеваются исследования инженерных свойств бетонных смесей. Таким образом, формируется представление о консистенции, удобоукладываемости, текучести бетонных смесей. При этом не предусматривается определение классических показателей реологии: пластической вязкости, предельного напряжения — сдвига, периода релаксации и ретардации напряжений и т. п.

Реотехнологические показатели бетонной смеси определялись с помощью стандартного конуса (ГОСТ 10181–2014). Определение прочностных показателей и морозостойкости бетонов проводилось с опорой на соответствующие нормативные документы (ГОСТ 18105–2018; ГОСТ 10060–2012).

В результате анализа многообразия экспериментов были выявлены четыре оптимальных состава с оптимизированными реологическими матрицами по содержанию цемента, микрокварца (песка молотого), тонкого песка фр. 0–0,63 мм и песка-заполнителя фр. 0,63–2,5 мм и фр. 0,63–5 мм. Информация о предлагаемых составах, отличающихся видом суперпластификатора и количественным содержанием наполняющих компонентов, представлена в табл. 1–4; помимо массового содержания, приведены объемные содержания компонентов и осадки стандартного конуса.

В табл. 1–4 отражены расчеты объемов различных матриц, объемных содержаний водно-дисперсной, водно-дисперсно-тонкозернистой и растворной составляющих в бетонах нового поколения. Технология расчета показателей приводится далее.

Расчет структурных и реотехнологических показателей декоративно-отделочных порошково-активированных бетонов

При расчете структурных и реотехнологических показателей декоративно-отделочных порошково-активированных бетонов нового поколения и относительных избытков объемов условных реологиче-

Таблица 1
Table 1Реотехнологические свойства декоративных порошково-активированных песчаных бетонов. Состав № 1
Rheotechnological properties of decorative powder-activated sand concretes. Composition No. 1

Наименование компонентов	Дисперсно-фракционный состав	На 1 м ³ , кг	Объем на 1 м ³ , л	В/Ц, В/Т	Р, кг/м ³	$\frac{\Pi_M}{\Pi}$	$\frac{\Pi_T}{\Pi}$	$\frac{\Pi_3}{\Pi}$
Цемент 600 ДО Египетский	3800 см ² /г	500	161	0,4	Р _{вл} 1 сут 2420	0,6	1,3	1,97
Melflux 1641 0,9% от массы цемента	–	4,5	3			$\frac{\Sigma \Pi}{\Pi} = 3,916$		
Микрокварц (песок молотый)	3400 см ² /г	300	113	0,081	Р _{теор} 2431	И _{ПТ} ^{ВД} = 1,889 И _{П3} ^{ВДПТ} = 1,971		
Отсев камнедробления гранитный	0–0,63 мм	416	154			К _{уп} 0,995	V _{ВД} = 474 V _{ВДПТ} = 724,9 V _{раст.} = 1092,7 C _{ВД} ^V = 43,28 % C _{ВДПТ} ^V = 66,18 % C _{раст.} ^V = 99,76 %	
Купершлак	0,63–5 мм	864	319	OK _{ст} = 28,5 см				
Купершлак	0–0,63 мм	252	96,9		OK _{ст} = 28,5 см			
Купершлак	0,63–2,5 мм	126	48,4	OK _{ст} = 28,5 см				
ΣM _{сух}	–	2462,5	–		OK _{ст} = 28,5 см			
ΣV _{сух}	–	–	895,3	OK _{ст} = 28,5 см				
Вода	–	200	200		OK _{ст} = 28,5 см			
M _{б.с}	–	2662,5	–	OK _{ст} = 28,5 см				
V _{б.с}	–	–	1095,3		OK _{ст} = 28,5 см			

Таблица 2
Table 2Реотехнологические свойства декоративных порошково-активированных песчаных бетонов. Состав № 2
Rheotechnological properties of decorative powder-activated sand concretes. Composition No. 2

Наименование компонентов	Дисперсно-фракционный состав	На 1 м ³ , кг	Объем на 1 м ³ , л	В/Ц, В/Т	Р, кг/м ³	$\frac{\Pi_M}{\Pi}$	$\frac{\Pi_T}{\Pi}$	$\frac{\Pi_3}{\Pi}$
Цемент 600 ДО Египетский	3800 см ² /г	500	161	0,56	Р _{вл} 1 сут 2326	0,4	1,4	2,11
Хидетал γ-9 – 1,2 % от массы цемента	–	6	4,6			$\frac{\Sigma \Pi}{\Pi} = 3,916$		
Микрокварц (песок молотый)	3400 см ² /г	200	75,5	0,113	Р _{теор} 2335	И _{ПТ} ^{ВД} = 1,97 И _{П3} ^{ВДПТ} = 1,98		
Отсев камнедробления гранитный	0–0,63 мм	450	165			К _{уп} 0,996	V _{ВД} = 516,5 V _{ВДПТ} = 778,4 V _{раст.} = 1170,8 C _{ВД} ^V = 43,94 % C _{ВДПТ} ^V = 66,19 % C _{раст.} ^V = 99,61 %	
Купершлак	0,63–5 мм	930	344	OK _{ст} = 27,4 см				
Купершлак	0–0,63 мм	252	96,9		OK _{ст} = 27,4 см			
Купершлак	0,63–2,5 мм	126	48,4	OK _{ст} = 27,4 см				
ΣM _{сух}	–	2464	–		OK _{ст} = 27,4 см			
ΣV _{сух}	–	–	895,4	OK _{ст} = 27,4 см				
Вода	–	280	280		OK _{ст} = 27,4 см			
M _{б.с}	–	2744	–	OK _{ст} = 27,4 см				
V _{б.с}	–	–	1175,4		OK _{ст} = 27,4 см			

ских матриц использовались методы, предложенные В.И. Калашниковым.

Объемы различных матриц в зависимости от их типа вычисляются по следующим формулам:

$$\text{I рода: } V_I = V_{\text{Ц}} + V_{\text{ПМ}} + V_{\text{В}}; \quad (2)$$

$$\text{II рода: } V_{II} = V_I + V_{\text{ПТ}}; \quad (3)$$

$$\text{III рода: } V_{III} = V_{II} + V_{\text{П3}}; \quad (4)$$

где $V_{\text{Ц}}$ – объем цемента на 1000 л бетонной смеси; $V_{\text{ПМ}}$ – объем микрокварца (песка молотого) на 1000 л; $V_{\text{В}}$ – объем воды на 1000 л; $V_{\text{ПТ}}$ – объем тонкого песка на основе отсева камнедробления гранитного камня и купершлака фракции 0–0,63 мм на 1000 л;

$V_{\text{П3}}$ – объем песка-заполнителя на основе фракции 0,63–2,5 мм на 1000 л.

Для сравнения могут быть рассчитаны объемы матриц в бетоне старого поколения с приведенным выше составом:

$$\text{I рода: } V_I = V_{\text{Ц}} + V_{\text{В}}; \quad (5)$$

$$\text{III рода: } V_{III} = V_I + V_{\text{ПТ}}. \quad (6)$$

На основании вычисленных объемов устанавливаются объемные содержания водно-дисперсной, водно-дисперсно-тонкозернистой растворной суспензионных составляющих в пластифицированных порошково-активированных бетонах нового поколения. Объемное содержание водно-дисперсной ($C_{\text{ВД}}^V$),

Таблица 3
Table 3

Реотехнологические свойства декоративных порошково-активированных песчаных бетонов. Состав № 3
Rheotechnological properties of decorative powder-activated sand concretes. Composition No. 3

Наименование компонентов	Дисперсно-фракционный состав	На 1 м ³ , кг	Объем на 1 м ³ , л	В/Ц, В/Т	Р, кг/м ³	$\frac{П_М}{Ц}$	$\frac{П_Г}{Ц}$	$\frac{П_З}{Ц}$	
Цемент 600 ДО Египетский	3800 см ² /г	500	161	0,4	Р _{вл} 1 сут 2415	0,4	1,4	2,11	
Melflux 1641 – 0,9% от массы цемента	–	4,5	3			$\frac{\sum П}{Ц} = 3,916$			
Микрокварц (песок молотый)	3400 см ² /г	200	75,5	0,081	Р _{теор} 2434	И _{ПТ} ^{ВД} = 1,67 И _{ПЗ} ^{ВДПТ} = 1,78			
Отсев камнедробления гранитный	0–0,63 мм	450	165			К _{уп} 0,992	V _{ВД} = 436,5 V _{ВДПТ} = 698,4 V _{раст.} = 1090,8 C _{ВД} ^V = 39,91 % C _{ВДПТ} ^V = 63,85 % C _{раст.} ^V = 99,73 %		
	0,63–5 мм	930	344						
Купершлак	0–0,63 мм	252	96,9	OK _{СТ} = 11 см					
	0,63–2,5 мм	126	48,4						
∑M _{сух}		2462,5	–						
∑V _{сух}	–	–	893,8						
Вода	–	200	200						
M _{б.с}	–	2662,5	–						
V _{б.с}	–	–	1093,8						

Таблица 4
Table 4

Реотехнологические свойства декоративных порошково-активированных песчаных бетонов. Состав № 4
Rheotechnological properties of decorative powder-activated sand concretes. Composition No. 4

Наименование компонентов	Дисперсно-фракционный состав	На 1 м ³ , кг	Объем на 1 м ³ , л	В/Ц, В/Т	Р, кг/м ³	$\frac{П_М}{Ц}$	$\frac{П_Г}{Ц}$	$\frac{П_З}{Ц}$	
Цемент 600 ДО Египетский	3800 см ² /г	500	161	0,42	Р _{вл} 1 сут 2395	0,4	1,4	2,11	
Melflux 1641 – 0,4 % от массы цемента	–	2	1,5			$\frac{\sum П}{Ц} = 3,912$			
Хидетал γ-9 – 0,6 % от массы цемента	–	3	2,5	0,113	Р _{теор} 2418	И _{ПТ} ^{ВД} = 1,7 И _{ПЗ} ^{ВДПТ} = 1,81			
Микрокварц (песок молотый)	3400 см ² /г	200	75,5			К _{уп} 0,990	V _{ВД} = 446,5 V _{ВДПТ} = 708,4 V _{раст.} = 1100,8 C _{ВД} ^V = 40,41 % C _{ВДПТ} ^V = 64,12 % C _{раст.} ^V = 99,64 %		
Отсев камнедробления гранитный	0–0,63 мм	448	165						
	0,63–5 мм	930	344						
Купершлак	0–0,63 мм	252	96,9	OK _{СТ} = 10,2 см					
	0,63–2,5 мм	126	48,4						
∑M _{сух}		2461	–						
∑V _{сух}	–	–	894,8						
Вода	–	210	210						
M _{б.с}	–	2671	–						
V _{б.с}	–	–	1104,8						

водно-дисперсно-тонкозернистой (C_{ВДПТ}^V) и растворной (C_{раст.}^V) суспензионных составляющих в пластифицированных порошково-активированных щебеночных бетонах нового поколения рассчитывается по формулам:

$$C_{ВД}^V = \frac{V_{Ц} + V_{ПМ} + V_{В}}{V_{бет.см.}} \cdot 100\%; \quad (7)$$

$$C_{ВДПТ}^V = \frac{V_{Ц} + V_{ПМ} + V_{В} + V_{ПТ}}{V_{бет.см.}} \cdot 100\%; \quad (8)$$

$$C_{раст.}^V = \frac{V_{Ц} + V_{ПМ} + V_{В} + V_{ПТ} + V_{ПЗ}}{V_{бет.см.}} \cdot 100\%. \quad (9)$$

Пределы объемных концентраций исследованных бетонных смесей: C_{ВД}^V – от 39,91 до 43,94%, C_{ВДПТ}^V – от 63,85 до 66,19% и C_{раст.}^V – от 99,61 до 99,76%.

Отметим, что лишь у одной композиции в самоуплотняющихся смесях объемная концентрация водно-дисперсной суспензии практически составляет менее 40%. При этом даже в тех смесях, жесткая консистенция которых связана с изменением содержания наполнителя, объемная концентрация водно-дисперсной суспензии составляет более 60%. Бетонные смеси оптимального состава имеют равную объемную концентрацию растворной составля-

Таблица 5
Table 5Составы для испытаний
Compositions for testing

Компонент	Дисперсно-фракционный состав	Содержание компонентов бетона на 1 м ³ , для составов			
		1	2	3	4
Цемент 600 ДО Египетский	3800 см ² /г	161	161	161	161
Melflux 16410 – 9% от массы цемента	–	3	–	3	1,5
Хидетал γ-91 – 2% от массы цемента	–	–	4,6	–	2,5
Микрокварц (песок молотый)	3400 см ² /г	113	75,5	75,5	75,5
Отсев камнедробления	0–0,63 мм	154	165	165	165
	0,63–5 мм	319	344	344	344
Купершлак	0–0,63 мм	96,9	96,9	96,9	96,9
	0,63–2,5 мм	48,4	48,4	48,4	48,4

Таблица 6
Table 6Прочность декоративных порошково-активированных песчаных бетонов
Strength of decorative powder-activated sand concrete

Состав	Прочность при сжатии, МПа, в возрасте, сут			Прочность при изгибе, МПа, в возрасте, сут			Характеристики (для прочности в 28 сут)			
	1	7	28	1	7	28	$\rho_{R_{сж}}^{УД}$	$\rho_{\rho_{R_{сж}}}^{УД}$	$\rho_{R_{и}}^{УД}$	$R_{сж}/R_{и}$
1	41	–	98	6,1	–	11,6	5,1	0,196	45,4	8,28
2	20	–	61	4,1	–	7,4	8,19	0,122	67,5	8,24
3	37	–	90	6,1	–	11	5,55	0,18	45,4	8,18
4	31	–	78	5,1	–	9,8	6,41	0,156	51	7,96

ющей (свыше 60%). В этом заключается принципиальное отличие разработанных бетонов от традиционных, в которых объемные концентрации $C_{ВД}^V$ и $C_{раст}^V$ находятся в пределах 24–26% и 54–57% соответственно.

Проводя топологический анализ всех видов новых бетонов, разработанных, а также традиционных бетонов старого поколения, целесообразно использовать безразмерные реологические критерии [10, 38, 45, 46, 47, 48]. Первый критерий для порошкового бетона – относительный избыток объема условной реологической матрицы I рода $I_{ПТ}^{ВД}$, т. е. относительного превышения объема водно-дисперсной системы $V_{ВД}$ над абсолютным объемом тонкого песка $V_{ПТ}$, определяется по следующей формуле:

$$I_{ПТ}^{ВД} = V_{ВД} / V_{ПТ} = (V_{Ц} + V_{ПМ} + V_{В}) / V_{ПТ}, \quad (10)$$

где $V_{Ц}$, $V_{ПМ}$, $V_{В}$, $V_{ПТ}$ – абсолютные объемы соответственно цемента, песка молотого, воды, песка тонкого.

Порошково-активированные песчаные бетоны нового поколения имеют две реологические матрицы: водно-дисперсную матрицу I рода и водно-дисперсно-тонкозернистую матрицу II рода, включающую цемент, микрокварц (песок молотый), тонкий песок и воду. Причем тонкий песок в этой матрице задействован в реологическом процессе и обеспечивает в матрице I рода перемещение зерен песка-заполнителя, который располагается дискретно в ма-

трице II рода с обеспечением текучести системы без стерических препятствий. Формула, по которой вычисляется относительный избыток объема реологической матрицы второго рода над абсолютным объемом песка-заполнителя $I_{ПЗ}^{ВДПТ}$:

$$I_{ПЗ}^{ВДПТ} = V_{ВДПТ} / V_{ПЗ} = (V_{Ц} + V_{ПМ} + V_{В} + V_{ПТ}) / V_{ПЗ}, \quad (11)$$

где: $V_{Ц}$, $V_{ПМ}$, $V_{В}$, $V_{ПТ}$, $V_{ПЗ}$ – абсолютные объемы соответственно цемента, песка молотого, воды, песка тонкого, песка-заполнителя.

За счет избытка реологической матрицы второго рода также обеспечиваются необходимые расстояния между зернами песка-заполнителя. При узкой гранулометрии песка теоретический расчет расстояний может приблизиться к реальному, а при широкой – строится кривая распределения гранулометрического состава и рассчитываются расстояния между зернами, находящимися в узких фракциях. Затем топологические картины размещения частиц в узких фракциях совмещаются в единую топологическую картину с алгоритмом максимизации свободного пространства. Такой подход, осуществляемый в рамках компьютерного материаловедения, может быть полезным для изучения топологии бетонов нового поколения и оптимизации гранулометрического состава компонентов.

Для бетонов старого поколения приведенные критерии могут быть не избытками объемов реологи-

Таблица 7
Table 7

Свойства декоративных порошково-активированных песчаных бетонов
Properties of decorative powder-activated sand concretes

Наименование компонентов	Дисперсно-фракционный состав	На 1 м ³ , кг	Объем на 1 м ³ , л	В/Ц, В/Т	Р, кг/м ³	Π _М Ц	Π _Т Ц	Π _З Ц	Прочность МПа, в возрасте, сут	
									1	28
Цемент 600 ДО Египетский	3800 см ² /г	500	161	0,4	Р _{вл} 1 сут 2415	0,4	1,4	2,1	R _{сж} = 37	R _{сж} = 90
Melflux 1641 0,9% от массы цемента	–	4,5	3						ΣΠ Ц = 3,916	R _и = 6,1
Микрокварц	3400 см ² /г	200	75,5	0,081	Р _{теор} 2434	И _{Π_Т} ^{ВД} = 1,67	И _{Π_З} ^{ВДТ} = 1,78	Ц _{Р_{сж}} ^{уд} = 5,55	R _и ^{уд} = 0,18	Ц _{Р_и} ^{уд} = 45,4
Отсев камнедробления гранитный	0–0,63 мм	450	165							
Купершлак	0–0,63 мм	252	96,9	OK _{ст} = 11 см	C _{ВД} ^V = 39,91 %	C _{ВДΠ_Т} ^V = 63,85 %	C _{раст.} ^V = 99,73 %			
	0,63–2,5 мм	126	48,4							
ΣM _{сух}	–	2464	–	OK _{ст} = 11 см	–	–	–	–	–	–
ΣV _{сух}	–	–	894,4							
Вода	–	200	200	–	–	–	–	–	–	–
M _{б.с}	–	2664	–	–	–	–	–	–	–	–
V _{б.с}	–	–	1094	–	–	–	–	–	–	–

ческих матриц над объемами песка и щебня, а недостатками. Расчет ведется по формулам:

$$I_{\Pi_3}^{ВД} = V_{щ} / V_{\Pi_3} = (V_{\Pi} + V_{В}) / V_{\Pi_3}; \quad (12)$$

$$I_{щ}^{ВД} = V_{щ} / V_{щ} = (V_{\Pi} + V_{В} + V_{\Pi_3}) / V_{щ}. \quad (13)$$

Анализ экспериментальных результатов

Из результатов исследования следует, что с точки зрения реотехнологических показателей все составы показали достаточно высокое качество. По полученным в результате расчета значениям условных реологических матриц I и II рода наиболее качественными представляются составы 2 и 1, чуть менее качественными 4 и 3. Составы 2 и 1 являются самоуплотняющимися бетонами с осадкой конуса 27,4 и 28,5 см, что соответствует американскому стандарту SF2. Прослеживается закономерность в достижении близких значений условных реологических матриц (I_{Π_Т}^{ВД}, I_{Π_З}^{ВДΠ_Т}), равных соответственно 1,67–1,97 и 1,78–1,98. Таким образом, объемное содержание водно-дисперсно-тонкозернистой суспензионной составляющей (C_{ВДΠ_Т}^V) для самоуплотняющихся порошково-активированных песчаных бетонов должно быть в диапазоне 60–70%. Абсолютная саморастекаемость будет обеспечена только при высоком содержании водно-дисперсно-тонкозернистой суспензии.

Различие составов 2 и 1 заключается в том, что в составе 1 повышен объем условной реологической матрицы I рода за счет большего количества микрокварца (300 кг/м³) относительно состава 2 (200 кг/м³). При сохранении суммы масс всех компонентов в составе 2 часть микрокварца заменяется отсевом камне-

дробления для большего насыщения зернистыми компонентами бетонной смеси и обеспечения наиболее целостной визуальной картины поверхности. В результате этого совсем незначительно падают реотехнологические и физико-технические показатели (табл. 1, 2). При этом в таких самоуплотняющихся бетонных смесях важно обеспечить агрегативную устойчивость и предотвратить седиментацию частиц.

Анализ значений условных реологических критериев порошково-активированных бетонов показывает, что все они намного больше единицы и характеризуют существенное превышение объемов реологических матриц над объемами тонкозернистых, грубозернистых компонентов, которые вмещаются в них с большими раздвижками частиц и зерен.

В бетоне старого поколения I₁ < 1. Это свидетельствует о недостатке объема водно-цементного теста (матрицы I рода), а следовательно, о том, что такая бетонная смесь будет жесткой или малопластичной.

Проведены исследования физико-технических свойств порошково-активированных бетонов четырех составов (табл. 5). В результате проведения испытания стандартных образцов получены показатели прочности при сжатии и изгибе и комплексные показатели для оценки эффективности материалов четырех составов.

Для оценки экономических показателей отдельных рецептур определяем удельный расход цемента на единицу прочности при сжатии и изгибе:

$$C_{R_{сж}}^{уд} = \frac{\Pi}{R_{сж}}, \text{ кг/МПа}, \quad (14)$$

$$C_{R_{и}}^{уд} = \frac{\Pi}{R_{и}}, \text{ кг/МПа}. \quad (15)$$

Удельная прочность на единицу расхода цемента определялась по формулам:

$$R_{ц/R_{сж}}^{уд} = \frac{R_{сж}}{Ц}, \text{ МПа/кг}; R_{ц/R_{и}}^{уд} = \frac{R_{и}}{Ц}, \text{ МПа/кг}. \quad (16)$$

Также определялось соотношение прочностных показателей при сжатии и изгибе:

$$K = R_{сж}/R_{и}. \quad (17)$$

Результаты исследований приведены в табл. 6.

Анализ показывает, что улучшенными показателями обладает состав 3. Результаты комплексных исследований свойств бетона отражены в табл. 7.

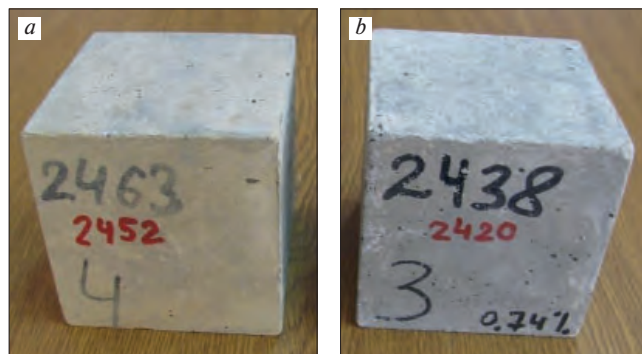
Определены безразмерные параметры соотношений сырьевых компонентов и критерии условных реологических матриц. Они имеют следующие значения: $П/Ц=3,55$; $R_{ц}^{уд}=0,418$ МПа/кг; $И_{ПТ}^{БД}=1,67$; $И_{ПЗ}^{ЦДП}=1,78$.

Подчеркнем, что изменение этих критериев в сторону незначительного уменьшения или увеличения вызывает снижение прочностных показателей на 10–20%. Важным результатом можно считать достижение чрезвычайно низкого удельного расхода цемента на единицу прочности бетона при сжатии ($Ц/R_{сж}^{уд}=5,55$ кг/МПа) и растяжении при изгибе ($Ц/R_{и}^{уд}=45,4$ кг/МПа). Соотношение прочностных показателей $R_{и}/R_{сж}=0,112$.

В ходе исследования учитывалась и предположительная корректность прогноза высокой морозостойкости в зависимости от кинетики водопоглощения. Через четверо суток оно было менее 1,5 мас. %. После двух недель испытания его значение составляло 1,98% и превышало четырехсуточное водопоглощение приблизительно на 25–28%. Это значит, что при такой кинетике водопоглощения на протяжении довольно длительного времени остается большое количество свободных пор после водонасыщения бетона в течение четырех суток перед испытанием на морозостойкость. Поскольку при замерзании объем воды увеличивается на 9,6%, можно с уверенностью утверждать, что почти трехкратное превышение объема свободных пор над приращением объема воды при переходе ее в лед приведет к чрезвычайно высокой морозостойкости.

Упомянутый показатель определяли согласно ГОСТ 10060–2012 «Бетоны. Методы определения морозостойкости» по третьей ускоренной методике при насыщении образцов 5%-м водным раствором хлорида натрия. Местом проведения испытаний стала независимая лаборатория производственного предприятия ООО «Пензенское управление строительства». Использовалась морозильная камера отечественного производства типа КТХ-14. Температура: -50°C. Режим: 8 ч замораживания, 16 ч оттаивания.

По итогам эксперимента сделан вывод, что после 1000 циклов попеременного замораживания-оттаивания масса образцов уменьшилась в среднем на 0,7%. При этом не наблюдалось явных признаков внешней деструкции – сколов углов образцов, шелушения поверхности (см. рисунок), что дает основа-



Внешний вид образцов архитектурно-декоративного порошково-активированного бетона: *a* – образец, насыщенный в солевом растворе; *b* – образец после 1000 циклов замораживания-оттаивания

Appearance of samples of architectural and decorative powder-activated concrete: *a* – a sample saturated in a saline solution; *b* – sample after 1000 freeze-thaw cycles

ния говорить о наличии минимальных деструктивных процессов в структуре бетона и небольшого изменения прочности. Помимо этого, такой результат гарантирует сохранение визуальной архитектурной привлекательности поверхности бетона на протяжении длительного периода эксплуатации в условиях воздействия жестких средовых факторов.

После завершения 1000 циклов попеременного замораживания-оттаивания образцы испытывали на прочность: нормативный предел прочности при сжатии исследуемого бетона после 28 сут твердения в нормально-влажностных условиях был равен 85 МПа; к моменту окончания испытания прочность образцов, хранившихся в солевом растворе, составляла 92 МПа. При этом подвергшиеся испытаниям образцы имели прочность 90 МПа (после 1000 циклов замораживания-оттаивания). Иными словами, потеря прочности немного превысила 2%. Это в пределах ошибки опыта и соответствует требованиям ГОСТа.

Таким образом, свойства разработанного и предложенного к реализации состава архитектурно-декоративного бетона соответствуют требованиям по прочности и морозостойкости. На основании полученных результатов можно определить предельные уровни нагрузок на бетон разнообразных покрытий, а также установить требования к свойствам бетона при его проектировании с учетом условий эксплуатации.

Выводы

1. В последние годы в отечественной и мировой практике широко стали применяться самоуплотняющиеся бетонные смеси, отличающиеся высокой удобоукладываемостью без применения вибрационного воздействия. Использование инновационных технологий позволит выпускать разнообразные материалы и изделия архитектурно-строительного назначения с улучшенными декоративными свойствами.

2. Из основ физической химии следует, что в бетонной смеси должно содержаться достаточное количество высококонцентрированной водно-дисперсной смеси (матрицы), которую с помощью пластификатора можно превратить из агрегативно-

неустойчивой в агрегативно-устойчивую. Основное правило, которым следует руководствоваться при этом: увеличение объема дисперсной фазы достигается без увеличения расхода цемента — добавлением порошкового наполнителя в количестве 40–70%, а в малоцементном бетоне до 90–100%.

3. В рамках исследований осуществлен подбор составов декоративно-отделочных бетонов с зернистой фактурой поверхности по реологическим свойствам. В качестве вяжущего был взят египетский белый цемент, в качестве микронаполнителя — микрокварц, тонкого песка — отсева дробления гранита и купершлак фр. 0–0,63 мм, и эти же компоненты использовались в качестве песка-заполнителя фр. 0,63–5 мм и 0,63–2,5 мм. Пластифицировались смеси суперпластификаторами нового поколения отечественного и зарубежного производства. На первом этапе подбора состава бетона необходима оценка реологических свойств компонентов на предмет их разжижаемости с помощью различных суперпластификаторов, причем не только индивидуальных цементных и минеральных суспензий, но и их композиций.

4. В процессе исследований определены структурные и реологические показатели порошково-активированных бетонов: объемы различных матриц, объемные содержания водно-дисперсной, водно-дисперсно-тонкозернистой и растворной составляющих, относительные избытки объемов условных реологических матриц в декоративных порошково-активированных бетонах.

5. Исследования показали, что с точки зрения реологических показателей все составы достаточно высокого качества. По полученным в результате расчета значениям условных реологических матриц I и II рода наиболее качественными представляются составы 2 и 1, чуть менее качественными 4 и 3. Составы 2 и 1 являются самоуплотняющимися бетонами с осадкой конуса 27,4 и 28,5 см, что соответствует американскому стандарту SF2. Прослеживается закономерность в достижении близких значений условных реологических матриц ($I_{II}^{ВД}$, $I_{II}^{ВДП}$), равных соответственно 1,67–1,97 и 1,78–1,98. Таким образом, объемное содержание водно-дисперсно-тонкозернистой суспензионной составляющей ($C_{ВДП}^V$) для самоуплотняющихся порошково-активированных песчаных бетонов должно быть в диапазоне 60–70%. Абсолютная саморастекаемость будет обеспечена только при высоком содержании водно-дисперсно-тонкозернистой суспензии.

6. Составы 2 и 1 отличаются тем, что в составе 1 повышен объем условной реологической матрицы I рода за счет большего количества микрокварца (300 кг/м^3) относительно состава 2 (200 кг/м^3). При сохранении суммы масс всех компонентов в составе 2 часть микрокварца заменяется отсевом камнедробления для большего насыщения зернистыми компонентами бетонной смеси и обеспечения наиболее целостной визуальной картины поверхности (при этом сумма масс всех компонентов сохраняет-

ся). Это приводит к незначительному понижению реотехнологических и физико-технических показателей. В таких самоуплотняющихся бетонных смесях крайне необходимо обеспечить агрегативную устойчивость и предотвратить седиментацию частиц.

7. Все значения условных реологических критериев порошково-активированных бетонов значительно больше единицы, при этом они характеризуют существенное превышение объемов реологических матриц над объемами тонкозернистых, грубозернистых компонентов, которые вмещаются в них с большими раздвижками частиц и зерен.

8. В бетоне старого поколения $I_1 < 1$. Это свидетельствует о недостатке объема водно-цементного теста (матрицы I рода) — такая бетонная смесь будет жесткой или малопластичной.

9. На втором этапе исследовались прочность и морозостойкость бетонов. Испытания выявили высокие показатели данных свойств у декоративных бетонов.

10. Высокая прочность бетонов нового поколения связана не только с наличием порошковой составляющей. Для усиления действия СП в составе БНП должен быть тонкозернистый песок фракции 0,16–0,63 мм, который способен разжижаться пластификаторами в водной вытяжке цементного теста.

11. Результатом эксперимента стало уменьшение массы образцов после 1000 циклов попеременного замораживания и оттаивания — в среднем на 0,7%. При этом не наблюдалось явных признаков внешней деструкции, что позволяет предполагать наличие минимальных деструктивных процессов в структуре бетона и небольшого изменения прочности. Такой результат также гарантирует сохранение визуальной архитектурной привлекательности поверхности бетона на протяжении длительного периода эксплуатации в условиях воздействия жестких средовых факторов.

12. После 1000 циклов попеременного замораживания-оттаивания образцы испытывались на прочность: нормативный предел прочности при сжатии исследуемого бетона после 28 сут твердения в нормальных влажностных условиях составлял 85 МПа; к моменту окончания испытания образцы, хранившиеся в солевом растворе, обладали прочностью 92 МПа. Образцы, подвергшиеся испытаниям, имели прочность 90 МПа (после 1000 циклов замораживания-оттаивания). Потеря прочности немногим превысила 2%, что находится в пределах ошибки опыта и соответствует требованиям ГОСТа.

13. Таким образом, разработанный и предложенный к реализации состав архитектурно-декоративного бетона отвечает требованиям по прочности и морозостойкости. Полученные результаты дают основания для установления предельных уровней нагрузки на бетон разнообразных покрытий, а также для формулирования требований к свойствам бетонов при проектировании с учетом условий их эксплуатации.

Список литературы

1. Салимова Т.А., Ватолкина Н.Ш. Менеджмент качества в условиях перехода к индустрии 4.0 // *Стандарты и качество*. 2018. № 6. С. 58–62.
2. Лесовик В.С. Геоника (геомиметика). Примеры реализации в строительном материаловедении. 2-е изд., доп. Белгород: Изд-во БГТУ. 2016. 287 с.
3. Карпенко Н.И., Карпенко С.Н., Ярмаковский В.Н., Ерофеев В.Т. О современных методах обеспечения долговечности железобетонных конструкций // *Academia. Архитектура и строительство*. 2015. № 1. С. 93–102.
4. Лесовик В.С., Фомина Е.В. Новая парадигма проектирования строительных композитов для защиты среды обитания человека // *Вестник МГСУ*. 2019. Т. 14. № 10. С. 1241–1257. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.10.1241-1257
5. Салимова Т.А., Ватолкина Н.Ш., Маколов В.И. Векторы развития СМК при переходе к индустрии 4.0 // *Стандарты и качество*. 2018. № 8 (974). С. 44–48.
6. Слепян Э.И. Экологический риск // *Региональная экология*. 2002. № 1–2. С. 62–82.
7. Ерофеев В.Т., Ямашкин А.А., Смирнов В.Ф., Светлов Д.А., Вильдяева М.В., Ямашкин С.А. Биодеструктивные процессы в эколого-социально-производственных системах жилой застройки // *Приволжский научный журнал*. 2018. № 3 (47). С. 70–77.
8. Казначеев В.Н. Экология человека. Основные проблемы. М.: Наука, 1988. 32 с.
9. Балмасов Г.Ф., Мешков П.И. Влияние химикатов на фазовые превращения при твердении цементного камня // *Строительные материалы*. 2007. № 3. С. 56–57.
10. Калашников В.И., Ерофеев В.Т., Тараканов О.В. Суспензионно-наполненные бетонные смеси для порошково-активированных бетонов нового поколения // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. 2016. № 4. С. 38–37.
11. Ушеров-Маршак А.В. Бетонovedение: современные этюды. Харьков: Раритеты Украины, 2016. 135 с.
12. Максимова И.Н., Макридин Н.И., Ерофеев В.Т., Скачков Ю.П. Прочность и параметры разрушения цементных композитов. Саранск: Изд-во Мордовского университета, 2015. 360 с.
13. Тейлор Х.Ф.У. Химия цемента. М.: Мир, 1996. 560 с.
14. Ерофеев В.Т., Митина Е.А., Осипов А.А., Матвиевский А.К., Емельянов Д.В., Юдин П.В. Композиционные строительные материалы на активированной воде затворения // *Строительные материалы*. 2007. № 11. С. 56–58.
15. Ушеров-Маршак А.В. Калориметрия цемента и бетона: Избр. тр. Харьков: Факт, 2002. 183 с.
16. Евдокимов Ю.А., Колесников В.И., Тетерин А.И. Планирование и анализ экспериментов при

References

1. Salimova T.A., Vatolkina N.Sh. Quality management in the transition to industry 4.0. *Standarty i kachestvo*. 2018. No. 6, pp. 58–62. (In Russian).
2. Lesovik V.S. Geonika (geomimetika). Primery realizatsii v stroitel'nom materialovedenii. [Geonics (geomimetics). Examples of implementation in building materials science]. Belgorod: BSTU Publishing House. 2016. 287 p.
3. Karpenko N.I., Karpenko S.N., Yarmakovskiy V.N., Erofeev V.T. On modern methods of ensuring the durability of reinforced concrete structures. *Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo*. 2015. No. 1, pp. 93–102 (In Russian).
4. Lesovik V.S., Fomina E.V. A new paradigm for the design of building composites to protect the human environment. *Vestnik MGSU*. 2019. Vol. 14. No. 10, pp. 1241–1257. (In Russian). DOI: 10.22227/1997-0935.2019.10.1241-1257
5. Salimova T.A., Vatolkina N.Sh., Makolov V.I. QMS development vectors in the transition to industry 4.0. *Standarty i kachestvo*. 2018. No. 8 (974), pp. 44–48. (In Russian).
6. Slepian E.I. Ecological risk. *Regional'naya ekologiya*. 2002. No. 1–2, pp. 62–82 (In Russian).
7. Erofeev V.T., Yamashkin A.A., Smirnov V.F., Svetlov D.A., Vildyaeva M.V., Yamashkin S.A. Biodestructive processes in ecological, social and industrial systems of residential development. *Privolzhskiy nauchnyy zhurnal*. 2018. No. 3 (47), pp. 70–77 (In Russian).
8. Kaznacheev V.N. *Ekologiya cheloveka. Osnovnyye problemy* [Human ecology. Main problems]. Moscow: Nauka. 1988. 32 p.
9. Balmasov G.F., Meshkov P.I. Influence of chemicals on phase transformations during hardening of cement stone. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2007. No. 3, pp. 56–57. (In Russian).
10. Kalashnikov V.I., Erofeev V.T., Tarakanov O.V. Suspension-filled concrete mixtures for powder-activated concrete of a new generation. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitel'stvo*. 2016. No. 4, pp. 38–37. (In Russian).
11. Usharov-Marshak A.V. *Betonovedeniye: sovremennyye etyudy* [Concrete science: modern studies]. Kharkov: Rarities of Ukraine. 2016. 135 p.
12. Maksimova I.N., Makridin N.I., Erofeev V.T., Skachkov Yu.P. Prochnost' i parametry razrusheniya tsementnykh kompozitov [Strength and fracture parameters of cement composites]. Saransk: Publishing House of Mordovia University. 2015. 360 p.
13. Taylor H.F.W. *Khimiya tsementa* [Chemistry of cement]. Moscow: Mir. 1996. 560 p.
14. Erofeev V.T., Mitina E.A., Osipov A.A., Matvievsky A.K., Emelyanov D.V., Yudin P.V. Composite building materials based on activated mixing water. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2007. No. 11, pp. 56–58 (In Russian).
15. Usharov-Marshak A.V. *Kalorimetriyatsementa i betona: Izbr. tr.* [Calorimetry of cement and concrete: Select. tr.]. Kharkov: Fact, 2002. 183 p.

- решении задач трения и износа. М.: Наука, 1980. 228 с.
17. Калашников В.И., Гуляева Е.В., Валиев Д.М. Влияние вида супер- и гиперпластификаторов на реотехнологические свойства цементно-минеральных суспензий, порошковых бетонных смесей и прочностные свойства бетонов // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. 2011. № 12. С. 40–45.
 18. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Кривобородов Ю.Р. Влияние структуры цементного камня с добавками микрокремнезема и суперпластификатора на свойства бетона // *Бетон и железобетон*. 1992. № 7. С. 4–7.
 19. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Батраков В.Г. Комплексный модификатор бетона марки МБ-01 // *Бетон и железобетон*. 1997. № 5. С. 38–41.
 20. Каприелов С.С., Чилин И.А. Сверхвысокопрочный самоуплотняющийся фибробетон для монолитных конструкций. *Бетон и железобетон – взгляд в будущее: науч. тр. III Всерос. (II Междунар.) конф. по бетону и железобетону: в 7 т. Т. 3*. М.: МГСУ, 2014. С. 158–164.
 21. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Кардумян Г.С. Новые модифицированные бетоны в конструкциях высотных зданий. *II Международный форум архитектуры, строительства, реконструкции городов, строительных технологий и материалов*. Москва. 11–13 ноября 2008. С. 29–38.
 22. Пайарес И., Барбара Х., Барраган Б., Рамос Г. Самоуплотняющийся бетон с мелкоизмельченным карбонатом кальция // *Международное бетонное производство*. 2012. № 1. С. 34–38.
 23. Гуляева Е.В., Аксенов С.В., Ерофеева И.В., Калашников В.И. Самоуплотняющиеся бетоны с низким удельным расходом цемента на единицу прочности бетона. *Наука и инновации. Строительство и архитектура: Материалы XII Междунар. науч.-практ. конф.*: В 23 т. Т. 10. София, 2014. С. 38–40.
 24. Якунин Ю.И. Производство самоуплотняющегося бетона с помощью оборудования «СКАКОА/S» // *Технологии бетонов*. 2008. № 4. С. 38–39.
 25. Antonenko M.V., Ogurtsova Y.N., Strokova V.V., Gubareva E.N., et al. The effect of titanium dioxide sol stabilizer on the properties of photocatalytic composite material. Klyuev S.V. (eds.). *BUILDINTECH BIT. 2020. LNCE95*. pp. 16–22. DOI: 10.1007/978-3-030-54652-6_3
 26. Askadskii A.A., Zhdanova T.V., Andreev I.F. et al. Connection of water permeability with a number of physical properties of polymers. *E3S Web of Conferences*. 2021. Vol. 263. 01022. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126301022>
 27. Shuldyakov K.V., Kramar L.Ya., Trofimov B.Ya., Ivanov I.M. Superplasticizer effect on cement paste structure and concrete freeze-thaw resistance. *Advanced Materials in Technology and Construction (AMTC-2015): AIP Conference Proceedings*. 2016. 1698. 070011–1–070011–6. <https://doi.org/10.1063/1.4937881>
 16. Evdokimov Yu.A., Kolesnikov V.I., Teterin A.I. Planirovaniye i analiz eksperimentov pri reshenii zadach treniya i iznosa [Planning and analysis of experiments in solving problems of friction and wear]. Moscow: Nauka. 1980. 228 p.
 17. Kalashnikov V.I., Gulyaeva E.V., Valiev D.M. Influence of the type of super- and hyperplasticizers on the rheotechnological properties of cement-mineral suspensions, powdered concrete mixtures and strength properties of concrete. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitel'stvo*. 2011. No. 12, pp. 40–45. (In Russian).
 18. Kapriyelov S.S., Sheinfeld A.V., Krivoborodov Yu.R. Influence of the structure of cement stone with the addition of microsilica and superplasticizer on the properties of concrete. *Beton i zhelezobeton*. 1992. No. 7, pp. 4–7. (In Russian).
 19. Kapriyelov S.S., Sheinfeld A.V., Batrakov V.G. Complex concrete modifier brand MB-01. *Beton i zhelezobeton*. 1997. No. 5, pp. 38–41. (In Russian).
 20. Kapriyelov S.S., Chilin I.A. Ultra-high-strength self-compacting fiber-reinforced concrete for monolithic structures. *Concrete and reinforced concrete – a look into the future: scientific works of the III All-Russian (II International) conference on concrete and reinforced concrete: in 7 volumes*. 2014. Vol. 3. Moscow: MGSU, pp. 158–164 (In Russian).
 21. Kapriyelov S.S., Sheinfeld A.V., Kardumyan G.S. New modified concrete in the construction of high-rise buildings. *II International Forum of Architecture, Construction, Urban Reconstruction, Construction Technologies and Materials*. Moscow. November 11–13, 2008, pp. 29–38 (In Russian).
 22. Paires I., Barbara H., Barragan B., Ramos G. Self-compacting concrete with finely ground calcium carbonate. *Mezhdunarodnoe betonnoe proizvodstvo*. 2012. No. 1, pp. 34–38. (In Russian).
 23. Gulyaeva E.V., Aksenov S.V., Erofeeva I.V., Kalashnikov V.I. Self-compacting concretes with low specific consumption of cement per unit of concrete strength. *Science and innovation. Building and architecture: materials of the XII International scientific-practical conference: in 23 volumes*. Sofia. 2014. Vol. 10, pp. 38–40. (In Russian).
 24. Yakunin Yu.I. Production of self-compacting concrete with the help of SKAKOA/S equipment. *Tekhnologii betonov*. 2008. No. 4, pp. 38–39. (In Russian).
 25. Antonenko M.V., Ogurtsova Y.N., Strokova V.V., Gubareva E.N. et al. The effect of titanium dioxide sol stabilizer on the properties of photocatalytic composite material. *BUILDINTECH BIT. 2020. LNCE95*, pp. 16–22. DOI: 10.1007/978-3-030-54652-6_3
 26. Askadskii A.A., Zhdanova T.V., Andreev I.F. [et al.] Connection of water permeability with a number of physical properties of polymers. *E3S Web of Conferences*. 2021. Vol. 263. 01022. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126301022>
 27. Shuldyakov K.V., Kramar L.Ya., Trofimov B.Ya., Ivanov I.M. Superplasticizer effect on cement paste structure and concrete freeze-thaw resistance. *Advanced Materials in Technology and Construction (AMTC-2015): AIP Conference Proceedings*. 2016. 1698. 070011–1–070011–6. <https://doi.org/10.1063/1.4937881>

28. Ерофеев В.Т., Федорцов А.П., Богатов А.Д., Федорцов В.А. Биокоррозия цементных бетонов, особенности ее развития, оценки и прогнозирования // *Фундаментальные исследования*. 2014. № 12–4. С. 708–716.
29. Ерофеев В.Т. и др. Защита зданий и сооружений от биоповреждений бицидными препаратами на основе гуанидина / Под ред. П.Г. Комохова, В.Т. Ерофеева, Г.Е. Афиногентова. СПб.: Наука, 2010. 192 с.
30. Mukhametrakhimov R., Lukmanova L. Influence of the technological properties of cement-sand mortar on the quality of 3D printed products. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 890. 012082. DOI: 10.1088/1757-899X/890/1/012082
31. Ерофеев В.Т., Ельчищева Т.Ф., Макачук М.В. Эпоксидный композит с углеродными структурами в аддитивной технологии изготовления изделий для текстильной промышленности // *Технология текстильной промышленности*. 2022. № 2 (398). С. 346–354. DOI: 10.47367/0021-3497_2022_2_346
32. Ерофеев В.Т., Ельчищева Т.Ф., Преображенская Е.М., Макачук М.В. Перспективы применения новых материалов и подходов аддитивных технологий в промышленном дизайне // *Региональная архитектура и строительство*. 2019. № 3 (40). С. 7–15.
33. Хархардин А.Н., Строкова В.В., Кожухова М.И. Критический размер микро- и наночастиц, при котором проявляются их необычные свойства // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. 2012. № 10. С. 109–115.
34. Чернышов Е.М., Коротких Д.Н. Модифицирование структуры цементного камня микро- и наноразмерными частицами кремнезема (вопросы теории и приложений) // *Строительные материалы, оборудование и технологии XXI века*. 2008. № 5. С. 30–32.
35. Шейкин А.Е., Чеховской Ю.В., Бруссер М.И. Структура и свойства цементных бетонов. М.: Стройиздат, 1983. 254 с.
36. Афонин В.В., Ерофеева И.В., Федорцов В.А., Емельянов Д.В., Подживотов Н.Ю. Эвристический подход к решению двухкритериальных задач оптимизации композиционных материалов // *Вестник МГСУ*. 2018. Т. 13. Вып. 11. С. 1357–1366. DOI: 10.22227/1997-0935.2018.11.1357-1366
37. Ерофеев В.Т., Меркулов И.И., Меркулов А.И., Ерофеев П.С. Оптимизация составов бетонов с применением численного моделирования. Саранск: Изд-во Мордовского университета, 2006. 100 с.
38. Калашников В.И. Расчет составов высокопрочных самоуплотняющихся бетонов // *Строительные материалы*. 2008. № 10. С. 4–6.
39. Ерофеев В.Т., Тюряхин А.С., Смирнов И.В., Максимова И.Н. Оптимальный состав композита по критерию его прочности // *Строительная AIP Conference Proceedings*. 2016. 1698. 070011–1–070011–6. <https://doi.org/10.1063/1.4937881>
28. Erofeev V.T., Fedortsov A.P., Bogatov A.D., Fedortsov V.A. Biocorrosion of cement concretes, features of its development, evaluation and forecasting. *Fundamental'nyye issledovaniya*. 2014. No. 12–4, pp. 708–716. (In Russian).
29. Erofeev V.T. et al. Zashchita zdaniy i sooruzheniy ot biopovrezhdeniy biotsidnymi preparatami na osnove guanidina [Protection of buildings and structures from biodamage by biocidal preparations based on guanidine / Ed. by Komohov P.G., Erofeev V.T., Afinogentov G.E.]. St. Petersburg: Nauka. 2010. 192 p.
30. Mukhametrakhimov R., Lukmanova L. Influence of the technological properties of cement-sand mortar on the quality of 3D printed products. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 890. 012082. DOI: 10.1088/1757-899X/890/1/012082
31. Erofeev V.T., Elchishcheva T.F., Makarchuk M.V. Epoxy composite with carbon structures in additive manufacturing technology for the textile industry. *Tekhnologiya tekstilnoi promyshlennosti*. 2022. No. 2 (398), pp. 346–354. (In Russian). DOI: 10.47367/0021-3497_2022_2_346
32. Erofeev V.T., Elchishcheva T.F., Preobrazhenskaya E.M., Makarchuk M.V. Prospects for the use of new materials and approaches of additive technologies in industrial design. *Regional'naya arkhitektura i stroitel'stvo*. 2019. No. 3 (40), pp. 7–15. (In Russian).
33. Kharkhardin A.N., Strokova V.V., Kozhukhova M.I. Critical size of micro- and nanoparticles, at which their unusual properties are manifested. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitel'stvo*. 2012. No. 10, pp. 109–115. (In Russian).
34. Chernyshov E.M., Korotkikh D.N. Modification of the structure of cement stone by micro- and nano-sized particles of silica (questions of theory and applications). *Stroitel'nyye materialy, oborudovaniye i tekhnologii XXI veka*. 2008. No. 5, pp. 30–32. (In Russian).
35. Sheikin A.E., Chekhovskoy Yu.V., Brusser M.I. Struktura i svoystva tsementnykh betonov [Structure and properties of cement concretes]. Moscow: Stroyizdat. 1983. 254 p.
36. Afonin V.V., Erofeeva I.V., Fedortsov V.A., Emelyanov D.V., Podzhivotov N.Yu. Heuristic approach to solving two-criteria optimization problems for composite materials. *Vestnik MGSU*. 2018. Vol. 13. Iss. 11, pp. 1357–1366. (In Russian). DOI: 10.22227/1997-0935.2018.11.1357-1366
37. Erofeev V.T., Merkulov I.I., Merkulov A.I., Erofeev P.S. Optimizatsiya sostavov betonov s primeneniym chislennogo modelirovaniya [Optimization of concrete compositions using numerical simulation]. Saransk: Publishing House of Mordovia University. 2006. 100 p.
38. Kalashnikov V.I. Calculation of the compositions of high-strength self-compacting concrete. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2008. No. 10, pp. 4–6. (In Russian).
39. Erofeev V.T., Tyuryakhin A.S., Smirnov I.V., Maksimova I.N. The optimal composition of the com-

- механика и расчет сооружений. 2016. № 3 (266). С. 6–16.
40. Калашников В.И., Ерофеев В.Т., Тараканов О.В. Технико-экономическая эффективность внедрения архитектурно-декоративных порошково-активированных карбонатных песчаных бетонов // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. 2016. № 6 (690). С. 39–46.
 41. Вовк А.И. Суперпластификаторы в бетоне: анализ химии процессов // *Технологии бетонов*. 2007. № 2. С. 8–9; № 3. С. 12–14; № 4. С. 8–9.
 42. Калашников В.И., Мороз М.Н., Тараканов О.В. и др. Новые представления о механизме действия суперпластификаторов, совместно размолотых с цементом или минеральными породами // *Строительные материалы*. 2014. № 9. С. 70–75.
 43. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика. М.: Технопроект, 1998. 768 с.
 44. Ерофеев В.Т., Фомичев В.Т., Емельянов Д.В., Балатханова Э.М., Родин А.И. и др. Исследование свойств цементных композитов на активированной воде затворения // *Фундаментальные исследования*. 2015. № 2 (ч. 6). С. 1175–1181.
 45. Kalashnikov V.I., Belyakova E.A., Moskvina R.N. Selecting the type of control setting composite cement-ash binder. *Procedia Engineering*. 2016. Vol. 150, pp. 1631–1635. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.07.143.
 46. Калашников В.И. Как превратить бетоны старого поколения в высокоэффективные бетоны нового поколения // *Бетон и железобетон*. 2012. № 1. С. 82.
 47. Калашников В.И. Что такое порошково-активированный бетон нового поколения // *Строительные материалы*. 2012. № 10. С. 70–71.
 48. Ерофеев В.Т., Макридин Н.И., Максимова И.Н. О конструкционных свойствах матричной фазы высокопрочных цементных композитов // *Промышленное и гражданское строительство*. 2019. № 3. С. 4–10. DOI: 10.33622/0869-7019.2019.03.04-10
 49. Максимова И.Н., Макридин Н.И., Ерофеев В.Т., Скачков Ю.П. Структура и конструкционная прочность цементных композитов. М.: АСВ, 2017. 400 с.
 50. Коротких Д.Н. Трещиностойкость современных цементных бетонов (проблемы материаловедения и технологии): Монография. Воронеж: Воронежский ГАСУ, 2014. 141 с.
 51. Карпенко Н.И., Ярмаковский В.Н. Конструкционные бетоны новых модификаций для облегченных каркасов энергоэффективных зданий // *Российский строительный комплекс*. 2011. № 10. С. 122–128.
 52. Дейзе Т., Хоркунг О., Меломан М. Переход с технологии Mikrodur к технологии Nanodur. Применение стандартных цементов в практике производства бетонов со сверхвысокими эксплуатационными свойствами // *Бетонный завод*. 2004. № 3. С. 4–11.
 - posite according to the criterion of its strength. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy*. 2016. No. 3 (266), pp. 6–16. (In Russian).
 40. Kalashnikov V.I., Erofeev V.T., Tarakanov O.V. Technical and economic efficiency of the introduction of architectural and decorative powder-activated carbonate sand concretes. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitel'stvo*. 2016. No. 6 (690), pp. 39–46. (In Russian).
 41. Vovk A.I. Superplasticizers in concrete: analysis of process chemistry. *Tekhnologii betonov*. 2007. No. 2, pp. 8–9; No. 3, pp. 12–14; No. 4, pp. 8–9. (In Russian).
 42. Kalashnikov V.I., Moroz M.N., Tarakanov O.V. et al. New ideas about the mechanism of action of superplasticizers, jointly milled with cement or mineral rocks. *Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]*. 2014. No. 9, pp. 70–75. (In Russian).
 43. Batrakov V.G. Modifitsirovannyye betony. Teoriya i praktika [Modified concrete. Theory and practice]. Moscow: Technoproekt. 1998. 768 p.
 44. Erofeev V.T., Fomichev V.T., Emelyanov D.V., Balatkhanova E.M., Rodin A.I., et al. Investigation of the properties of cement composites for activated mixing water. *Fundamental'nyye issledovaniya*. 2015. No. 2 (part 6), pp. 1175–1181. (In Russian).
 45. Kalashnikov V.I., Belyakova E.A., Moskvina R.N. Selecting the type of control setting composite cement-ash binder. *Procedia Engineering*. 2016. Vol. 150, pp. 1631–1635. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.07.143
 46. Kalashnikov V.I. How to turn old-generation concretes into new-generation high-performance concretes. *Beton i zhelezobeton*. 2012. No. 1, pp. 82 (In Russian).
 47. Kalashnikov V.I. What is a new generation of powder-activated concrete. *Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]*. 2012. No. 10, pp. 70–71 (In Russian).
 48. Erofeev V.T., Makridin N.I., Maksimova I.N. On the structural properties of the matrix phase of high-strength cement composites. *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo*. 2019. No. 3, pp. 4–10. (In Russian). DOI: 10.33622/0869-7019.2019.03.04-10
 49. Maksimova I.N., Makridin N.I., Erofeev V.T., Skachkov Yu.P. Struktura i konstruktsionnaya prochnost' tsementnykh kompozitov [Structure and structural strength of cement composites]. Moscow: ASV. 2017. 400 p.
 50. Korotkikh D.N. Treshchinostoykost' sovremennykh tsementnykh betonov (problem materialovedeniya i tekhnologii): monografiya [Crack resistance of modern cement concretes (problems of materials science and technology): monograph]. Voronezh: Voronezh GASU. 2014. 141 p.
 51. Karpenko N.I., Yarmakovskiy V.N. Structural concretes of new modifications for lightweight frames of energy-efficient buildings. *Rossiyskiy stroitel'nyi kompleks*. 2011. No. 10, pp. 122–128. (In Russian).
 52. Deize T., Horkung O., Meloman M. Transition from Mikrodur technology to Nanodur technology. The use of standard cements in the practice of producing concrete with ultra-high performance properties. *Betonnyy zavod*. 2004. No. 3, pp. 4–11. (In Russian).

53. Маренков В.А., Тарасов О.Г. Влияние климатического фактора на потери предварительного натяжения в арматуре напрягаемых элементов // *Строительные материалы*. 2006. № 12. С. 55–57.
54. Добшиц Л.М. Физико-математическая модель разрушения бетона при переменном замораживании и оттаивании // *Жилищное строительство*. 2017. № 12. С. 30–36.
55. Матвеева О.И., Васильев И.Г., Павлюкова И.Р. Цементные бетоны с композитным фиброармированием для автомобильных дорог, эксплуатируемых в климатических условиях Якутии. *Бетон и железобетон – взгляд в будущее: Науч. тр. III Всерос. (II Междунар.) конф. по бетону и железобетону*: В 7 т. М.: МГСУ, 2014. Т. 3. С. 173–182.
56. Салл М., Рыбинцева Е.С., Ткаченко Г.А. Мелкозернистые бетоны с органоминеральной добавкой для дорожного строительства // *Строительные материалы*. 2009. № 7. С. 18–20.
57. Калашников В.И., Ерофеев В.Т., Мороз М.Н. и др. Наногидросиликатные технологии в производстве бетонов // *Строительные материалы*. 2014. № 5. С. 88–91.
58. Калашников В.И., Суздальцев О.В., Дрянин Р.А., Сехпосян Г.П. Роль дисперсных и тонкозернистых наполнителей в бетонах нового поколения // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. 2014. № 7. С. 11–21.
59. Баженов Ю.М., Лукутцова Н.П., Карпиков Е.Г. Мелкозернистый бетон, модифицированный комплексной микродисперсной добавкой // *Вестник МГСУ*. 2013. № 2. С. 94–100.
60. Бердов Г.И., Машкин А.Н. Активирование цементной суспензии для получения высококачественного бетона // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. 2007. № 7. С. 28–31.
61. Каушанский В.Е., Самощенко Л.С., Баженова О.Ю. и др. Получение цемента с активными минеральными добавками на основе алюмосиликатных горных пород // *Цемент и его применение*. 2000. № 3. С. 28–30.
62. Реснер О. Новые возможности в области дизайна архитектурных фасадов // *Международное бетонное производство*. 2013. № 6. С. 152–155.
63. Цветы из бетона // *Международное бетонное производство*. 2013. № 5. С. 24–26.
64. Визуализация фото и графики на бетонной поверхности // *Международное бетонное производство*. 2014. № 3. С. 173.
65. Бетонные поверхности с фотокаталитической активацией // *Международное бетонное производство*. 2013. № 6. С. 18.
66. Фомичев В.Т., Ерофеев В.Т., Емельянов Д.В., Матвиевский А.А., Митина Е.А. Роль продуктов анодных процессов в ходе электромагнитной активации воды // *Фундаментальные исследования*. 2015. № 2 (ч. 6). С. 1194–1197.
53. Marenkov V.A., Tarasov O.G. Influence of the climatic factor on the loss of pretensioning in the reinforcement of prestressed elements. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2006. No. 12, pp. 55–57. (In Russian).
54. Dobshits L.M. Physico-mathematical model of concrete destruction during variable freezing and thawing. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2017. No. 12, pp. 30–36 (In Russian).
55. Matveeva O.I., Vasiliev I.G., Pavlyukova I.R. Cement concretes with composite fiber reinforcement for highways operated in the climatic conditions of Yakutia. *Concrete and reinforced concrete - a look into the future: scientific works of the III All-Russian (II International) conference on concrete and reinforced concrete*: in 7 volumes. Moscow: MGSU, 2014. Vol. 3, pp. 173–182. (In Russian).
56. Sall M., Rybintseva E.S., Tkachenko G.A. Fine-grained concretes with organo-mineral additive for road construction. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2009. No. 7, pp. 18–20. (In Russian).
57. Kalashnikov V.I., Erofeev V.T., Moroz M.N. et al. Nanohydrosilicate technologies in the production of concrete. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 5, pp. 88–91. (In Russian).
58. Kalashnikov V.I., Suzdaltsev O.V., Dryanin R.A., Sekhposyan G.P. The role of dispersed and fine-grained fillers in concretes of a new generation. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitel'stvo*. 2014. No. 7, pp. 11–21. (In Russian).
59. Bazhenov Yu.M., Lukutsova N.P., Karpikov E.G. Fine-grained concrete modified with a complex microdispersed additive. *Vestnik MGSU*. 2013. No. 2, pp. 94–100. (In Russian).
60. Berdov G.I., Mashkin A.N. Activation of cement slurry to obtain high-quality concrete. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitel'stvo*. 2007. No. 7, pp. 28–31. (In Russian).
61. Kaushansky V.E., Samoshchenko L.S., Bazhenova O.Yu. et al. Obtaining cement with active mineral additives based on aluminosilicate rocks. *Tsement i yego primeneniye*. 2000. No. 3, pp. 28–30. (In Russian).
62. Resner O. New opportunities in the design of architectural facades. *Mezhdunarodnoye betonnoye proizvodstvo*. 2013. No. 6, pp. 152–155. (In Russian).
63. Concrete flowers. *Mezhdunarodnoye betonnoye proizvodstvo*. 2013. No. 5, pp. 24–26 (In Russian).
64. Visualization of photos and graphics on a concrete surface. *Mezhdunarodnoye betonnoye proizvodstvo*. 2014. No. 3, p. 173. (In Russian).
65. Concrete surfaces with photocatalytic activation. *Mezhdunarodnoye betonnoye proizvodstvo*. 2013. No. 6, p. 18. (In Russian).
66. Fomichev V.T., Erofeev V.T., Emelyanov D.V., Matvievsky A.A., Mitina E.A. The role of products of anodic processes in the course of electromagnetic activation of water. *Fundamental'nyye issledovaniya*. 2015. No. 2 (part 6), pp. 1194–1197. (In Russian).
67. Kalashnikov V.I. Calculation of compositions of high-strength self-compacting concrete. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2008. No. 10, pp. 4–6. (In Russian).

67. Калашников В.И. Расчет составов высокопрочных самоуплотняющихся бетонов // *Строительные материалы*. 2008. № 10. С. 4–6.
68. Гусев Б.В. Наноструктурирование бетонных материалов // *Промышленное и гражданское строительство*. 2016. № 1. С. 7–9.
69. Урьев Н.Б. Высококонтрированные дисперсные системы. М.: Химия, 1980. 320 с.
70. Мчедлов-Петросян О.П., Ольгинский А.Г. Особенности минералообразования кристаллогидратов в присутствии мономинеральных тонкодисперсных наполнителей. В кн.: Экспериментальное исследование минералообразования. М.: Наука, 1971. С. 262–268.
71. Ерофеев В.Т., Родин А.И., Дергунова А.В., Сураева Е.Н., Смирнов В.Ф., Богатов А.Д., Казначеев С.В., Карпушин С.Н. Биологическая и климатическая стойкость цементных композитов // *Academia. Архитектура и строительство*. 2016. № 3. С. 93–102.
72. Старцев О.В., Молоков М.В., Медведев И.М., Ерофеев В.Т. Определение влияния атмосферы на строительные элементы сенсорами температуры // *Все материалы: Энциклопедический справочник*. 2017. № 3. С. 61–68.
73. Ерофеев В.Т., Ельчишева Т.Ф., Родин А.И., Смирнов И.В., Меркулов Д.А., Федорцов В.А., Чуваткин А.А. Исследование свойств бетона, железобетонных конструкций сооружений, эксплуатируемых в прибрежной зоне Черноморского побережья // *Транспортные сооружения*. 2018. Т. 5. № 2. С. 5. DOI: 10.15862/05SATS218
74. Пауэрс Т.К. Физическая структура портландцементного теста. В кн.: Химия цементов. М.: Стройиздат, 1969. С. 300–319.
75. Калашников В.И. Капиллярная усадка высокопрочных реакционно-порошковых бетонов и влияние масштабного фактора // *Строительные материалы*. 2010. № 5. С. 52–53.
76. Фаликман В.Р., Сорокин Ю.В., Калашников О.О. Строительно-технические свойства особо высокопрочных быстротвердеющих бетонов // *Бетон и железобетон*. 2004. № 5. С. 5–10.
77. Шейкин А.Е., Добшиц Л.М. Цементные бетоны высокой морозостойкости. Л.: Стройиздат, 1989. 128 с.
78. Добшиц Л.М. Долговечность бетонов транспортных сооружений // *Транспортное строительство*. 1995. № 3. С. 17–20.
79. Добшиц Л.М., Соломатов В.И. Влияние свойств цемента на морозоустойчивость бетонов // *Бетон и железобетон*. 1999. № 3. С. 19–21.
80. Калашников В.И., Суздальцев О.В., Мороз М.Н., Пауск В.В. Морозостойкость окрашенных архитектурно-декоративных порошково-активированных песчаных бетонов // *Строительные материалы*. 2015. № 3. С. 16–19.
81. Величко Е.Г. Морозостойкость бетона с оптимизированным дисперсным составом // *Строительные материалы*. 2012. № 2. С. 81–83.
68. Gusev B.V. Nanostructuring of concrete materials. *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo*. 2016. No. 1, pp. 7–9. (In Russian).
69. Uriev N.B. Vysokokontsentrirrovannyye dispersnyye sistemy [Highly concentrated disperse systems]. Moscow: Chemistry. 1980. 320 p.
70. Mchedlov-Petrosyan O.P., Olginsky A.G. Osobennosti mineraloobrazovaniya kristallogidratov v prisutstvii monomineral'nykh tonkodispersnykh napolniteley. V kn.: Eksperimental'noye issledovaniye mineraloobrazovaniya [Peculiarities of mineral formation of crystalline hydrates in the presence of monomineral finely dispersed fillers. In book: Experimental study of mineral formation]. Moscow: Nauka. 1971, pp. 262–268.
71. Erofeev V.T., Rodin A.I., Dergunova A.V., Surava E.N., Smirnov V.F., Bogatov A.D., Kaznacheev S.V., Karpushin S.N. Biological and climatic resistance of cement composites. *Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo*. 2016. No. 3. pp. 93–102. (In Russian).
72. Startsev O.V., Molokov M.V., Medvedev I.M., Erofeev V.T. Determination of the influence of the atmosphere on building elements by temperature sensors. *Vse materialy. Entsiklopedicheskiy spravochnik*. 2017. No. 3, pp. 61–68. (In Russian).
73. Erofeev V.T., Elchishcheva T.F., Rodin A.I., Smirnov I.V., Merkulov D.A., Fedortsov V.A., Chuvatkin A.A. Study of the properties of concrete, reinforced concrete structures of structures operated in the coastal zone of the Black Sea coast. *Transportnyye sooruzheniya*. 2018. Vol. 5. No. 2, p. 5. (In Russian). DOI: 10.15862/05SATS218
74. Powers T.K. Fizicheskaya struktura portlandtsementnogo testa. V kn.: Khimiya tsementov [The physical structure of Portland cement paste. In book: Chemistry of cements]. Moscow: Stroyizdat. 1969, pp. 300–319.
75. Kalashnikov V.I. Capillary shrinkage of high-strength reaction-powder concretes and the influence of the scale factor. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2010. No. 5, pp. 52–53. (In Russian).
76. Falikman V.R., Sorokin Yu.V., Kalashnikov O.O. Construction and technical properties of especially high-strength fast-hardening concretes. *Beton i zhelezobeton*. 2004. No. 5, pp. 5–10 (In Russian).
77. Sheikin A.E., Dobshits L.M. Tsementnyye betony vysokoy morozostoykosti [Cement concretes of high frost resistance]. Leningrad: Stroyizdat. 1989. 128 p.
78. Dobshits L.M. Durability of concrete of transport structures. *Transportnoye stroitel'stvo*. 1995. No. 3, pp. 17–20. (In Russian).
79. Dobshits L.M., Solomatov V.I. Influence of the properties of cement on the frost resistance of concrete. *Beton i zhelezobeton*. 1999. No. 3, pp. 19–21. (In Russian).
80. Kalashnikov V.I., Suzdaltsev O.V., Moroz M.N., Pausk V.V. Frost resistance of painted architectural-decorative powder-activated sand concretes. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2015. No. 3, pp. 16–19. (In Russian).
81. Velichko E.G. Frost resistance of concrete with an optimized dispersed composition/ *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2012. No. 2, pp. 81–83. (In Russian).

УДК 691.32

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-807-10-41-51>

С.С. КАПРИЕЛОВ¹, д-р техн. наук, академик РААСН (kapriellov@mail.ru),
 А.В. ШЕЙНФЕЛЬД¹, д-р техн. наук, советник РААСН, И.А. ЧИЛИН², инженер

¹ Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона им. А.А. Гвоздева
 АО «НИЦ «Строительство» (109428, г. Москва, ул. 2-я Институтская, 6)

² ООО «Предприятие Мастер Бетон» (109518, г. Москва, ул. Саратовская, 31)

Оптимизация параметров технологии бетона для обеспечения термической трещиностойкости массивных фундаментов

Приводится информация об оптимальных параметрах технологии бетонирования массивных фундаментных плит, при соблюдении которых обеспечивается термическая трещиностойкость конструкций. Параметры оптимизированы с учетом специфики и опыта бетонных работ при возведении комплекса высотных зданий на площадках «Москва-Сити». 16 фундаментных плит объемом от 4,4 до 45,8 тыс. м³ из бетонов классов от В40 до В60 с расходом арматуры от 128 до 336 кг/м³ бетонировались целиком или отдельными блоками («захватками») с использованием высокоподвижных или самоуплотняющихся смесей. Технология не предусматривала процессы предварительного охлаждения бетонных смесей на заводах и принудительного снижения температуры на стройплощадках после бетонирования конструкций с помощью систем водяного охлаждения. Вместо этого акцент сделан на использовании модифицированных бетонных смесей с низким экзотермическим потенциалом – минимизированным содержанием цемента (т. е. малоцементных бетонов) и замедлением гидратации, а также на обеспечении естественного теплообмена между конструкцией и окружающей средой в начальный период (1,5–2 сут после бетонирования) и регулировании скорости охлаждения с помощью теплоизоляционных материалов впоследствии. При бетонировании с использованием высокоподвижных или самоуплотняющихся бетонных смесей с содержанием цемента в пересчете на клинкер не более 350 кг/м³ и при температуре смесей не выше 20°C максимальное значение температуры в ядре массивной конструкции не превышает 65°C. При увеличении доли клинкера в цементе на каждые 10 кг/м³ и температуры смесей на 1°C максимальная температура в ядре конструкции повышается на 0,8–1,2°C. Независимо от значения максимальной температуры в ядре скорость остывания конструкций с модулем поверхности менее 2 м⁻¹ и расходом арматуры не менее 128 кг/м³ не должна превышать 3°C/сут.

Ключевые слова: высотные здания, массивные конструкции, тепловыделение бетона, термическая трещиностойкость, выдерживание бетона, скорость охлаждения, самоуплотняющийся бетон, малоцементный бетон.

Для цитирования: Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Чилин И.А. Оптимизация параметров технологии бетона для обеспечения термической трещиностойкости массивных фундаментов // *Строительные материалы*. 2022. № 10. С. 41–51.

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-807-10-41-51>

S.S. KAPRIELOV¹, Doctor of Sciences (Engineering), Academic RAACS,

A.V. SHEYNFELD¹, Doctor of Sciences (Engineering) Adviser of RAACS, I.A. CHILIN², Engineer

¹ Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete (NIIZHB) named after A.A. Gvozdev
 (6, bldg. 5, 2-nd Institut'skaya Street, Moscow, 109428, Russian Federation)

² "Master Concrete Enterprise" LTD (31, Saratovskaya Street, Moscow, 109518, Russian Federation)

Optimization of Concrete Technology Parameters to Ensure Thermal Crack Resistance of Massive Foundations

Information on the optimal parameters of the technology of concreting massive foundation slabs, which ensures the thermal crack resistance of structures is provided. The parameters are optimized taking into account the specifics and experience of concrete work during the construction of a complex of high-rise buildings at the Moscow City sites. Sixteen foundation slabs with volumes from 4.4 to 45.8 thousand m³ of concrete of classes from B40 to B60 with rebar consumption from 128 to 336 kg/m³ were concreted in whole or in separate blocks with the use of highly flowability or self-compacting mixtures. The technology did not provide for the processes of pre-cooling of concrete mixtures in batching plants and forced temperature reduction on construction sites after concreting structures using water cooling systems. Instead, the emphasis is placed on the use of modified concrete mixtures with low exo-thermal potential – with a minimized cement content (i.e. "low-cement concretes") and slowing down hydration, as well as ensuring natural heat exchange between the structure and the environment in the initial period (1.5–2 days after concreting) and regulating the cooling rate using thermal insulation materials afterwards. When concreting using highly flowability or self-compacting concrete mixtures with a cement content, in terms of clinker, no more than 350 kg/m³ and the temperature of the mixtures no higher than 20°C, the maximum temperature in the core of a massive structure does not exceed 65°C. With an increase in the proportion of clinker in cement for every 10 kg/m³ and the temperature of the mixtures by 1°C, the maximum temperature in the core of the structure increases by 0.8–1.2°C. Regardless of the value of the maximum temperature in the core, the cooling rate of structures with a surface modulus of less than 2 m⁻¹ and reinforcement consumption of at least 128 kg/m³ should not exceed 3°C/day.

Keywords: high-rise buildings, massive structures, heat generation of concrete, thermal crack resistance, curing of concrete, cooling rate, self-compacting concrete, low-cement concrete.

For citation: Kapriellov S.S., Sheynfeld A.V., Chilin I.A. Optimization of concrete technology parameters to ensure thermal crack resistance of massive foundations. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2022. No. 10, pp. 41–51. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-807-10-41-51>

Обеспечение трещиностойкости железобетонных конструкций при напряжениях, возникающих в ранние сроки твердения бетона от перепада температуры

вследствие тепловыделения или принудительного прогрева, а также усадки бетона, продолжает оставаться одной из важных задач. Особенно актуальна

она при бетонировании массивных фундаментов с модулем поверхности менее 2 м^{-1} , когда значительные температурные перепады и градиенты температур из-за саморазогрева и неуправляемого охлаждения конструкций до температуры окружающей среды могут привести к критическим напряжениям и образованию трещин.

При строительстве высотных зданий на площадке ММДЦ «Москва-Сити» задача обеспечения термической трещиностойкости шестнадцати массивных фундаментов решалась с акцентом на управлении параметрами бетонной смеси и бетона, которые регулировали с учетом особенностей конструкций и условий производства работ на каждой площадке.

Фундаменты объемом от 4,4 до 45,8 тыс. м^3 имели разные конструктивные признаки — относились к плитам на упругом (УО) или жестком (ЖО) основании или к плитным ростверкам (ПР).

Указанные плиты возводили методом непрерывного бетонирования всей конструкции или последовательным бетонированием отдельных фрагментов (блоков) конструкции.

В обоих случаях решались две задачи:

— обеспечение термической трещиностойкости конструкций при повышенных перепадах и градиентах температур, вызванных экзотермией бетона;

— обеспечение высокой скорости укладки бетонных смесей и качества бетона в густоармированных конструкциях.

Термические напряжения и деформации в массивных конструкциях, как известно, могут быть рассчитаны с учетом нескольких факторов: кинетики тепловыделения бетона; температуры в ядре конструкции; градиента температур в массиве конструкции; модуля поверхности и скорости охлаждения конструкции; армирования; характеристик бетона в раннем возрасте — предела прочности при растяжении; модуля упругости; ползучести [1–3].

Но при этом надо иметь в виду, что возможность прогнозирования термических напряжений и деформаций расчетными методами не исключает, как отмечено в работе [4], необходимости использования эмпирических данных.

Поэтому различные рекомендации по обеспечению термической трещиностойкости массивных конструкций в раннем возрасте после бетонирования сводятся к соблюдению граничных значений температуры и градиентов, подтвержденных практическим опытом и примерами.

Задача обеспечения термической трещиностойкости конструкций в раннем возрасте решается комплексом мер. Среди них:

— охлаждение бетонных смесей до минимально возможной температуры (но не ниже $+5^\circ\text{C}$) и управляемая скорость охлаждения конструкций после бетонирования;

— снижение экзотермического потенциала (тепловыделения) бетона путем уменьшения доли клинкера в цементе за счет использования активных ми-

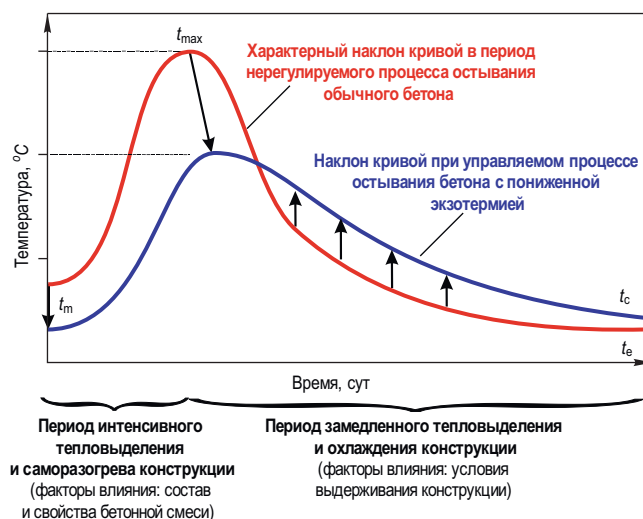


Рис. 1. Принципиальная схема управления температурными параметрами бетонной смеси и бетона: t_m — температура бетонной смеси (регулируется на заводе-производителе); t_{max} — максимальное значение температуры твердеющего бетона в конструкции; t_c — температура бетона в процессе охлаждения конструкции; t_e — среднесуточная температура окружающей среды

Fig. 1. Schematic diagrams for control of temperature parameters of concrete mixtures and hardened concrete: t_m — the temperature of the concrete mix (adjusted at the factory); t_{max} — the maximum value of the temperature of hardening concrete in the structure; t_c — the concrete temperature the during the cooling of the structure; t_e — average daily ambient temperature

неральных добавок (микрокремнезема, золы-уноса, доменного гранулированного шлака и др.) или использования в качестве вяжущего портландцемента типа ЦЕМ III, а также за счет введения в состав бетонных смесей добавок — замедлителей гидратации цемента.

В общем виде решение сводится к соблюдению принципа управления температурными параметрами бетона и конструкции, который схематично представлен на рис. 1.

Векторами показаны направления регулирования параметров на разных стадиях технологического процесса для обеспечения термической трещиностойкости конструкций.

Основной регламентируемый параметр — предельное значение температуры (t_{max}), согласно актуальному руководству [3] и своду правил СП 70.13330.2012, не должен превышать 70°C .

Надо иметь в виду, что ограничение связано со сравнительно невысокой термической стабильностью одного из первичных продуктов гидратации цемента — этtringита. Известно, что уже при температуре выше 60°C начинается процесс дегидратации, приводящий к переходу его в форму моносульфата [5]. Такое превращение связано с потерей «цеолитной» воды — части кристаллической воды [6], которая в определенных условиях носит обратимый характер: при увлажнении цементного камня и бетона и в дальнейшем выдерживании в нормальных температурно-влажностных условиях моносульфат превращается обратно во «вторичный» этtringит. Эти обратимые превращения способствуют возникновению напряжений в структуре цементного камня.

Таблица 1
Table 1Конструкционные характеристики массивных фундаментных плит ММДЦ «Москва-Сити»
Structural characteristics of massive foundation slabs in the «Moscow City» buildings

Объект	Высота башни, м	Конструкционные характеристики фундаментных плит					
		Конструктивная схема	Класс бетона	Объем, тыс. м ³	Толщина, м	Размеры в плане, м	Расход арматуры, кг/м ³
МК Северная башня	80	УО	В40	4,4	2	46×48	128
МК IQ-квартал	83–168	ПР+УО	В40	33,6	1,4–6,3	136×146	250
МК Меркурий	338	ПР	В40	28,8	4,35	65×102	135
МК Империя	257	ПР	В50	14,6	4,4	48×69	–
МК участок №15	275	ПР	В50	45,8	4	97×118	216
МК Око «Офисы»	244	ПР	В60	6,8	3	40×79	150
МК Нева «Офисы»	289	ПР	В60	12,8	3,5	47×73	–
МК Город Столиц «Санкт-Петербург»	245	ПР	В40	5,4	4,5	34×35	195
МК Город Столиц «Москва»	286	ПР	В40	6,6	4,5	37×40	195
МК Федерация «Запад»	242	ПР	В40	9,5	3,5	39×79	225
МК Евразия	300	ПР	В45	9,6	2,5–3	51×72	163
МК Эволюция	266	ПР	В45	8,6	2,5–3,5	52×53	294
МК Федерация «Восток»	370	ПР	В50	14,2	4	69×70	270
		ЖО	В50	11,3	3,5	68×69	336
МК Око «Апартаменты»	354	ПР	В60	6,1	3,5	41×43	226
МК Нева «Апартаменты»	336	ПР	В60	8,0	3,5	46×53	–

Примечание. Конструктивная схема плит: УО – плита на упругом основании; ЖО – плита на жестком основании; ПР – ростверк на свайном основании.

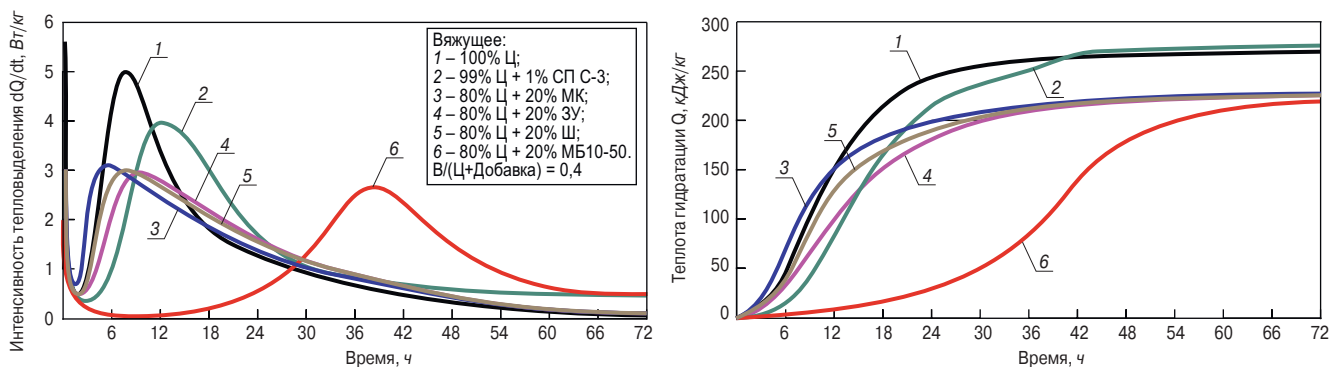


Рис. 2. Тепловыделение цементных систем с различными добавками при постоянном водосодержании [15]

Fig. 2. Heat generation of cement systems with various additives at constant water content

Но благодаря присутствию в цементной системе гидросиликатов кальция С–S–Н температурный порог, при котором начинаются реверсивные превращения этtringита, обычно выше 60°C и, как отмечено в работе [7], достигает 80°C. Поэтому есть основания считать допустимым превышение вышеуказанного предельного значения t_{max} до значения 80°C.

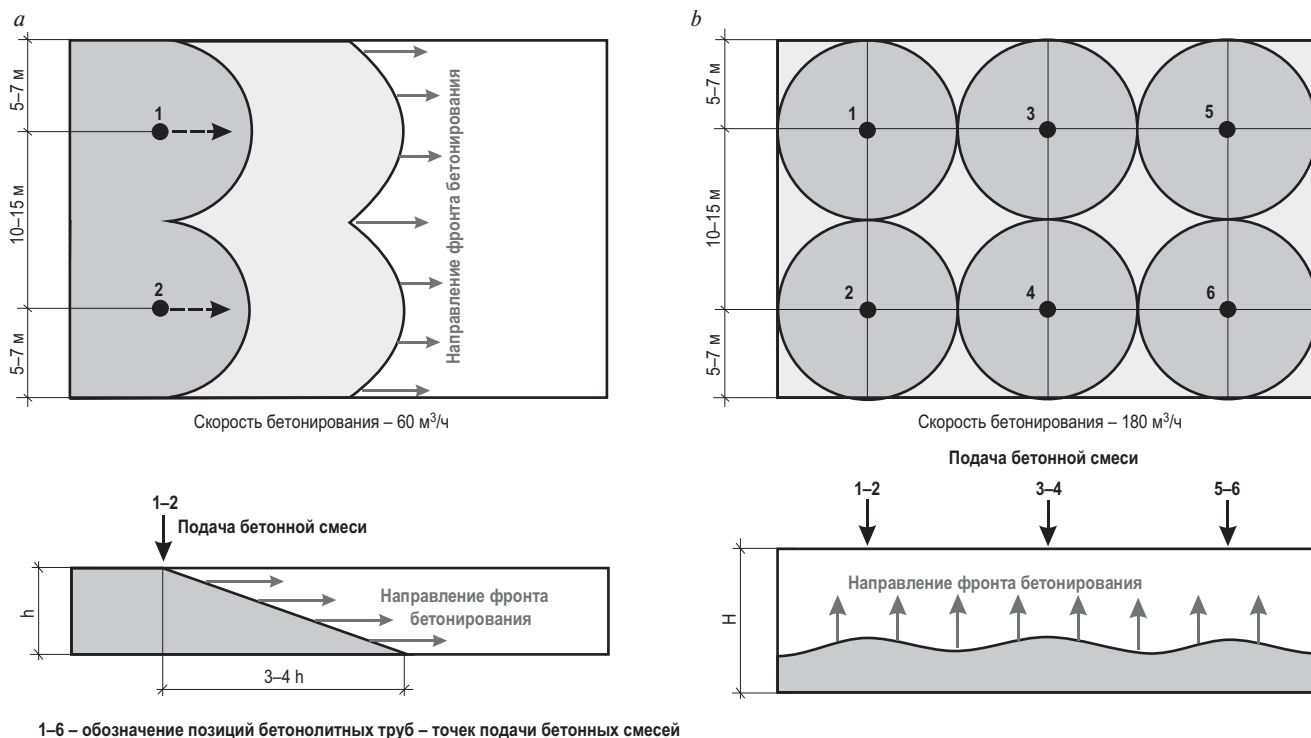
Предварительное охлаждение бетонной смеси на заводах путем введения в воду затворения колотого льда, использования охлажденной воды или обработки заполнителей жидким азотом [3, 8, 9], так же как охлаждение забетонированной конструкции на стройплощадке с помощью системы труб с циркулирующей по ним водой, представлялось дорогостоящим и трудоемким мероприятием.

В связи с этим и учитывая то, что для организации массового непрерывного бетонирования следовало привлечь до девяти бетонных заводов одновременно, было необходимо выбрать более приемлемый принцип выполнения бетонных работ.

Выбор технологии зависел от конструктивных особенностей фундаментных плит, производительности заводов и условий стройплощадок. В табл. 1 приведены основные конструктивные характеристики фундаментных плит.

При разработке технологии бетонных работ в качестве основных исходных условий и ограничений были определены следующие:

– среднесуточная температура окружающей среды, при которой ведутся работы, находится в диапазоне от -15 до +25°C;



1–6 – обозначение позиций бетонолитных труб – точек подачи бетонных смесей
Рис. 3. Принципиальная схема укладки бетонной смеси в конструкции массивных фундаментных плит: *a* – первый способ; *b* – второй способ
Fig. 3. Schematic diagram of laying the concrete mixture in the construction of massive foundation slabs: *a* – the first method; *b* – the second method

- расход арматуры в конструкциях плит или бетонизируемых захваток (фрагментах плит) не ниже 128 кг/м³;
- модуль поверхности конструкций или бетонизируемых фрагментов не превышает 2 м⁻¹, что согласно СП 63.13330.2018 позволяет отнести их к категории массивных конструкций;
- максимальная температура бетона в забетонированной конструкции (t_{max}) не должна превышать +70°C;
- разность температур бетона в разных зонах массива конструкций, так же как между поверхностной зоной конструкций (t_c) и окружающей средой (t_e), не должна превышать 20°C.

На объектах: «Федерация», «Евразия», «Город Столиц», «Эволюция», «Нева» и «Око», где объемы фундаментных плит составляли от 5,4 до 14,2 тыс. м³, применялся метод «непрерывного бетонирования»; на остальных объектах применялся метод «дискретного бетонирования» с разбивкой конструкций на отдельные захватки, с соблюдением технологических перерывов [10–14].

Целью выполненной работы являлось определение влияния параметров технологии бетонирования на термическую трещиностойкость конструкции с учетом вышеизложенных ограничений и условий производства работ.

Для этого решали следующие задачи:

- оптимизировали составы и свойства бетонных смесей с учетом минимизированного расхода цемента;
- уменьшали температуру саморазогрева конструкций от интенсивного тепловыделения бетона в течение 1,5–2 сут после бетонирования;

- обеспечивали заданную скорость охлаждения при выдерживании конструкций в последующем;
- на основании анализа результатов бетонирования разных конструкций определяли влияние параметров технологии на термическую трещиностойкость массивных фундаментных плит в ранний период.

Свойства материалов

и особенности технологии бетонирования

Известно, что факторами, влияющими на тепловыделение бетона, в порядке убывания их значимости являются дозировка цемента (точнее, доля клинкера в нем) в составе бетонной смеси; активные минеральные добавки, в частности микрокремнезем (МК); доменный гранулированный шлак (Ш); зола-уноса (ЗУ), водоредуцирующие и замедляющие гидратацию добавки; содержание воды [15–17].

По данным [16], замена части цемента на соответствующее количество МК, ГШ и ЗУ снижает экзотермию цементной системы по мере уменьшения пуццолановой активности каждой из указанных добавок (рис. 2). Наиболее эффективным с точки зрения уменьшения расхода цемента и соответственно снижения экзотермии при обеспечении максимальной прочности является комплекс, состоящий из высокоактивного МК и менее активной ЗУ.

Поэтому оказались востребованы органоминеральные модификаторы типа МБ, содержащие в своем составе МК, ЗУ, суперпластификатор, а в некоторых разновидностях и расширяющий компонент [18–20], которые являются более технологич-

ным продуктом, чем каждый из входящих в их состав ингредиентов.

Бетонные смеси и компоненты

Бетонные смеси были высокоподвижными, в основном с осадкой конуса 22–26 см, в некоторых случаях имели расплыв конуса 60–70 см, что относит их к категории самоуплотняющихся по ГОСТ Р 59714–2021.

Применяли портландцементы ПЦ 500 Д0 и ЦЕМ I 52,5 с удельным тепловыделением 300 кДж/кг,

а также ПЦ 500 Д20 и ЦЕМ II 52,5 с удельным тепловыделением 250 кДж/кг [16–21]. В обоих случаях содержание С₃А в клинкере цементов не превышало 7%. Расход цемента в целях снижения экзотермии бетона минимизирован и для бетонов классов В40–В60 находился в диапазоне от 280 до 350 кг/м³.

Обязательный компонент бетонных смесей – органоминеральный модификатор МБ10-50С А-II-2, соответствующий ГОСТ Р 56178–2014. Органическая часть модификатора (10% массы) состоит из супер-

**Таблица 2
Table 2**

**Составы, свойства бетонных смесей и бетонов, используемых при возведении конструкций фундаментных плит
Compositions, properties of concrete mixes and concretes used in the construction of foundation slab structures**

Наименование объекта	Класс бетона	Составы бетонных смесей, кг/м ³							Свойства смесей			Прочность бетона при сжатии, МПа	
		Ц	МБ	П	Щ	В	МП	КЭ	ОК, см	РК, см	t, °C	По контрольным образцам	По кернам
МК Северная башня	В40	350*	50	850	920	170	–	–	22–24	–	15–19	52–64	53–60
МК IQ-квартал	В40	280*	60	850	970	150	100	0,5	23–26	–	8–23	48–61	47–65
МК Меркурий	В40	300*	60	860	980	160	80	0,3	24–28	–	6–26	69–84	69–70
МК Империя	В50	350	65	860	960	165	–	0,4	22–26	–	5–22	79–88	75–86
МК участок № 15	В50	320*	85	820	840*	165	150	0,5	–	60–70	10–24	67–77	69–86
МК Око «Офисы»	В60	350*	70	810	950	155	70	0,3	22–26	–	12–18	69–75	64–69
МК Нева «Офисы»	В60	350*	70	820	960	150	50	–	24–26	–	12–14	79–87	73–87
МК Город Столиц «Санкт-Петербург»	В40	350	50	880	950	155	–	–	22–26	–	2–12	54–60	50–60
МК Город Столиц «Москва»	В40	350	50	880	950	155	–	–	22–26	–	2–10	54–62	52–60
МК Федерация «Запад»	В40	350*	50	880	950	155	–	–	22–26	–	5–15	52–67	49–68
МК Евразия	В45	350	65	870	940	165	–	0,4	21–26	–	10–12	68–78	65–73
МК Эволюция	В45	320*	80	840	840*	165	155	0,5	–	60–70	5–12	55–75	53–65
МК Федерация «Восток»	В50	330*	75	880	950	150	–	–	22–26	–	2–10	62–77	69–75
		330*	85	800	850*	165	150	–	–	60–70	2–10	60–79	61–78
	В50	330	75	880	950	150	–	0,3	22–26	–	18–28	59–75	60–72
МК Око «Апартаменты»	В60	350*	70	810	950	155	70	0,3	22–26	–	18–20	79–95	73–76
МК Нева «Апартаменты»	В60	350*	70	820	960	150	50	–	24–26	–	8–14	71–90	70–90

Примечания:
Использовались материалы: Ц – ПЦ М500 Д20 или ЦЕМ II 52,5 и *ПЦ М500 Д0 или *ЦЕМ I 52,5 Н, МБ – МБ10-50С А-II-2; П – песок кварцевый с M_{кр}=2,5–2,8; Щ – щебень гранитный фракций 5–20 мм и *3–10 мм; В – вода затворения; МП – молотый известняк; КЭ – кремнийорганическая эмульсия КЭ30-04 50% концентрации. ОК – осадка нормального конуса бетонной смеси; РК – расплыв нормального конуса самоуплотняющейся бетонной смеси. t – температура смеси.

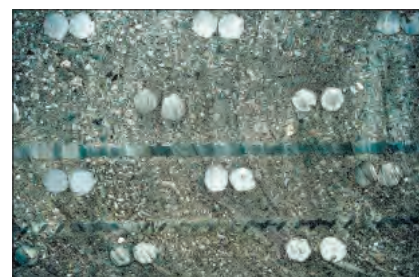


Рис. 4. Укладка самоуплотняющегося бетона класса В50 в густоармированную конструкцию фундаментной плиты высотой 4 м, объемом 14,2 тыс. м³ с расходом арматуры 270 кг/м³ башни «Восток» МК Федерация

Fig. 4. Pouring of self-compacting concrete of class В50 in highly-reinforced foundation slab with thickness of 4 m, volume of 14.2 thousand m³ with a rebar consumption 270 kg/m³ at «East» tower of the «Federation complex»

Спаренная арматура класса А500С диаметром 36 мм Paired fittings of class А500С with a diameter of 36 mm

Рис. 5. Фрагмент среза модели фундаментной плиты башни «Восток» МК Федерация с расходом арматуры 336 кг/м³ из самоуплотняющегося бетона класса В50

Fig. 5. Fragment of vertical section of the model of foundation slab at «East» tower of the «Federation complex» with a rebar consumption 336 kg/m³ from self-compacting concrete of class В50

Технологические характеристики процессов производства бетонных работ и температурные параметры выдерживания конструкций массивных фундаментных плит ММДЦ «Москва-Сити»
Technological characteristics of concrete work production processes and temperature parameters of curing structures of massive foundation slabs of the "Moscow-City" IBC

Объект	Технологические характеристики					Температурные параметры			
	Количество блоков, шт.	Объем блоков, тыс. м ³	Направление фронта бетонирования	Средняя скорость бетонирования, м ³ /ч	Количество тепла, выделенное бетоном, кДж/м ³	Средняя температура бетонной смеси, °С	Максимальная температура бетона в ядре конструкции, °С	Скорость остывания бетона в ядре конструкции, °С/сут	Перепад температуры в ядре и на поверхности конструкции, °С
<i>Бетонирование отдельными блоками (захватками)</i>									
МК Северная башня	4	0,7–1,4	→	45–60	105 000	15–21	60–71	1,7–2,4	17–21
МК IQ-квартал	19	0,1–4,3	→	30–182	84 000	8–23	55–69	1,5–2,3	16–22
МК Меркурий	7	1,1–8,2	→	74–173	90 000	6–26	55–71	0,8–1,7	10–26
МК Империя	4	3,6–3,7	→	150–185	87 500	5–22	60–70	0,5–2	15–21
МК участок № 15	7	1,7–8,3	↑	48–210	96 000	10–24	58–70	1,7–2,9	18–25
МК Око «Офисы»	4	0,8–4,3	→	59–120	105 000	12–18	55–60	2,2–2,8	20–24
МК Нева «Офисы»	3	2,3–7,3	→	119–208	105 000	12–14	62–65	1,8–2,5	20–22
<i>Непрерывное бетонирование всей конструкции</i>									
МК Город Столиц «Санкт-Петербург»	1	5,4	↑	130	105 000	7	58	1	13
МК Город Столиц «Москва»	1	6,6	↑	163	105 000	6	57	0,9	20
МК Федерация «Запад»	1	9,5	→	241	87 500	10	60	2	19
МК Евразия	1	9,6	→	240	87 500	10	56	1,2	19
МК Эволюция	1	8,6	↑	239	96 000	9	59	1,5	17
МК Федерация «Восток»	1	14,2	↑	169	99 000	6	58	2	22
	1	11,3	→	217	99 000	28	71	1,5	20
МК Око «Апартаменты»	1	6,1	→	226	105 000	19	64	1,8	20
МК Нева «Апартаменты»	1	8	→	222	105 000	12	63	2,2	19

пластификатора, а минеральная – из смеси МК/ЗУ в соотношении 50/50 [18–20, 22].

В качестве заполнителей использовались песок с модулем крупности 2,3–2,6, соответствующий ГОСТ 8736–2014, и щебень гранитный фракций 3–10 и 5–20 мм, соответствующий ГОСТ 8267–93.

В качестве микрозаполнителя применяли молотый известняк – минеральный порошок неактивированный марки МП-1, соответствующий ГОСТ Р 52129–2003.

При бетонировании фундаментов высотных зданий № 2–6; 11; 12; 14 и 15 (по табл. 2) в летний период с дневной температурой выше 20°C применялась кремнийорганическая эмульсия КЭ 30-04, представляющая собой эмульсию 50%-й концентрации на основе алкилгидросилоксанов [22]. Обладающая гидрофобизирующими и газообразующими свойствами в цементной системе эмульсия оказывала комплексное влияние на бетоны, повышала сохранность консистенции бетонных смесей и сегрегационную устойчивость, замедляла гидратацию и тепловыделение в начальный период твердения бетона.

Необходимая консистенция высокоподвижных и самоуплотняющихся бетонных смесей при минимизированном расходе цемента обеспечивалась за счет органоминерального модификатора МБ 10-50С и минерального порошка МП-1.

Технология бетонирования конструкций

Укладка бетонных смесей в конструкции выполнялась двумя способами, выбор которых зависел от условий стройплощадки.

Первый способ (рис. 3, а): укладка осуществлялась с виброуплотнением, с образованием откоса и с продвижением фронта бетонирования по горизонтали, от одной грани конструкции к противоположной, с применением бетонных смесей с осадкой нормального конуса не более 26 см.

Второй способ (рис. 3, б): укладка осуществлялась в основном без виброуплотнения с образованием горизонтальных слоев и с продвижением фронта бетонирования снизу вверх, с применением более подвижных или самоуплотняющихся бетонных смесей. Бетонлитные трубы находились в стационарном

положении, извлекались после заполнения смесью не менее 1/2 высоты конструкции. Расчетная скорость укладки смесей с каждой позиции бетонолитных труб составляла не менее 30 м³/ч. При такой скорости радиус расплыва самоуплотняющихся бетонных смесей от каждой трубы без виброуплотнения в зависимости от характера армирования составлял 6,5–7,5 м.

Методы контроля

Температура бетона в конструкциях определялась в точках на трех уровнях по высоте фундаментных плит – в основании (на расстоянии 100 мм от низа плиты), в середине (1/2 h), в верхней зоне (на расстоянии 100 мм от верха плиты) – с помощью хромель-копелевых термопар, расставленных по горизонтали с расстоянием между собой 8–12 м.

Прочность и фактический класс бетона при сжатии в проектном возрасте определяли согласно ГОСТ 28570–2019; ГОСТ 31914–2012 и ГОСТ 18105–2018.

Ориентировочно значения прочности бетона в конструкциях в промежуточном возрасте оценивали по градуированной зависимости: «прочность при сжатии (R) – температурно-временной параметр выдерживания бетона (ТВП)», который измеряется в градусо-часах [23]. Результат оперативно сверяли с данными контроля прочности неразрушающими методами по ГОСТ 17624–2012; ГОСТ 22690–2015 и ГОСТ 31914–2012.

Дефектоскопию конструкций с оценкой параметров трещин в случае их визуального обнаружения осуществляли инструментальными методами с использованием ультразвуковой диагностики и мерных инструментов. Дополнительно параметры выявленных трещин выборочно определяли путем оценки кернов диаметром 75–100 мм, выбуренных в устье трещины.

Уход за бетоном и выдерживание конструкций

Схема ухода за бетоном и выдерживания конструкций после бетонирования приведена на рис. 1.

В начальный период, на стадии повышения температуры от t_m до t_{max} , в течение не более 3–4 ч после окончания бетонирования заглаженная поверхность бетона для предотвращения усадки от обезвоживания покрывалась пленкообразующей эмульсией или увлажнялась с последующим покрытием полиэтиленовой пленкой. В таком состоянии обеспечивался естественный теплообмен конструкции с окружающей средой в период повышения температуры до значения t_{max} .

На стадии охлаждения конструкций (от t_{max} до t_c , рис. 1) температура в массиве плит регулировалась с учетом обеспечения охлаждения со скоростью не выше 3°С/сут. В зимний период это осуществлялось за счет поддержания заданной температуры в шатрах, в летний – в основном с помощью теплоизоляционных материалов. Применяли рулонные материалы марок «Изолон ППЭ НР» или «Этафом»

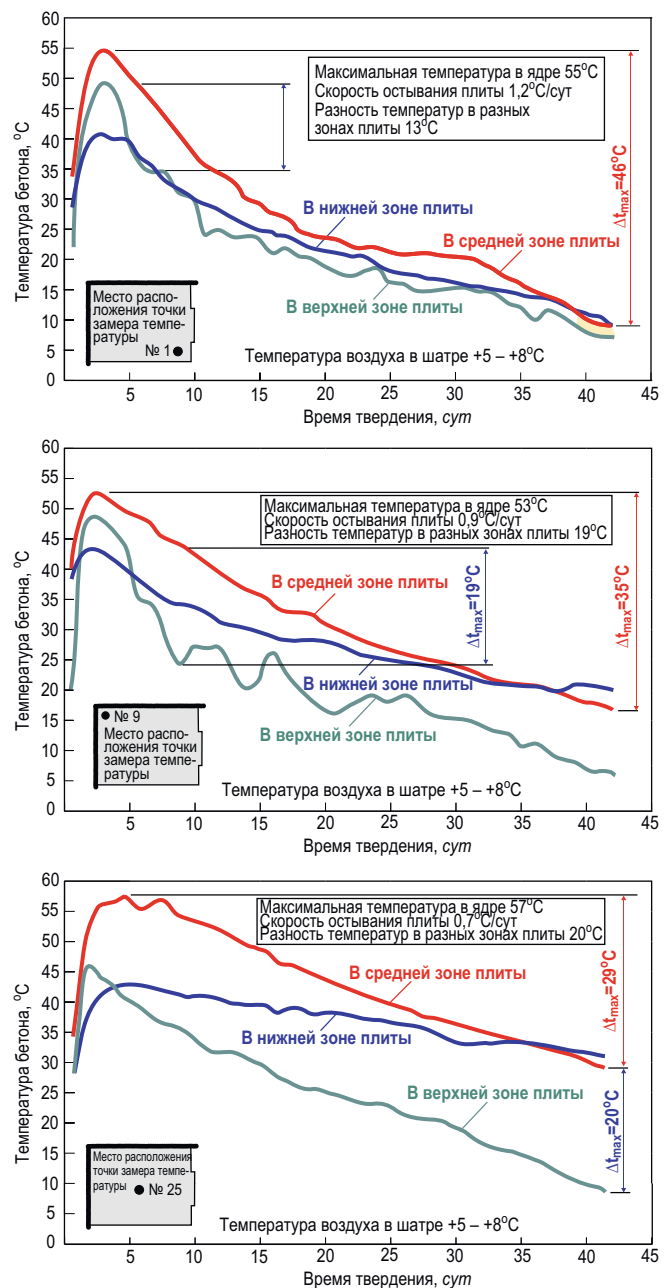


Рис. 6. Кинетика изменения температуры бетона в разных зонах фундаментной плиты башни «Москва» МК «Город Столиц» толщиной 4,5 м, объемом 6,6 тыс. м³ с расходом арматуры 195 кг/м³

Fig. 6. Kinetics of change of the concrete temperature in different zones of foundation slab with thickness of 4.5 m, having total volume of 6.6 thousand m³ and with a rebar consumption 195 kg/m³ at the construction of «Moscow» tower in «City of Capitals»

толщиной 10 мм с термическим сопротивлением 0,2–0,25 м²·°С/Вт, которые укладывались на горизонтальные поверхности послойно в зависимости от температуры окружающей среды. Для опалубки при необходимости применяли плитный утеплитель толщиной 50 мм – пенопласт «ПСБ-С 35» или «Пеноплекс».

При регулировании скорости охлаждения исходили из того, что предельная разность температур между зонами конструкций не должна превышать 20°С.

Уход за бетоном осуществлялся до момента, когда температура на поверхности конструкций оказывалась выше среднесуточной температуры окружающей среды, установившейся в течение двух суток, не более чем на 20°C.

Анализ результатов

Данные об основных параметрах технологии, результаты контроля качественных характеристик бетонов и температурных параметров конкретных конструкций приводятся в табл. 2, 3 и на рис. 4–8.

О бетонах

При непрерывном бетонировании по схеме на рис. 3, б с применением самоуплотняющихся смесей (плиты № 5, 12, 13, табл. 2 и 3) средняя скорость укладки смесей в конструкции составляла 210–239 м³/ч. Смеси с распылом конуса 60–70 см обладали плотностью 2380–2400 кг/м³, что соответствовало расчетным значениям, и повышенной сегрегационной устойчивостью (связностью–нерасслаиваемостью), что при столь высокой скорости укладки обеспечивало растекание, самоуплотнение и сцепление с арматурными стержнями. Процесс бетонирования показан на рис. 4.

О высокой степени уплотнения смесей и характере контактной зоны между арматурными стержнями и бетоном можно судить по разрезу модели фундаментной плиты на рис. 5.

Фактические значения прочности при сжатии и классов бетонов, определенные по результатам ис-

пытаний кернов, выбуренных из конструкций в возрасте 45–90 сут, во всех плитах превышают проектные значения (табл. 2). Запасы прочности свидетельствуют о возможности дальнейшей оптимизации составов бетонных смесей с целью сокращения расхода цемента и снижения экзотермического потенциала бетонов.

Диагностика конструкций, проведенная после их распалубливания, не выявила сквозных трещин термического происхождения. Обнаружены отдельные трещины термоусадочного характера шириной раскрытия менее 0,2 мм, распространяющиеся на глубину не более толщины защитного слоя бетона, что допускается основным действующим нормативом СП 63.13330.2018 и не влияет на эксплуатационную надежность, работоспособность и долговечность конструкций.

О температуре

Кинетика изменения температуры в разных зонах массивной конструкции объемом 6,6 тыс. м³ с расходом арматуры 195 кг/м³ и классом бетона В40 на примере фундаментной плиты башни «Москва» многофункционального комплекса «Город столиц» (№ 9, табл. 2 и 3), которая выдерживалась в тепляке при температуре +5–8°C, приведена на рис. 6 и 7. Из приведенных данных видно, что предельная разность температур между смежными зонами плиты (нижней, средней и верхней) не превышала 20°C, а средняя скорость остывания плиты не превышала 1,2°C/сут, т. е. соответствовали регламентированным требованиям.

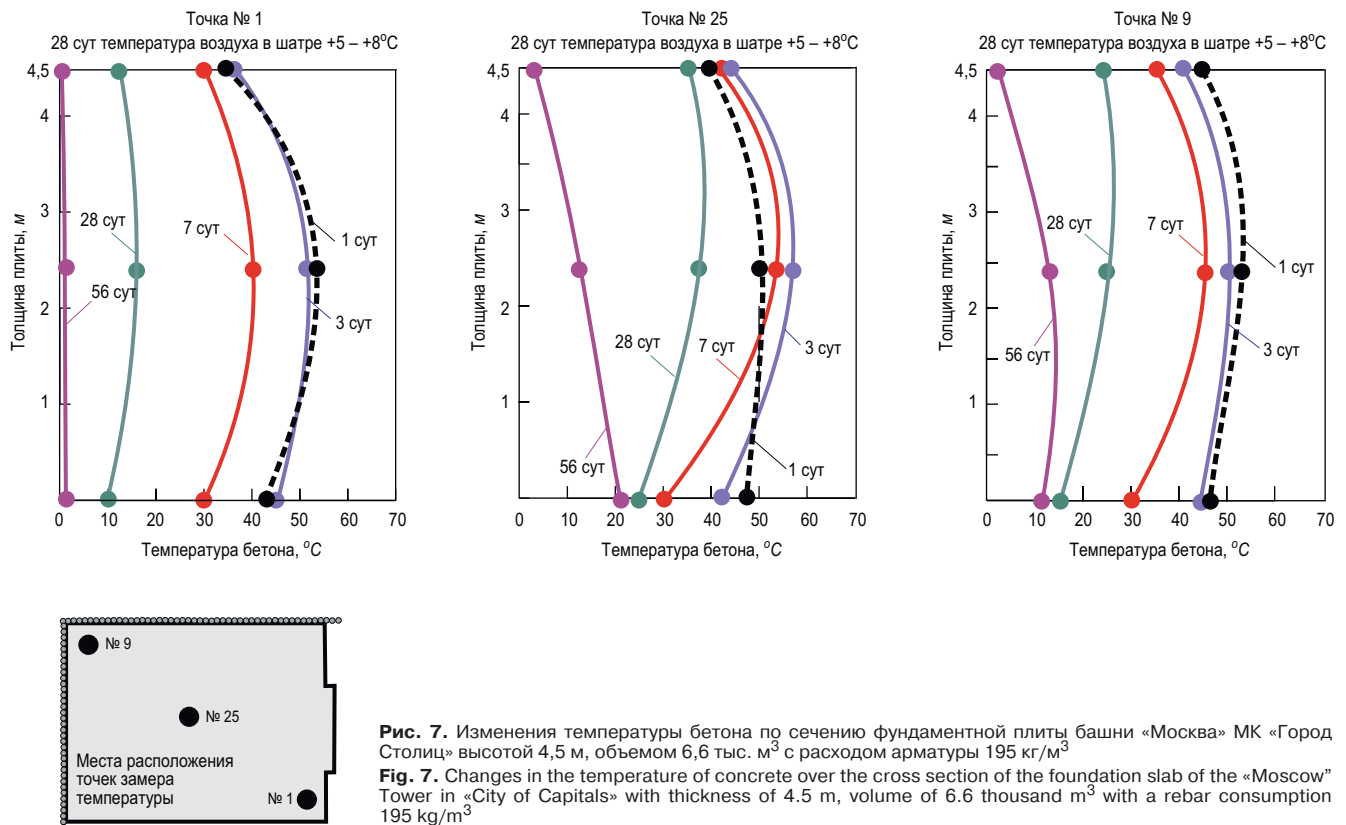


Рис. 7. Изменения температуры бетона по сечению фундаментной плиты башни «Москва» МК «Город Столиц» высотой 4,5 м, объемом 6,6 тыс. м³ с расходом арматуры 195 кг/м³
Fig. 7. Changes in the temperature of concrete over the cross section of the foundation slab of the «Moscow» Tower in «City of Capitals» with thickness of 4.5 m, volume of 6.6 thousand m³ with a rebar consumption 195 kg/m³

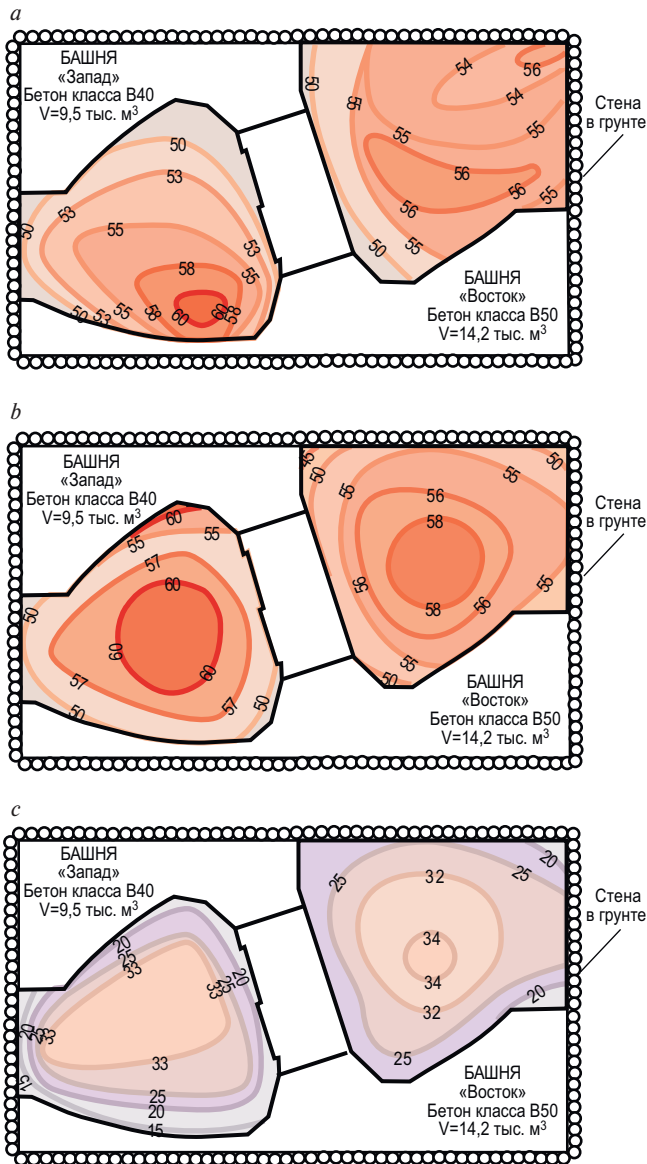


Рис. 8. Изменение температурных полей в средней зоне конструкции в течение 28 сут в плитных ростверках МК «Федерация»: *a* – в возрасте 1 сут; *b* – в возрасте 3 сут; *c* – в возрасте 28 сут
Fig. 8. Changes in temperature fields in the middle zone of the structure during 28 days in slab grillages of МК «Federation»: *a* – at the age of 1 day; *b* – at the age of 3 days; *c* – at the age of 28 days

Изменение температуры в средней зоне более массивных плит объемом 9,5 тыс. м³ при классе бетона В40 и объемом 14,2 тыс. м³ при классе бетона В50 на башнях многофункционального комплекса «Федерация» (№ 10 и 13, табл. 2 и 3) приведено на рис. 8.

Приведенные выше данные (табл. 3, рис. 4–8) показывают, что заданные температурные параметры технологии позволяют обеспечить термическую трещиностойкость конструкций в ранний период после бетонирования.

При использовании бетонных смесей с температурой не выше 20°C и соблюдении изложенных выше требований по уходу за конструкциями обеспечиваются граничные условия технологии: максимальная температура в массиве конструкций не более 65°C,

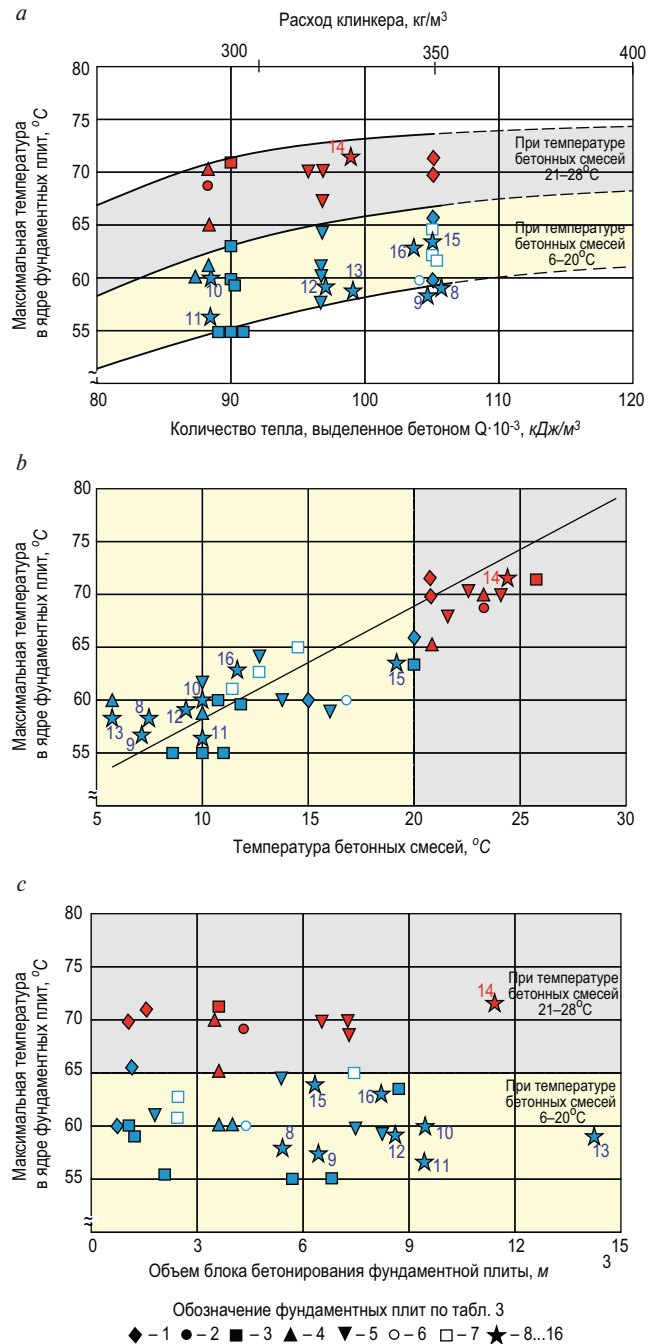


Рис. 9. Зависимость максимальной температуры в средней зоне фундаментных плит от содержания клинкера и тепловыделения (*a*), температуры бетонных смесей (*b*) и объема конструкций (*c*)
Fig. 9. Dependence of the maximum temperature in the middle zone of the foundation slabs on the content of clinker and heat release (*a*), the temperature of concrete mixtures (*b*) and the volume of structures (*c*)

разность температур в разных зонах конструкций не более 20°C, средняя скорость охлаждения плит не более 3°C/сут.

Основываясь на полученных данных (табл. 3, рис. 4–8), определили зависимость максимального значения температуры в средней зоне конструкций (t_{max}) от основных технологических факторов: содержания клинкера в цементе, температуры бетонной смеси, объема/модуля поверхности бетонируемой конструкции или отдельного блока (рис. 9).

На рис. 9 а, б показано изменение температуры в средней зоне конструкций (t_{max}) в зависимости от исходной температуры бетонной смеси (t_m) и количества выделяемого твердеющим бетоном тепла, которое рассчитывается по удельному тепловыделению цемента (Q) и его количеству в составе бетона (без учета теплоотдачи, связанной с теплообменом конструкции с окружающей средой)

Изменение температуры бетонной смеси (t_m) на 1°C и содержания клинкера на 10 кг/м³, при прочих равных условиях, приводит к изменению температуры t_{max} , в среднем на 0,8–1,2°C.

При значениях t_m не выше 20°C и содержании цемента в пересчете на клинкер до 350 кг/м³ в массивных конструкциях толщиной 2–4,5 м, объемом выше 1 тыс. м³ максимальная температура в ядре (t_{max}) не превышает 65°C. В таких же бетонных смесях с более высокими значениями t_m , доходящими до 28°C, величины t_{max} соответственно возрастают до уровня 71°C (рис. 9, в).

Выводы

1. Реализована на практике технология высоко-скоростного непрерывного бетонирования массивных фундаментных плит толщиной 2,5–4,5 м, объемом от 5,4 до 14,2 тыс. м³ с модулем поверхности менее 2 м⁻¹ из бетонов классов В40–В60, которая обеспечила термическую трещиностойкость конструкций в ранние сроки после бетонирования.

Бетонирование конструкций производилось в разные климатические периоды при среднесуточной температуре окружающей среды от -15 до +25°C.

Технология не предусматривала ни принудительного охлаждения бетонных смесей при их приготовлении на заводах, ни охлаждения конструкций при выдерживании их на стройплощадках с помощью системы труб с циркулирующими хладагентами.

2. Особенности технологии являются:

– использование малощелочных высокоподвижных и самоуплотняющихся бетонных смесей с низким экзотермическим потенциалом;

– обеспечение беспрепятственного теплообмена забетонированной конструкции с окружающей средой в период интенсивного тепловыделения бетона до достижения максимального значения температуры в средней зоне конструкций;

– регулирование скорости охлаждения конструкций после достижения максимальной температуры в средней зоне конструкций с помощью теплоизоляционных материалов и выдерживания в шатрах в зимний период.

3. Ключевые факторы технологии следующие:

– в составах бетонных смесей расход цемента в пересчете на клинкер минимизируется в зависимости от характеристик бетонных смесей и для бетонов классов В40–В60 не должен превышать 280–350 кг/м³ соответственно;

– в качестве добавок используются органоминеральные модификаторы типа МБ и молотый извест-

няк (минеральный порошок МП-1), а при необходимости и регулятор твердения (кремнийорганическая эмульсия);

– при температуре бетонных смесей до 20°C и расходе цемента по клинкеру не более 350 кг/м³ максимальная температура в средней зоне конструкций не превышает 65°C;

– повышение температуры бетонных смесей на один градус и дозировки цемента по клинкеру на каждые 10 кг/м³ приводит к повышению максимальной температуры в средней зоне конструкций на 0,8–1,2°C;

– при температуре бетонных смесей от 20 до 28°C и расходе цемента по клинкеру 280–350 кг/м³ максимальная температура в средней зоне конструкций должна быть на уровне 70±3°C;

– независимо от максимальной температуры средней зоны конструкций с модулем поверхности менее 2 м⁻¹, средняя скорость охлаждения при ее регулировании теплоизоляционными материалами или выдерживании в шатрах не должна превышать 3°C/сут.

Список литературы / References

1. Hirozo Mihashi, Joao Paulo de B. Leite. State-of-the-art report on controlling of cracking in early age concrete. *Journal of Advanced Concrete Technology*. 2004. June. Vol. 2, No. 2, pp. 141–154.
2. Nannan Shi, Jianshu Ouyang, Runxiao Zhang, Dahai Huang. Experimental study on early-age crack of mass concrete under the controlled temperature history. *Advances in Materials Science and Engineering*. 2014. Article ID 671795, 10 p. doi.org/10.1155/2014/671795
3. ACI 207.1R-05. Guide to Mass Concrete. Report of ACI Committee 207
4. Bisch Philippe. Behavior and assessment of massive structures: cracking and shrinkage. crack width calculation methods for large concrete structures. Nordic Miniseminar. Oslo, Norway. 29–30 august 2017. Workshop Proceedings. No. 12, pp. 11–15.
5. Мчедлов-Петросян О.П. Химия неорганических строительных материалов. М.: Стройиздат, 1988. 304 с.
5. Mchedlov-Petrossian O. P. Khimiya neorganicheskikh stroitel'nykh materialov [Chemistry of Inorganic Building Materials]. Moscow: Sroyizdat. 1988. 304 p.
6. Thermal Properties of Ettringite. *Gypsum and Lime*. 1968. Vol. 9, pp. 253–269.
7. Yukie Shimada, Francis Young. Thermal stability of ettringite in alkaline solutions at 80°C. *Cement and Concrete Research*. 2004. December. Vol. 34. Iss. 12, pp. 2261–2268.
8. ACI 207.4R-05. Cooling and Insulating Systems for Mass Concrete. Report of ACI Committee 207.
9. Aitcin P.-C. High-performance concrete. E&FN. London and New York. 1998. 598 p.
10. Каприелов С.С., Травуш В.И., Шейнфельд А.В., Карпенко Н.И., Кардумян Г.С., Киселева Ю.А.,

- Пригоженко О.В. Модифицированные бетоны нового поколения в сооружениях ММДЦ «Москва-Сити» // *Строительные материалы*. 2006. № 10. С. 8–12.
10. Kapriellov S.S., Travush V.I., Sheynfeld A.V., Karpenko N.I., Kardumyan G.S., Kiselyova Yu.A., Prigozhenko O.V. Modified Concretes of a New Generation in Buildings of «Moscow city». *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2006. No. 10, pp. 8–12. (In Russian).
 11. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Кардумян Г.С. Новые модифицированные бетоны. М.: ООО «Типография «Парадиз», 2010. 258 с.
 11. Kapriellov S.S., Sheynfeld A.V., Kardumyan G.S. Novye modifitsirovannye betony [A New Modified Concretes]. Moscow: Paradise. 2010. 258 p. (In Russian).
 12. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Кардумян Г.С., Киселева Ю.А., Пригоженко О.В. Новые бетоны и технологии в конструкциях высотных зданий // *Высотные здания*. 2007. № 5. С. 94–101.
 12. Kapriellov S.S., Sheynfeld A.V., Kardumyan G.S., Kiselyova Yu.A., Prigozhenko O.V. New concretes and technologies in structures of tall buildings. *Vysotnye Zdaniya*. 2007. No. 5, pp. 94–101. (In Russian).
 13. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Кардумян Г.С., Киселева Ю.А., Пригоженко О.В. Обеспечение термической трещиностойкости массивных фундаментных плит из модифицированных бетонов нового поколения. *Проблемы долговечности зданий и сооружений в современном строительстве: Мат. междунар. конф.* СПб., 2007. С. 240–245.
 13. Kapriellov S.S., Sheynfeld A.V., Kardumyan G.S., Kiselyova Yu.A., Prigozhenko O.V. Providing thermal crack resistance of massive foundation slabs. *Problems of Durability of Buildings and Structures in Contemporary Construction*. Saint-Petersburg. 2007, pp. 240–245. (In Russian).
 14. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Аль-Омаис Д., Зайцев А.С. Высокопрочные бетоны в конструкции фундаментов высотного комплекса «ОКО» в ММДЦ «Москва-Сити» // *Промышленное и гражданское строительство*. 2017. № 3. С. 53–57.
 14. Kapriellov S.S., Sheynfeld A.V., Al Omais D., Zaitsev A.S. High-strength concretes in foundation of tall buildings complex «ÓKO» in «Moscow City» Business Center. *Promyshlennoye i Grazhdanskoye Stroitelstvo*. 2017. No. 3, pp. 53–57. (In Russian).
 15. Шифрин С.А., Кардумян Г.С. Использование органоминеральных модификаторов серии МБ для снижения температурных напряжений в бетонных массивных конструкциях // *Строительные материалы*. 2007. № 9. С. 9–11.
 15. Shifrin S.A., Kardumyan G.S. The use of organic-mineral modifiers of mb series for reducing the thermal stresses in massive concrete structures. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2007. No. 9, pp. 9–11. (In Russian).
 16. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В. Некоторые особенности механизма действия органоминеральных модификаторов на цементные системы // *Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений*. 2017. № 1. С. 40–47.
 16. Kapriellov S.S., Sheynfeld A.V. Some features of organic-mineral modifiers action on cement systems. *Seismostoykoye Stroitelstvo. Bezopasnost sooruzheniy*. 2017. No.1, pp. 40–47. (In Russian).
 17. Bourchy A., Barnes L., Bessette L., Chalencou F., Joron A., Torrenti J-M. Optimization of concrete mix design to account for strength and hydration heat in massive concrete structures. *Cement and Concrete Composites*. 2019. No. 103, pp. 233–241.
 18. Kapriellov S.S., Sheynfeld A.V. Influence of silica fume / fly ash / superplasticizer combinations in powder-like complex modifiers on cement paste porosity and concrete properties. *Sixth CANMET/ACI International Conference on Superplasticizers and other Chemical Admixtures in Concrete: Proceedings – Nice*. France. 2000, pp. 383–400.
 19. Kapriellov S.S., Karpenko N.I., Sheynfeld A.V., Kouznetsov E.N. Influence of multicomponent modifier containing silica fume, fly ash, superplasticizer and air-entraining agent on structure and deformability of high-strength concrete. *Seventh CANMET/ACI International Conference on Superplasticizers and other chemical admixtures in concrete*. Berlin, Germany. 2003, pp. 99–107.
 20. Kapriellov S.S., Karpenko N.I., Sheynfeld A.V. On Controlling Modulus of Elasticity and Creep in High-Strength Concrete with Multicomponent Modifier. *Fifth CANMET/ACI International Conference on Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete: Supplementary Papers*. Las Vegas. USA. 2004, pp. 405–421.
 21. Odler I. *Special Inorganic Cements*. E&FN SPON. London – New York. 2000. 395 p.
 22. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика. М.: «Astra seven» JSC, 1998. 768 с.
 22. Batrakov V.G. Modifitsirovannye betony. Teoriya i praktika [Modified Concrete. Theory and Practice]. Moscow: Astra seven. 1998. 768 p. (In Russian).
 23. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Аль-Омаис Д., Зайцев А.С. Опыт производства и контроля качества высокопрочных бетонов на строительстве высотного комплекса «ОКО» в ММДЦ «Москва-Сити» // *Промышленное и гражданское строительство*. 2018. № 1. С. 18–24.
 23. Kapriellov S.S., Sheynfeld A.V., Al Omais D., Zaitsev A.S. Experience in the Production and Quality Control of High-Strength Concrete in Construction of Tall Buildings Complex «ÓKO» in «Moscow City» Business Center. *Promyshlennoye i Grazhdanskoye Stroitelstvo*. 2018. No. 1, pp. 18–24.

Человек. Судьба. Завод



*18 октября 2022 г. исполнилось бы **75 лет** заслуженному строителю России, кавалеру ордена Почета, генеральному директору Рязанского кирпичного завода **Василию Васильевичу Горшкову** (1947–2018).*

Он был не просто «красным директором», как называли советских руководителей, сохранивших свое положение в период слома общественно-экономической формации в России в 1990-е гг., но поистине Человеком, служившим своему делу.

Уже несколько лет нет с нами Василия Васильевича, а кирпич Рязанского завода продолжают называть «горшковским», из него строят красивые современные дома; живет и развивается завод, являясь своеобразным памятником замечательному человеку. В этом мы убедились, побывав на РКЗ.

Если говорить о значимой в промышленности личности, следует обратиться как к истории предприятия, так и к истории становления личности.

Рязанский кирпичный завод, которым В.В. Горшков руководил более тридцати лет, был построен в 1929 г. Построен – сильно сказано. Сезонное производство Дашковского кирпичного завода (первое название предприятия) состояло из примитивного прессы, сушильных сараев, напольной обжиговой печи на дровяном топливе. Глина прямо с карьера, расположенного неподалеку, отправлялась в производство. Выпуск кирпича составлял 6 млн шт. кирпича.

В мае 1947 г. Дашковскому кирпичному заводу было присвоено имя XVI партсъезда, а в 1965 г. завод переименовали в Рязанский кирпичный завод.

Первая реконструкция началась после Великой Отечественной войны. Спрос на кирпич резко возрос, поэтому напольную печь заменили на камерную кольцевую с арочным сводом, построили первую очередь камерных сушилок.

Затем в 1967 г. была построена туннельная печь длиной 65 м производительностью 18 млн шт. кирпича и семь двухпутных сушилок, приобретенны механические толкатели. В 1972–1975 гг. установлена двухвальная глиномешалка с парувлажнением, пущено формовочное отделение с конвейерной системой и автоматом – укладчиком кирпича на сушильные вагонетки. Начали осваивать выпуск трехпустотного кирпича.

Для повышения качества кирпича стали применять добавки: отходы Кимовской угольной обогатительной фабрики (Тульская область), отходы завода Рязцветмет, опилки. Завод с сезонного производства перешел на круглогодичную работу в три смены.

При этом качество кирпича оставалось низким, труд – тяжелым, а текучесть кадров, и не только рабочих, высокая. В период с 1945 по 1986 г. на предприятии сменилось 15 руководителей.

В августе 1986 г. руководство объединения «Рязаньстройматериалы», в состав которого входил Рязанский кирпичный завод, назначило на должность директора Василия Васильевича Горшкова. С этого времени начался отсчет новой истории предприятия.

В.В. Горшков родился в рабочей семье, в деревне близ города Касимова. После школы поступил в местный индустриальный техникум, а потом ушел в армию. Отслужив в Вооруженных силах, Василий Васильевич пришел работать на Приокский сельский строительный комбинат (ПССК). В то время многие энергичные специалисты совмещали работу с продолжением учебы. Так и В.В. Горшков вскоре получил диплом Рязанского политехнического института, успешно окончив факультет промышленного и гражданского строительства. Именно на ПССК Василий Васильевич получил огромный опыт управления и организации производства. Он был мастером участка, позже – начальником цеха, но в принципе мог заменить любого в том же формовочном цехе.

Рязанский кирпичный завод В.В. Горшков принял в весьма расстроенном состоянии. Было очевидно, что работа предстоит большая, быстрого успеха ждать не приходилось. Новый директор также понимал, что в одиночку никакие преобразования невозможны. И начал с формирования коллектива. По приглашению Василия Васильевича в конце 1980-х гг. на предприятие пришли заместитель директора А.П. Игнатенко, главный инженер А.Б. Косырев, начальник цеха производства кирпича и камня О.И. Астащенко. Вернулись на завод главный технолог Т.Н. Лежнева, начальник лаборатории





и ОТК Н.Н. Смирнова. Идея директора создать перспективное предприятие с современным оборудованием захватила коллектив.

Начало было положено в 1987 г., когда исполком городского Совета народных депутатов утвердил решение о реконструкции Рязанского кирпичного завода. Совместно с проектным институтом «Горьковский филиал «Росоргтехстром» был разработан проект реконструкции завода с увеличением производительности до 50 млн шт. усл. кирпича в год. Первым этапом стало строительство в 1988 г. на месте старой новой кольцевой печи со съемным сводом производительностью 18 млн шт. кирпича. Но чтобы завод реально стал экономически эффективным, продукция высокого качества, а коллектив постоянным и заинтересованным, требовалась коренная реконструкция и вывод предприятия на современный технический уровень.

После 1992 г., когда завод стал акционерным обществом и его руководство получило возможность принятия собственных управленческих и инвестиционных решений, реконструкция предприятия возобновилась. Были построены новые массоподготовительное и формовочное отделения, где установили современное отечественное глиноперерабатывающее оборудование. В это же время заключили контракт с немецкой фирмой «Штаймер» на поставку оборудования резки, укладки и транспортировки кирпича в сушилки. Построено новое сушильное отделение, а также вторая кольцевая печь со съемным сводом, оснащенная немецкими горелочными установками. Все тепловые процессы управлялись автоматически. В 1995 г. было пущено фактически новое производство.

После реконструкции экономическое положение завода упрочилось, хотя долги отдавали долго. Принципиально изменились условия труда, был построен поселок для работников – это позволило решить одну из самых болезненных проблем предприятия – кадровую.

В 2003 г. стартовала Международная научно-практическая конференция «Развитие керамической промышленности России: КЕРАМТЭКС».

В.В. Горшков с коллегами стали ее неизменными участниками. Это дало возможность еще более расширить профессиональные связи, больше бывать на кирпичных заводах в других регионах и за рубежом, изучить опыт коллег, лично познакомиться с машиностроительными компаниями.

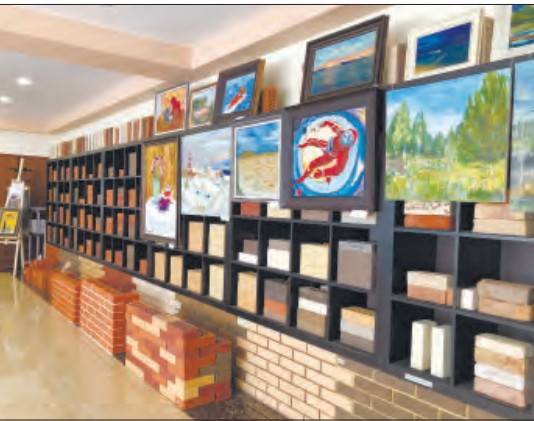
Генеральный директор не боялся экспериментировать, внедрил в производство все новое и передовое. В 2004 г. немецкую линию дополнили резчиком швейцарской фирмы «Фрейматик». В 2006 г. своими силами создали установку по упаковке кирпича в термоусадочную пленку. Была пущена еще одна сушильная камера. Производительность предприятия в 2007 г. достигла 35,5 млн шт. усл. кирпича в год. В период кризиса коллектив завода пытается найти дальнейшие пути развития предприятия. В конце 2008 г. была освоена новая технология по выпуску крупноформатных поризованных камней, обладающих улучшенными техническими характеристиками, что позволило заводу стабильно работать в трудной экономической ситуации.

В 2012 г. совместно с испанскими партнерами построена и запущена новая туннельная печь на месте первой кольцевой печи (построенной в 1988 г.), производительностью 45 млн шт. усл. кирпича, где садка, транспортировка, обжиг, выгрузка полностью автоматизированы. В январе 2015 г. построена и запущена еще одна сушильная камера.

На Рязанском кирпичном заводе, одном из первых в отрасли, для садки и укладки кирпича в пакеты применены роботы FANUC (Япония). Это кардинально изменило условия труда.

Постоянное внедрение новаций позволяет заводу не только увеличивать производительность, но и расширять ассортимент выпускаемой продукции. Помимо облицовочного кирпича разнообразных форм, цветов и оттенков, завод выпускает поризованные керамические блоки различных размеров, которые применяются при строительстве малоэтажных домов и современных многоэтажных жилых комплексов.





Василий Васильевич Горшков все годы своего директорства оставался душой созданного им коллектива. Он делал все возможное, чтобы на заводе царил дружеская деловая атмосфера, зарплата была достойной, решались социальные вопросы. Благодаря ему на производство стала приходить молодежь – работа на Рязанском кирпичном заводе теперь престижная. Здесь организовывали различные экскурсии, выезды болельщиков на футбольные и хоккейные матчи, велась спортивная рыбная ловля. Постоянно проводились спортивные соревнования между строительными организациями региона. Заводчане не раз становились победителями соревнований по футболу, волейболу, лыжным гонкам, легкоатлетическому кроссу.

Василий Васильевич Горшков оставил после себя не только высокотехнологичное, ритмично работающее рентабельное производство. Некогда грязная, неухоженная территория предприятия его неустанными заботами превратилась в прямом смысле в цветущий сад с розариями, фруктовыми деревьями, декоративными кустарниками.

Он и дома был настоящим хозяином, многое умел и делал своими руками. Любил огород, ходил на охоту, по грибы, рыбачил. А когда собирались друзья или родственники, брал в руки баян и пел. Успевал везде и во всем.

Может показаться удивительным, но в круг друзей в общем-то простого рязанского мужика входили генералы и бизнесмены, космонавты и артисты, спортсмены и чиновники. Он не обладал модной нынче харизмой, но своей открытостью, внутренней чистотой и силой, бесконечной доброжелательностью и отзывчивостью, верностью слову и чувством юмора как магнит притягивал к себе людей. Отдельно следует отметить взаимоотношения Василия Васильевича с коллегами – руководителями, ведущими специалистами кирпичных заводов. Со многими он был знаком лично и всегда считал их партнерами и коллегами, а не конкурентами. Радужно принимал их на заводе, никогда не отказывал в помощи или совете.

Сегодня Рязанский кирпичный завод возглавляет сын Василия Васильевича. Владимир Васильевич Горшков, подполковник запаса, кандидат технических наук, – достойный продолжатель дела, он всегда шел рядом с отцом, был надежной опорой в трудное, непростое время.

Достижения Рязанского кирпичного завода отмечены наградами и дипломами многих престижных всероссийских и региональных конкурсов. Он входит в Союз строителей России. Несмотря ни на какие трудности, здесь не только регулярно выплачивается зарплата, но и оказывается материальная поддержка работникам, а также школам, детским садам, больницам города. На заводе активно действует профсоюзная организация, ведется спортивная работа, уделяется большое внимание детям работников предприятия, и что очень важно, ветеранам и пенсионерам. Ведь именно они – связующее звено между прошлым и будущим завода, хранители традиций и опыта.

В память о Василии Васильевиче в 2020 г. в Рязанском политехническом институте, почетным выпускником которого он был, открыта именная аудитория. Студенты знакомятся с биографией своего земляка, историей предприятия, на котором он трудился. Некоторые по окончании института приходят работать на завод.

А Василий Васильевич продолжает встречать работников и гостей РКЗ уже с фотографии. Он как бы напоминает людям, идущим на работу, что надо быть постоянно в поиске, не стоять на месте, искать свой путь. Многие помнят, как Василий Васильевич говорил, что если завтра на заводе будет то же, что и сегодня, то скучно станет работать. Когда приходишь и видишь какое-то обновление, пусть и небольшое, на душе теплеет. Так интереснее жить!



<https://ryazanbrick.ru/>

УДК 692.23

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-807-10-55-61>

С.В. ФЕДОСОВ¹, д-р техн. наук, академик РААСН (fedosov-academic53@mail.ru);
 А.В. МАРКЕЛОВ², канд. техн. наук (aleksandr203.37@mail.ru);
 А.А. ЛАПИДУС¹, д-р техн. наук (lapidus58@mail.ru),
 Д.В. ТОПЧИЙ¹, д-р техн. наук (topchiyDV@mgsu.ru)

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

² Ярославский государственный технический университет (150023, г. Ярославль, Московский пр-т, 88)

Строительные кровельные диффузионные мембраны: виды и характеристики, направление научных изысканий

В технологических задачах строительства часто возникают проблемы создания покрытий, защищающих конструкции зданий и сооружений от ветра, влаги и пыли, а также обеспечивающих их дополнительную герметизацию. Одним из способов решения данной проблемы является использование паропроницаемых диффузионных мембран при строительстве многослойных отапливаемых кровель. Зарубежной и отечественной промышленностью представлено большое разнообразие псевдодиффузионных и диффузионных кровельных материалов с различными эксплуатационными теплофизическими свойствами. К основным теплотехническим характеристикам вентилируемых каркасных стен и утепленной кровли относятся: теплопроводность, воздухопроницаемость, паропроницаемость, устойчивость к деформациям, механическая прочность. Кроме того, обязательным условием эффективного применения таких конструкций является сочетаемость конструктивных элементов и качество монтажных работ. В связи с этим возникает необходимость в проведении ряда теоретических и экспериментальных исследований с целью разработки научно обоснованных методик и рекомендаций при возведении вентилируемых фасадов и утепленных чердачных помещений. Основными задачами исследований в этом направлении являются: применение и влияние различных диффузионных материалов в разных климатических условиях на экономию энергии; перспективы использования диффузионных мембран в качестве газоразделительных систем, поддерживающих микроклимат в помещениях; разработка методик по организации строительства многослойных вентилируемых ограждающих конструкций зданий и утепленных чердачных помещений.

Ключевые слова: вентилируемые фасады, мансарда, перфорированные пленки, пористые волокнистые материалы, диффузионные мембраны, супердиффузионные мембраны.

Для цитирования: Федосов С.В., Маркелов А.В., Лapidус А.А., Топчий Д.В. Строительные кровельные диффузионные мембраны: виды и характеристики, направление научных изысканий // *Строительные материалы*. 2022. № 10. С. 55–61.

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-807-10-55-61>

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

A.V. MARKELOV², Candidate of Sciences (Engineering) (aleksandr203.37@mail.ru);

A.A. LAPIDUS¹, Doctor of Sciences (Engineering) (lapidus58@mail.ru),

D.V. TOPCHIY¹, Doctor of Sciences (Engineering) (TopchiyDV@mgsu.ru)

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

² Yaroslavl State Technical University (88, Moskovsky Avenue, Yaroslavl, 150023, Russian Federation)

Construction Roofing Diffusion Membranes: Types and Characteristics, Direction of Scientific Research

In the technological tasks of construction, there are often problems of creating coatings that protect the structures of buildings and structures from wind, moisture and dust, as well as providing them with additional sealing. One of the ways to solve this problem is the use of vapor-permeable diffusion membranes in the construction of multilayer heated roofs. Foreign and domestic industry produces a wide variety of pseudo-diffusion and diffusion roofing materials with various operational thermophysical properties. The main thermal technical characteristics of ventilated frame walls and insulated roofs are: thermal conductivity, air permeability, vapor permeability, resistance to deformation, mechanical strength. In addition, the mandatory conditions for the effective use of such structures is the compatibility of structural elements and the quality of installation work. In this regard, there is a need to conduct a number of theoretical and experimental studies in order to develop scientifically sound methods and recommendations for the construction of ventilated facades and insulated attic rooms. The main objectives of research in this direction are: the study of the use of various diffusion materials in different climatic conditions to save energy; prospects for the use of diffusion membranes as gas separation systems that support indoor microclimate; development of methods for organizing the construction of multilayer ventilated walls and insulated attic rooms.

Keywords: ventilated facades, attic, perforated films, porous fibrous materials, diffusion membranes, super diffusion membranes.

For citation: Fedosov S.V., Markelov A.V., Lapidus A.A., Topchiy D.V. Construction roofing diffusion membranes: types and characteristics, direction of scientific research. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2022. No. 10, pp. 55–61. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-807-10-55-61>

Одним из активно развивающихся направлений развития строительства является возведение жилых и промышленных каркасных зданий и сооружений с вентилируемыми фасадами, а также устройство мансард вместо холодных чердачных помещений одно-

временно с дополнительной теплоизоляцией наружных ограждающих конструкций зданий, что позволяет существенно снизить потери теплоты через конструкцию кровли здания, следовательно, и затраты на отопление [1].

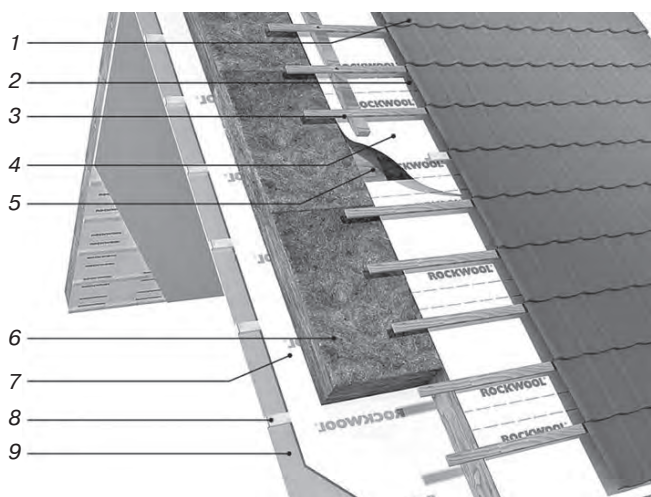


Рис. 1. Конструкция утепленной кровли над мансардой [3]: 1 – кровельное покрытие; 2 – вентилируемый зазор; 3 – обрешетка и контробрешетка; 4 – диффузионная мембрана; 5 – стропила; 6 – минеральный утеплитель; 7 – пароизоляция; 8 – обрешетка; 9 – внутренняя обшивка

Fig. 1. Construction of the insulated roof over the attic [3]: 1 – roofing; 2 – ventilated gap; 3 – crate and counter-crate; 4 – diffusion membrane; 5 – rafters; 6 – mineral insulation; 7 – vapor barrier; 8 – crate; 9 – internal cladding

Мансарда – это тип архитектурного элемента здания, получивший свое название в честь французского зодчего Франсуа Мансара, который одним из первых предложил использовать чердачные помещения в качестве жилых комнат [2].

Стены каркасных сооружений и кровля являются комплексной системой, состоящей из отдельных элементов, от эффективного подбора которых зависят теплотехнические и эксплуатационные характеристики здания в целом. Выбор и совмещение таких элементов является сложной задачей, решение которой требует наличия определенной информации о характеристиках теплоизоляционных материалов, их совместимости с другими функциональными элементами каркасной и кровельной систем [3–6]. На рис. 1 показан вариант конструкции утепленной кровли мансарды.

Все указанные элементы в своей взаимосвязи должны составлять надежный инженерный комплекс, устойчивый к неблагоприятным воздействиям атмосферы и обеспечивающий необходимые эксплуатационные параметры микроклимата в помещениях.

Теплотехнические характеристики каркасных стен и кровли зависят от теплопроводности, воздухопроницаемости, паропроницаемости, устойчивости к деформациям, взаимного расположения и сочетаемости конструктивных элементов, а также качества монтажных работ.

Одним из способов реализации указанных характеристик является применение так называемых паропроницаемых мембран, которые еще называют диффузионными, дышащими, паропроводящими и т. д. [3–6].

Широкому применению таких материалов способствовали следующие достоинства:

- эластичность и возможность укладки на поверхности сложных форм;

- устойчивость к воздействию химических и агрессивных веществ, влаги, ультрафиолетового (УФ) и радиоактивного излучений;
- пожарная безопасность;
- простота, технологичность и высокая скорость монтажа;
- возможность монтажа при отрицательной температуре (до -20°C);
- материал не требует специального обслуживания;
- высокий срок службы изделия.

Назначение диффузионных мембран

Через ограждающие конструкции зданий, покрытых фасадными плитами, сайдингом, доской, кровельными материалами, под воздействием ветрового давления, силы тяжести и капиллярного подсоса проникает вода. Это явление оказывает отрицательное воздействие на эксплуатационные характеристики теплоизоляционных материалов на основе минеральных волокон. Даже при незначительном увлажнении на 1–2% теплопроводность минеральных плит возрастает на 20–30%, что приводит к потерям тепла и увеличению затрат на поддержание комфортного микроклимата в доме [5].

Как видно из рис. 1, при строительстве мансард необходимо использовать два вида пленки. Пароизоляционная пленка устанавливается с внутренней стороны утеплителя и предназначена для ограждения теплоизоляции и конструкций кровли от прямого попадания водяного пара из помещений.

С внешней стороны утеплителя укладывается материал, который позволяет выпускать пар из минеральной плиты в атмосферу, а также выполняет функции гидро- и ветрозащиты от конденсационной и иной влаги. По своему функциональному назначению этот материал часто называют паропроницаемой пленкой, к тому же первые подобные материалы изготавливали из перфорированного полиэтилена [4]. По сути физического процесса получило распространение название «диффузионная мембрана». Термин «мембрана» латинского происхождения и переводится буквально как кожица или перепонка. Этот термин пришел из биологии, где мембраны ограничивают внутренние структуры клеток от окружающей среды. Высокая избирательность и эффективность трансмембранного массопереноса в биологических мембранах привлекли внимание ученых. За годы исследований были созданы искусственные полупроницаемые материалы из полимеров, керамики, металлов и др., которые применяются для разделения жидкостей и газов на компоненты.

Кровля и внешние ограждающие конструкции стен являются первым уровнем, а диффузионные мембраны вторым уровнем защиты каркасных стен и мансард от воздействия ветра и влаги.

Мембраны способны отводить пар из минерального утеплителя, что обеспечивает сохранение теплоизоляционных свойств на весь срок эксплуатации.

Кроме того, происходит предотвращение появления колонии грибов и бактерий на деревянных конструкциях и коррозии металлических изделий.

Виды и характеристики диффузионных мембран

К основным эксплуатационным свойствам диффузионных мембран относятся: поверхностная плотность, механическая прочность; паропроницаемость, воздухопроницаемость; водонепроницаемость, УФ-стабильность, долговечность.

В настоящее время используется четыре основных видов строительных мембран в зависимости от эксплуатационных свойств и технологии изготовления [4]:

- перфорированные;
- пористые волокнистые однослойные;
- пленочные двухслойные;
- трехслойные супердиффузионные.

Перфорированные мембраны представляют собой армированные пленки или комбинированные ткани производства России и многих других стран.

Волокнистые мембраны изготавливают на основе полипропиленового волокна в России, Дании, Германии, Чехии, Польше, Корее, Китае и др. [4].

Первые два вида строительных мембран имеют низкие показатели по плотности потока водяного пара, от $2 \cdot 10^{-7}$ до $34 \cdot 10^{-7}$ кг/(м²·с), но высокие по ветрогидрозащите и механической прочности, поэтому их часто используют при строительстве неотапливаемых чердачных помещений [4, 6, 7]. Такие мембраны принято называть псевдодиффузионными [4].

К диффузионным мембранам относятся материалы с плотностью потока водяного пара в сутки от $43 \cdot 10^{-7}$ до $578 \cdot 10^{-7}$ кг/(м²·с) и с гидроизоляцией, способной выдержать напор до 5 м водяного столба (0,05 МПа). Принцип работы таких мембран показан на рис. 2.

Пленочные мембраны получают путем введения в матрицу термопластов несовместимых полимеров или неорганических микрочастиц. При этом внутри сплошной пленки образуются границы раздела фаз. При последующей механической обработке межфазные границы с размерами в несколько десятков нанометров избирательно абсорбируют молекулы воды, имеющие высокую полярность [4, 7]. Недостатком является низкая механическая прочность.

Наиболее эффективными являются супердиффузионные трехслойные мембраны. Верхний и нижний слои представляют собой полотна нетканого полипропилена, который играет роль каркаса, а средний слой – полипропиленовую пленку, которая обеспечивает диффузию водяного пара, но препятствует прохождению воды (рис. 3).

Такая мембрана объединяет в себе достоинства перфорированных, пористых и пленочных двухслойных мембран [4, 7].

Через диффузионную мембрану с высокой скоростью транспортируются отдельные молекулы газо-

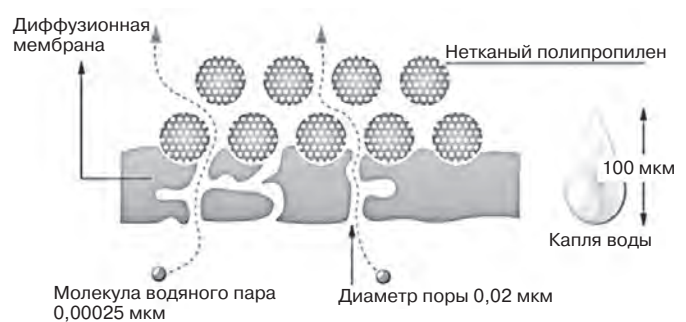


Рис. 2. Схема массопереноса через диффузионную мембрану
Fig. 2. Scheme of mass transfer through a diffusion membrane



Рис. 3. Микрофотография супердиффузионной трехслойной мембраны [4]: 1 – каркас мембраны; 2 – диффузионная полипропиленовая пленка

Fig. 3. Micrograph of a superdiffusion three-layer membrane [4]: 1 – membrane frame; 2 – diffusion polypropylene film

образной воды (пара), имеющие размеры на уровне 0,25 нм. Движущей силой диффузии молекул воды является разность влагосодержаний по обеим сторонам пленки. В то же время другие молекулы воздуха сорбируются в меньшей степени, что обеспечивает их меньшую проницаемость при том же перепаде парциального давления.

Жидкая вода, состоящая из агрегированных молекул, связанных между собой водородными связями, так называемых ассоциатов размером 0,1 мкм и более, не способна проникать в межфазную систему многокомпонентного полимера. Однако приложение большого внешнего давления (0,4–0,5 МПа) открывает поры и позволяет жидкой, связанной воде проникать через такую диффузионную мембрану [4].

На рынке представлено большое разнообразие диффузионных мембран как отечественного, так и импортного производства. К сожалению, производители диффузионных кровельных материалов, как правило, не придерживаются единого измерения паропроницаемости, из-за чего проблематично сравнивать материалы разных производителей и выполнять инженерные расчеты при проектировании строительных объектов. В соответствии с ГОСТ 25898–2012 [8] и ГОСТ 32318–2012 [9] показателями паропроницаемо-

Таблица 1
Table 1

Эксплуатационные показатели диффузионных мембран
Operational performance of diffusion membranes

Наименование типа мембран	Изоспан-АМ	Мембрана для кровель	Мембрана супердиффузионная для кровель	Ондулис SA115
Производитель	Гекса	Rockwool	ТехноНиколь	Ондулин
Паропроницаемость, (по паспорту производителя), г/(м ² ·сут), не менее	1550	850	1000	1100
Плотность потока водяного пара $g_p \cdot 10^7$, кг/(м ² ·с) [8, 9]	179	98	115	127
Относительная паропроницаемость $\omega_p \cdot 10^7$, кг/(м ² ·с·Па) [8, 9]	0,084	0,046	0,054	0,06
Коэффициент паропроницаемости $\mu_p \cdot 10^{14}$, кг/(м·с·Па) [8, 9]	1550	850	999	1110
Сопротивление паропроницанию $R_p \cdot 10^{-7}$, м ² ·с·Па/кг [8, 9]	11,9	21,7	18,5	16,6
Коэффициент сопротивления паропроницанию δ_p [8, 9]	11,2	20,4	17,3	15,6
Эквивалентная толщина слоя воздуха по диффузии пара S_d , м [8, 9]	0,02	0,04	0,03	0,028
Механическая прочность, сила растяжения в продольном/поперечном направлении полоски материала шириной 5 см F_{long}/F_{trans} , Н, не менее	125/95	110/90	230/180	190/100
Водопроницаемость p_w , Па (м.в.с.), не менее	9806 (1)	19613 (2)	49034 (5)	9806 (1)
УФ-стабильность $T_{уф}$, мес	3–4	3–4	4	1
Цена С, р./п.м	90	30	120	60

сти являются: плотность потока водяного пара g_p , кг/(м²·с); относительная паропроницаемость ω_p , кг/(м²·с·Па); паропроницаемость (коэффициент паропроницания) μ_p , кг/(м·с·Па); сопротивление паропроницанию R_p , м²·с·Па/кг; коэффициент сопротивления паропроницанию δ_p ; эквивалентная толщина слоя воздуха по диффузии пара S_d .

Относительная паропроницаемость определяется по выражению [8, 9]:

$$\omega_p = \frac{g_p}{p_1 - p_2}, \quad (1)$$

где p_1 и p_2 – парциальные давления паров воды с двух сторон диффузионного материала.

Заметим, что по размерности и физическому смыслу величина ω_p может являться своеобразным аналогом коэффициента массоотдачи β для случая, когда движущая сила внешней массоотдачи определяется разностью парциальных давлений водяного пара при температуре насыщения пара в воздушной среде.

Паропроницаемость (коэффициент паропроницания) определяется по выражению [8, 9]:

$$\mu_p = d \cdot \omega_p = d/R_p, \quad (2)$$

где d – толщина материала, м.

Сопротивление паропроницанию определяется по выражению [8, 9]:

$$R_p = 1/\omega_p. \quad (3)$$

Коэффициент сопротивления паропроницанию определяется по выражению [8, 9]:

$$\delta_p = \frac{\lambda_a}{\mu_p}, \quad (4)$$

где λ_a – паропроницаемость воздуха, $\lambda_a = 1,73628 \cdot 10^{-10}$ кг/(м·с·Па) [9].

Эквивалентная толщина слоя воздуха по диффузии пара определяется по выражению [8, 9]:

$$S_d = \delta_p \cdot d. \quad (5)$$

В табл. 1 приведены эксплуатационные показатели нескольких основных видов диффузионных мембран [3, 4, 6, 7].

Как видно из данных табл. 1, эксплуатационные характеристики кровельных мембран весьма разнообразны и выбор того или иного материала часто происходит от предпочтений подрядчика строительных работ с учетом их стоимости.

Направление основного материала исследования

Аналитический обзор научной и справочной литературы [1, 3–7] по рассматриваемой проблеме позволяет сделать выводы о тенденциях и направлениях развития каркасных сооружений и устройства

Таблица 2
Table 2Теплофизические свойства материалов многослойной утепленной кровли
Thermophysical properties of multilayer insulated roof materials

Материал	Размеры (толщина) $\delta \cdot 10^3$, м	Плотность ρ , кг/м ³	Теплопроводность λ , Вт/(м·К)	Коэффициент паропроницаемости $\mu_p \cdot 10^{12}$, кг/(м·с·Па)	Теплоемкость c_p , Дж/(кг·К)
Кровля керамическая	10–15	1700–2300	0,8–1,16	–	840–880
Кровля битумная	3–5	1000–1400	0,17–0,27	–	1680
Кровля профилированный стальной лист	0,5–1	7870	70–80	–	450
Минеральный утеплитель	50–200	50–200	0,048–0,07	83–193	840–920
Стропило (сосна)	150–200	500*	0,09–0,18	16–88	2300
Обрешетка (сосна)	25	500*	0,09–0,18	16–88	2300
Контробрешетка (сосна)	40–50	500*	0,09–0,18	16–88	2300
Воздушный зазор	40–75	1293**	0,0244**	173	1005**
Пароизоляция (полиэтилен)	0,08–0,1	1500	0,3–0,48	5,5	1900–2300
Гипсокартон	10–13	800	0,18–0,2	20	950
Диффузионная мембрана (полипропилен)	0,08–0,15	75–135*	0,16–0,22	5–50	1930

Примечания: * Средняя плотность сосны при влажности 15% и возрасте 60–80 лет [10].
** Теплофизические параметры воздуха при температуре $t=273,15$ К и давлении $p=0,1$ МПа [11].

мансард на современном уровне развития науки и технологии.

Мансарда представляет собой сложную инженерную конструкцию (рис. 4) с непростыми теплотехническими и аэродинамическими задачами по устройству кровли. Не решенной ранее частью проблемы эффективного устройства мансард является исследование влияния различных диффузионных материалов в разных климатических условиях на экономию энергии.

Как видно из рис. 4, вентилируемая утепленная кровля состоит из нескольких слоев материалов с различными теплофизическими свойствами (табл. 2).

Другой важной проблемой при строительстве каркасных жилых зданий и мансард является поддержание допустимой концентрации углекислого газа в помещении. Анализ литературы [4, 14, 15] показал, что исследования в данной области носят фрагментарный характер и обычно содержат сведения о паропроницаемости и гидроизоляционных свойствах. В связи с этим необходимо провести исследования на газопроницаемость и решить ряд теоретических и экспериментальных задач:

- исследовать возможности и перспективы использования диффузионных мембран в качестве газоразделительных систем, обеспечивающих очистку воздуха в помещениях;
- разработать ряд практических готовых технических решений по эффективному решению газоразделительных задач;
- разработать методику, адекватно определяющую покомпонентный состав воздуха в жилых и производственных помещениях с учетом использования

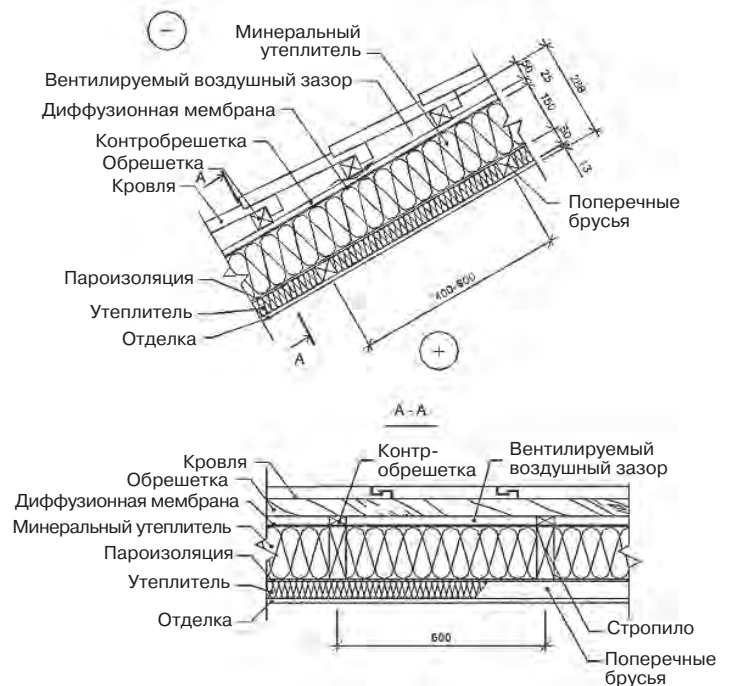


Рис. 4. Конструкция утепленной кровли
Fig. 4. The construction of the insulated roof

диффузионных пленок совместно со штатными вентиляционными системами;

- определить влияние абсорбции паров воды диффузионными материалами на микроклимат помещений.

К самой распространенной проблеме использования строительных кровельных мембран относится

нанесение механических повреждений при монтаже. Поэтому третьей проблемой исследований является разработка научно обоснованных рекомендаций по организации строительства каркасных стен и обогреваемых мансард в целом. Кроме того, данные исследования могут быть использованы службами судебной строительно-технической экспертизы для определения причин некачественного строительства вентилируемых мембранных кровель и стен [15, 16]. При этом нормативно не закреплены методики, позволяющие определять влияние дефектов из-за неправильной организации строительства на надежность и долговечность конструкций. Данные методики находятся на стадии научных разработок [17]. Анализ зарубежной литературы показал, что оценка влияния дефектов также является актуальной задачей [17–25].

Заключение

Проведенный анализ литературных источников говорит об актуальности поставленной цели исследования.

Сложность теоретического решения научных задач в этом направлении заключается и в том, что многие теплофизические параметры материалов зависят от температуры, влажности, давления. Так, например, при возрастании температуры от 273 до 363 К плотность водяного пара увеличивается в 100 раз, теплопроводность почти в два раза [11].

Дальнейшим направлением исследования будет создание методик для практического применения диффузионных мембран на основе разработанных математических моделей по тепломассопереносу через строительные ограждения [12] и полупроницаемые перегородки [13, 26].

Авторы надеются на заинтересованность производителей диффузионных кровельных материалов, а также строительных и экспертных организаций в данном исследовании и готовы принять любую поддержку с их стороны.

Список литературы / References

1. Матвеев Е.П. Реконструкция жилых зданий с надстройкой этажей из объемных блоков // *Жилищное строительство*. 1999. № 8. С. 12–13.
1. Matveev E.P. Reconstruction of residential buildings with superstructure of floors from volumetric blocks. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 1999. No. 8, pp. 12–13. (In Russian).
2. Jean-Pierre Babelon et Claude Mignot. François Mansart. Le génie de l'architecture. Encyclopaedia Universalis, 2017. p. 18. URL: <https://books.google.nl/books?id=Jm8qDwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=ru#v=onepage&q&f=false>
3. Овчинникова Е. Подкровельная пленка: ее характеристики, виды пленки // *Идеи вашего дома*. Электронный ресурс. Режим доступа: <https://www.ivd.ru/stroitelstvo-i-remont/krovla/dysi-krysa-dysi-9334>
3. Ovchinnikova E. Underlay film: its characteristics, types of film. *Idey vashego doma*. <https://www.ivd.ru/stroitelstvo-i-remont/krovla/dysi-krysa-dysi-9334> (In Russian)
4. Горбунов Г.И., Жуков А.Д. Научные основы формирования структуры и свойств строительных материалов. М.: НИУ МГСУ, 2016. 555 с.
4. Gorbunov G.I., Zhukov A.D. Nauchnye osnovy formirovaniya struktury i svoystv stroitel'nykh materialov [Scientific foundations of the formation of the structure and properties of building materials]. Moscow: NIU MGSU. 2016. 555 p.
5. Zhukov A.D., Bobrova Ye.Yu., Smirnova T.V. Evaluation of durability of mineral wool products. *Advanced Materials, Structures and Mechanical Engineering*. 2014. Vol. 1077, pp. 109–112. URL: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.1077.109>
6. Абелешев В.И. Исследование некоторых теплотехнических аспектов эффективного устройства мансард // *Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит*. 2012. № 10 (104). С. 57–63.
6. Abeleshev V.I. Investigation of some thermophysical aspects of the effective arrangement of attics. *Energoberezhenie. Energetika. Energoaudit*. 2012. No. 10 (104), pp. 57–63. (In Russian).
7. Денисова Ю.В., Тарасенко В.Н., Лесовик Р.В. Диффузионные мембраны в современном строительстве // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. 2016. № 8. С. 42–46.
7. Denisov Yu.V., Tarasenko V.N., Lesovik R.V. Diffusion membranes in modern construction. *Vestnik BSTU named after V.G. Shukhov*. 2016. No. 8, pp. 42–46. (In Russian)
8. ГОСТ 25898–2012. Материалы и изделия строительные. Методы определения паропроницаемости и сопротивления паропроницанию. М.: Стандартинформ, 2014. 15 с.
8. GOST 25898–2012. Building materials and products. Methods for determining vapor permeability and vapor permeability resistance. Moscow: Standartinform. 2014. 15 p. (In Russian).
9. ГОСТ 32318–2012. Материалы кровельные и гидроизоляционные гибкие битумно-содержащие и полимерные (термопластичные или эластомерные). Метод определения паропроницаемости. М.: Стандартинформ, 2014. 12 с.
9. GOST 32318–2012 Flexible roofing and waterproofing materials containing bitumen and polymer (thermoplastic or elastomeric). Method for determining vapor permeability. Moscow: Standartinform. 2014. 12 p. (In Russian).
10. Боровиков А.М., Уголев Б.Н. Справочник по древесине / Под ред. Б.Н. Уголева. М.: Лесная промышленность, 1989. 296 с.

10. Borovikov A.M., Ugolev B.N. Spravochnik po drevesine: Spravochnik [Reference book on wood: Reference book] Moscow: Lesnaya promyshlennost'. 1989. 296 p.
11. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. М.: Наука, 1972. 720 с.
11. Vargaftik N.B. Spravochnik po teplofizicheskim svoistvam gazov i zhidkostei [Handbook of thermophysical properties of gases and liquids]. Moscow: Nauka. 1972. 720 p.
12. Федосов С., Мизонов В. Теоретические основы математического моделирования механических и тепловых процессов в производстве строительных материалов: Монография. Palmarium Academic Publishing, 2020. 256 с.
12. Fedosov S.V. Teoreticheskiye osnovy matematicheskogo modelirovaniya mekhanicheskikh i teplovykh protsessov v proizvodstve stroitelnykh materialov [Theoretical foundations of mathematical modeling of mechanical and thermal processes in the production of building materials] / S.V. Fedosov, Mizonov V.E. Palmarium Academic Publishing. 2020. 256 p.
13. Fedosov S.V., Osadchy Y.P., Markelov A.V. Modeling of ultrafiltration process taking into account the formation of sediment on membrane surface. *Membranes and membrane technologies*. 2020. Vol. 2. No. 3, pp. 177–189. DOI: 10.1134/S251775162003004X
14. Шагинян А.С., Окунев А.Ю. Газопроницаемость трехслойных диффузионных мембран Jutavek 115 и Delta-Vent s при высоких перепадах давления // *Academia. Архитектура и строительство*. 2013. № 3. С. 104–107.
14. Shaginyan A.S., Okunev A.Yu. Gas permeability of three-layer diffusion membranes Jutavek 115 and Delta-Vent S at high pressure drops. *Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo*. 2013. No. 3, pp. 104–107. (In Russian)
15. Olesen B.W. Indoor environmental input parameters for the design and assessment of energy performance of buildings. *REHVA Journal*. 2017. No. 6, pp. 17–23.
16. Севостьянова И.М., Субботина Е.К., Иванова Е.Р., Амзаракова П.А., Лукина Л.А. Анализ использования мембраны из поливинилхлорида в строительстве // *Московский экономический журнал*. 2019. № 7. С. 88–96.
16. Sevost'yanova I.M., Subbotina E.K., Ivanova E.R., Amzarakova P.A., Lukina L.A. Analysis of the use of polyvinyl chloride membrane in construction. *Moskovskiy ekonomicheskij zhurnal*. 2019. No. 7, pp. 88–96. (In Russian).
17. Лapidus А.А., Макаров А.Н., Волков Р.В. Применение риск-ориентированного подхода при выполнении функций строительного контроля технического заказчика // *Вестник МГСУ*. 2022. Т. 17. № 2. С. 232–241.
17. Lapidus A.A., Makarov A.N., Volkov R.V. Application of a risk-based approach when performing the functions of construction control of a technical customer. *Vestnik MGSU*. 2022. Vol. 17. No. 2, pp. 232–241. (In Russian).
18. Hütthwohl P., Lu R., Brilakis I. Multi-classifier for reinforced concrete bridge defects. *Automation in Construction*. 2019. Vol. 105. 102824. DOI: 10.1016/j.autcon.2019.04.019
19. Ma G., Wu M., Wu Z., Yang W. Single-shot multibox detector- and building information modeling-based quality inspection model for construction projects. *Journal of Building Engineering*. 2021. Vol. 38. 102216. DOI 10.1016/j.jobe.2021.102216
20. Wang S., Fu J., Zhang C., Yang J. Efficient surface finish defect detection using reduced rank spline smoothers and probabilistic classifiers. *Shield Tunnel Engineering From Theory to Practice*. 2021, pp. 581–612. DOI: 10.1016/B978-0-12-823992-6.00012-6
21. Baiburin A. Kh. Errors, defects and safety control at construction stage. *Procedia Engineering*. 2017. Vol. 206, pp. 807–813. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.10.555>
22. Yu T., Man Q., Wang Y., Shen G.Q., Hong J., Zhang J., Zhong J. Evaluating different stakeholder impacts on the occurrence of quality defects in offsite construction projects: A Bayesian network-based model. *Journal of Cleaner Production*. 2019. Vol. 241. 118390. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118390>
23. Qin H., Stewart M.G. Construction defects and wind fragility assessment for metal roof failure: A Bayesian approach. *Reliability Engineering & System Safety*. 2020. Vol. 197. 106777. <https://doi.org/10.1016/j.res.2019.106777>
24. London K., Pablo Z., Gu N. Explanatory defect causation model linking digital innovation, human error and quality improvement in residential construction. *Automation in Construction*. 2021. Vol. 123. 103505. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103505>
25. Вильданов Р.А., Кузьмина Т.К. Актуальность разработки методов осуществления функций государственного строительного надзора в жилищном строительстве при риск-ориентированном подходе // *Строительное производство*. 2020. № 2. С. 144–149. DOI: 10.54950/26585340_2020_2_144
25. Vildanov R.A., Kuzmina T.K. Relevance of the development of methods for the implementation of the functions of state construction supervision in housing construction with a risk-oriented approach. *Stroitel'noe proizvodstvo*. 2020. No. 2, pp. 144–149. (In Russian). DOI: 10.54950/26585340_2020_2_144.
26. Kagramanov G., Gurkin V., Farnosova E. Physical and mechanical properties of hollow fiber membranes and technological parameters of the gas separation process. *Membranes*. 2021. Vol. 11. No. 8, pp. 583–593. <https://doi.org/10.3390/membranes11080583>

П.Г. ЕРЕМЕЕВ, д-р техн. наук (dtsniisk@rambler.ru)

ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство» (109428, г. Москва, ул. 2-я Институтская, 6)

Висячие конструкции

Рассматриваются различные конструктивные решения современных висячих систем. Определена область применения висячих систем. Отражены основные вопросы конструктивных и статических схем, формы плана и геометрии поверхности покрытия, стабилизации висячих покрытий, варианты передачи усилий распора с пролетной конструкции на опорный контур.

Представлены конструкции и материалы несущих растянутых элементов. Приведены характеристики анкерных устройств, соединительных элементов, применяемых в висячих конструкциях. Особое внимание уделено канатам «моностредам». Дано обоснование их преимуществ по сравнению с традиционными канатами. Представлены проблемы их антикоррозионной защиты, анкерных устройств, предварительного напряжения.

Ключевые слова: висячие покрытия, конструктивные решения, канаты, растянутые стержни, анкерные устройства.

Для цитирования: Еремеев П.Г. Висячие конструкции // *Строительные материалы*. 2022. № 10. С. 62–67.

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-807-10-62-67>

P.G. EREMEEV, Doctor of Sciences (Engineering) (dtsniisk@rambler.ru)

Research Institute of Building Constructions (TSNIISK) named after V.A. Koucherenko. Research Center of Construction JSC (6, 2nd Institutskaya Street, Moscow, 109428, Russian Federation)

Hanging Structures

Various design solutions of modern hanging systems are considered. The scope of application of hanging systems is determined. The main issues of structural and static schemes, the shape of the plan and geometry of the coating surface, stabilization of hanging coatings, options for transferring the strut forces from the span structure to the support contour are reflected. The designs and materials of load-bearing stretched elements are presented. The characteristics of anchor devices, connecting elements used in hanging structures are given. Special attention is paid to the ropes – “monostrends”. The justification of their advantages in comparison with traditional ropes is given. The problems of their anticorrosive protection, anchor devices, and pre-stressing are presented.

Keywords: hangings coverings, structural solutions, ropes, stretched rods, anchor devices.

For citation: Eremeev P.G. Hanging structures. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2022. No. 10, pp. 62–67. (In Russian).

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-807-10-62-67>

Основными несущими элементами висячих (вантовых) конструкций являются гибкие или жесткие нити, работающие на растяжение. Висячие системы для покрытий сооружений были предложены выдающимся русским инженером и ученым В.Г. Шуховым, который в 1894 г. возвел в Москве висячее покрытие над круглым зданием цеха завода Бари. В Нижнем Новгороде в 1896 г. на Всероссийской выставке им были запроектированы и построены четыре здания с висячими конструкциями, выполненными из тонких перекрещивающихся стальных стержней и полос. Простое в монтаже покрытие было возведено всего за десять дней небольшим числом рабочих.

Такие системы эффективны для применения в покрытиях зданий и сооружений различного назначения. Область применения висячих систем:

- покрытия стадионов, спортивных манежей, ледовых арен, теннисных кортов и т. п.;
- покрытия универсальных комплексов, магазинов, рынков, выставочных залов и т. п.;
- козырьки над трибунами стадионов;
- покрытия ангаров, стоянок для крупногабаритной техники, различных инженерных сооружений (резервуаров, отстойников, шламбассейнов, стусителей).

Современные висячие конструкции рационально использовать в труднодоступных и северных райо-

нах, районах с повышенной сейсмичностью за счет относительно небольшого веса, количества элементов, простоты монтажа. Важным фактором развития висячих конструкций стала возрастающая потребность в сооружениях с большим внутренним пространством, свободным от промежуточных опор, для проведения массовых собраний, спортивных и культурных мероприятий и т. п.

Такие системы отличаются конструктивной и статической схемами, формой плана и геометрией поверхности, пролетами, материалами, способами изготовления и монтажа. Висячие конструкции по сравнению с традиционными решениями (фермы, балки, рамы, арки и т. д.) обладают рядом достоинств:

- экономия материалов вследствие работы на растяжение, без опасности потери устойчивости и возможности полного использования несущей способности высокопрочных сталей;
- снижение веса покрытия, что отражается на стоимости нижележащих конструкций, минимизации транспортных расходов;
- повышенная надежность конструкций, так как они практически нечувствительны к перегрузкам, осадкам опор и т. п.;
- сокращение трудоемкости и стоимости возведения за счет снижения собственной массы системы,

применения элементов заводского изготовления; простота монтажа;

- транспортабельность конструкций, так как ваны сворачивают в бухты;

- возможность перекрытия различных пролетов, причем экономическая эффективность применения таких конструкций с увеличением пролета возрастает;

- неограниченные возможности создания разнообразных по форме и геометрии поверхностей покрытий, реального осуществления выразительных архитектурных замыслов.

При проектировании висячих систем особое внимание необходимо уделять решению следующих вопросов:

- нахождение оптимальной геометрии поверхности покрытия;

- стабилизация системы при неравномерных нагрузках, предотвращение выхлопа покрытия под действием ветрового отсоса, обеспечение аэродинамической устойчивости;

- рациональное восприятие значительных распор с пролетной конструкции.

Ключевые элементы висячего покрытия – растянутые и растянуто-изогнутые пролетные элементы и опорные конструкции, которые воспринимают усилия с пролетной части покрытия. Поперечная нагрузка на элементы покрытия обычно передается в узлах через кровельный настил или прогоны.

Висячие конструкции отличаются [1, 2]: конструктивными схемами; формой плана и геометрией поверхности покрытия; методами стабилизации; способами передачи усилий распора с пролетной конструкции; применяемыми материалами.

По **конструктивной схеме** следует выделить: одно- и двухслойные системы из гибких вант, жесткие ванты (висячие фермы и балки), тросовые сетки, системы типа велосипедного колеса [3], комбинированные системы [4]. Последние включают структурно объединенные элементы, как растянутые так и сжатоизогнутые. В них гибкие канаты и жесткие конструктивные элементы работают совместно, что способствует их облегчению, сокращению расчетной длины сжатоизогнутых элементов благодаря введению дополнительных стержней, оптимизации их работы на сосредоточенные и неравномерные нагрузки, рациональному использованию растянутых элементов из высокопрочного металла. По конструктивным особенностям комбинированные системы разделяются на несколько основных групп: арочно-вантовые; шпренгельные; подвесные и консольные; некоторые типы конструкций покрытий над трибунами футбольных стадионов [5]; тенсегрители-системы (Tensegrity Systems) [6]. К висячим системам относятся также мембранные конструкции из тонколистовой стали [7].

Форма сооружения в плане и геометрия поверхности покрытия. Покрытия могут иметь разнообразную форму плана, от элементарных фигур (квадрат, прямоугольник, треугольник, круг, овал и т. д.) до более

сложного комбинированного очертания. Форма плана зависит от функционального назначения здания или сооружения, но она существенно влияет на технико-экономические показатели покрытия и объекта в целом.

Геометрия поверхности покрытия может быть провисающей нулевой (цилиндрические или конические) или положительной гауссовой кривизны (сферические, эллиптические и т. п.), отрицательной гауссовой кривизны (гиперболический параболоид, седловидные, шатровые). Такие покрытия могут быть составными в виде комбинации оболочек с одинаковой или различной геометрией поверхности. Геометрия поверхности покрытия влияет на напряженно-деформированное состояние системы и соответственно на расход материалов; простоту изготовления и монтажа конструкций; аэродинамические характеристики конструкции покрытия, от которых зависят ветровые нагрузки и способы стабилизации системы; распределение снеговых нагрузок по покрытию; строительную высоту, от которой зависят расходы на отопление и вентиляцию, и площадь стенового ограждения; вопросы водоотвода, акустики; архитектурную выразительность объекта. Геометрия поверхности и форма плана покрытия должны быть взаимно согласованы, что является достаточно трудной, но принципиальной проблемой проектирования таких систем.

Стабилизация висячих покрытий, выполняемая за счет увеличения веса покрытия или предварительного напряжения конструкции, исключает потерю устойчивости (выхлоп) оболочки, уменьшает ее деформативность от неравномерных нагрузок. В ряде случаев стабилизация требуется при динамических воздействиях, в том числе ветровых. Способ стабилизации определяется технико-экономическим анализом.

Передача усилий распора с пролетной конструкции осуществляется опорным контуром. Замкнутый внутренне уравновешенный контур воспринимает распоры в уровне покрытия и на нижележащие конструкции передает в основном вертикальные усилия. В покрытиях на круглом или овальном плане замкнутый опорный контур является внецентренно сжатым (с малым эксцентриситетом) элементом, без опасности потери устойчивости. Расчет системы проводят с учетом податливости контура.

В случае разомкнутого контура усилия распора с покрытия воспринимают:

- подпорками, контрфорсами или пилонами;

- боковыми пристройками или встроенным рамным каркасом, такой способ рационален при использовании существующих конструкций без излишнего их усиления;

- внешними стойками с оттяжками или подкосами.

При проектировании учитывают, что стоимость контура может достигать более 50% общей стоимости конструкции. Опорный контур выполняют прямолинейным или криволинейным, плоским или пространственным. При проектировании стремятся к тому, чтобы он был бы безизгибным (малоизгибным) и безраспорным.

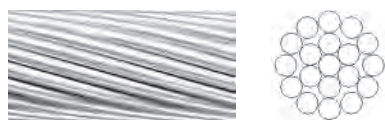


Рис. 1. Однопрядный спиральный канат
Fig. 1. Single strand spiral rope



Рис. 2. Закрытый спиральный канат
Fig. 2. Closed spiral rope

Общая устойчивость конструкции обеспечивается пролетной системой и четырьмя тангенциальными связями, устанавливаемыми по главным осям конструкции здания или сооружения. В первом случае в виде крестовых связей между колоннами, а во втором — в виде шарнирных опор по периметру контура, закрепленных в тангенциальном направлении и свободных в радиальном.

Материал несущих растянутых элементов — стальные канаты, пряди из высокопрочной проволоки, гибкие растянутые круглые стержни, висячие прокатные/сварные элементы и фермы.

Для несущих элементов висячих систем применяют канаты следующих типов:

- однопрядные спиральные канаты, состоящие из круглой проволоки (рис. 1);
- закрытые спиральные канаты (рис. 2), состоящие из одного или более внешних слоев фасонной проволоки и внутренних слоев круглой проволоки. Диапазон диаметров спиральных канатов от 20 до 160 мм;
- пучки из скрепленных между собой параллельных высокопрочных проволок. Изготавливают на строительной площадке.

Тип и параметры каната выбирают в зависимости от условий эксплуатации сооружения, конструктивных решений, величины расчетных усилий, наличия узлов сопряжений, требований по коррозионной стойкости, технологии монтажа, с учетом экономических показателей. Минимальная разрывная прочность и модуль упругости каната определяются стандартами (техническими условиями) на конкретное изделие.

Для исключения остаточных деформаций и снижения усилий предварительного напряжения канаты должны быть многократно предварительно вытянуты на натяжных стендах. Рекомендуемая величина усилий вытяжки — 1,2 максимального расчетного усилия, минимальная величина — половина разрывного усилия каната. Канат считается предварительно вытянутым, когда кривые нагрузка/удлинение для двух последовательных циклов нагружения совпадают, а его удлинение оказывается прямо пропорциональным прилагаемой нагрузке. После вытяжки, пока канат находится на стане под нагрузкой, они маркируются для установки концевых заделок.

Канаты, имеющие развитую поверхность, требуют надежной защиты от коррозии. Возможны следующие способы антикоррозионной защиты: оцинкование проволок горячим способом; лакокрасочные покрытия или смазка проволок; покрытие каната антикоррозионным слоем смазки; применение пластмассовой или стальной оболочки с нагнетанием в нее битума, цементного раствора и т. п.

В строительных конструкциях следует применять канаты полной заводской готовности комплектной поставки, которая предусматривает вытяжку каната, его разметку и разрезку, постановку стальных анкеров (концевых приспособлений). На канат наносят продольную ось для исключения кручения каната при навеске и поперечную маркировку, обеспечивающую проектное положение сжимов для крепления подвесок.

Концы канатов оснащают анкерными устройствами, равнопрочными разрывному усилию каната, для передачи усилий на опорные конструкции. Тип анкерного устройства определяют в зависимости от типа и диаметра каната; конструкции, с которой он должен соединяться; с учетом исключения усталостных явлений в результате вибрации от воздействия ветра. На одном из концов каната анкерное устройство должно обеспечивать возможность регулировки длины каната при монтаже. При необходимости эти устройства используют для предварительного натяжения канатов.

Анкер может быть выполнен в виде цилиндрической муфты с внутренней или наружной резьбой, фигурных элементов с анкерными болтами, вилкообразных анкеров с проушинами и т. п. (рис. 3). Натяжение канатов производят домкратами. Для крепления подвесок и передачи усилий на основные канаты применяют сжимы (прижимные накладки) (рис. 4). Прижимные накладки крепят друг к другу болтами с контролируемым натяжением, что совместно с разницей диаметров желоба и каната исключает его проскальзывание. Сжимы и прижимные накладки должны быть оцинкованы горячим способом толщиной до 0,15 мм. В желобах толщину слоя цинка увеличивают напылением до 1 мм. Сжимы следует проектировать таким образом, чтобы предотвратить скопление влаги в местах сопряжения с канатом.

Для уменьшения изгибных напряжений в месте выхода каната у торцов муфт, анкеров, сжимов предусматривают скругления, а продольные желоба в сжимах и прижимных накладках выполняют криволинейными. Радиус желоба должен быть не менее чем в 30 раз больше диаметра каната. Если канат расположен по оси симметрии сжима, имеет мягкий металлический сердечник или цинковое покрытие толщиной не менее 1 мм, допускается уменьшение радиуса желоба до величины в 20 раз больше диаметра каната. В этом случае снижение расчетного сопротивления каната не учитывается. Перегибы канатов из пучков параллельных проволок не рекомендуются.

Канаты в местах их пересечения закрепляют специальными хомутами, штампованными деталями или литыми элементами с пазами (рис. 5). Конструк-

ция узлов пересечения канатов должна обеспечивать их совместную работу в нормальном и тангенциальном направлениях к поверхности вантовой системы. Между канатами и деталями анкеров, отклоняющих устройств, сжимов, хомутов подвесок и других элементов для обеспечения необходимого трения между канатом и указанными устройствами и исключения проскальзывания канатов следует использовать прокладки из алюминиевых сплавов толщиной не менее 1 мм. Для исключения электрохимической коррозии контактирующие с алюминием стальные канаты и стальные детали указанных выше устройств защищают покрытиями из цинка или кадмия толщиной не менее 20 мкм.

Наряду с традиционными типами канатов широко используются канаты, основанные на принципе «монострендов» (рис. 6), которые формируют из группы параллельных индивидуально защищенных прядей, закрепленных между анкерами. Основной элемент – прядь номинальным диаметром 15,7 мм, состоящая из семи гальванизированных цинком проволок, помещается методом экструдирования в оболочку из полиэтилена высокой плотности (ПЭВП). Пустоты между проволоками и пространство до полуприлегающей оболочки заполнены микрокристаллическим нефтяным парафином. Минимальное разрывное усилие каждой пряди – 279 кН при гарантированном пределе прочности проволоки на разрыв 1860 МПа. Расчетный модуль упругости каната – $(1,95 \pm 0,1)$ МПа. Канаты «моностренды» состоят из различного количества прядей в зависимости от расчетного усилия. Типовые решения включают от 4 до 330 параллельных прядей с минимальным разрывным усилием каната в целом от 1116 до 83700 кН.

Преимущества канатов «монострендов»:

- индивидуальная установка, анкеровка и натяжение пряди;
- возможность демонтажа и замены пряди;
- высокая антикоррозионная защита, в том числе отдельно каждой пряди, и соответственно долговечность системы, высокая усталостная прочность;
- учет возможных отклонений от проекта геометрии поверхности покрытия, возникающих при изготовлении и монтаже, за счет нарезки канатов по месту;
- сокращение сроков установки и натяжения вант, упрощение монтажа и исключение необходимости применения тяжелого подъемно-транспортного оборудования за счет сборки по месту канатов из отдельных прядей небольшого диаметра.

Пряди анкеруются индивидуально при помощи цанг, пучок прядей заключают в общую наружную оболочку из полиэтилена высокой плотности с цветным наружным слоем. Сталь монопрядей защищена по всей длине от коррозии тремя барьерами (оцинковка проволоки, оболочка из полиэтилена, заполнение парафином пустот между проволоками и пространства до полуприлегающей оболочки). Их долговечность превышает 100 лет.

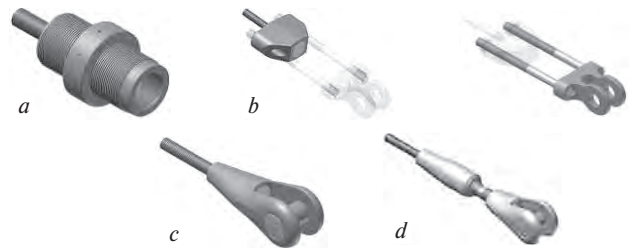


Рис. 3. Анкерные устройства: *a* – цилиндрический анкер; *b* – анкер-блок с траверсой; *c* – вилкообразный анкер; *d* – регулируемый вилкообразный анкер

Fig. 3. Anchor devices: *a* – cylindrical anchor; *b* – anchor-block with a traverse; *c* – fork-shaped anchor; *d* – adjustable fork-shaped anchor

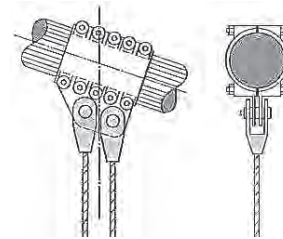


Рис. 4. Узел сопряжения основного каната с подвесками

Fig. 4. Coupling unit of the main rope with suspensions

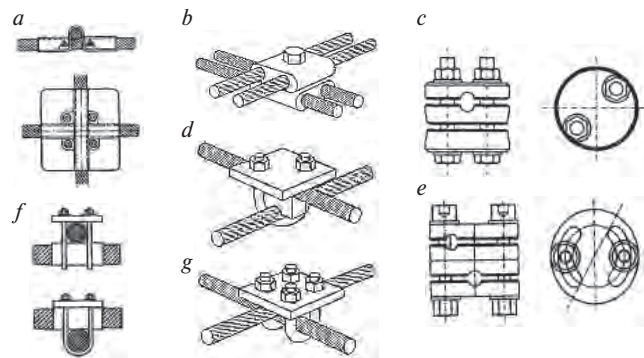


Рис. 5. Узлы крепления в местах пересечения канатов: *a, b* – штампованные детали; *c* – литые шайбы с пазами (ортогональное пересечение канатов); *d, e, f* – болтовые хомуты; *g* – литые шайбы с пазами (пересечение канатов под углом)

Fig. 5. Attachment points at the intersection of the ropes: *a* – general view of the rope assembly; *b* – stamped parts; *c* – cast washers with grooves (orthogonal rope crossing); *d, e, f* – bolt clamps; *g* – cast washers with grooves (crossing ropes at an angle)

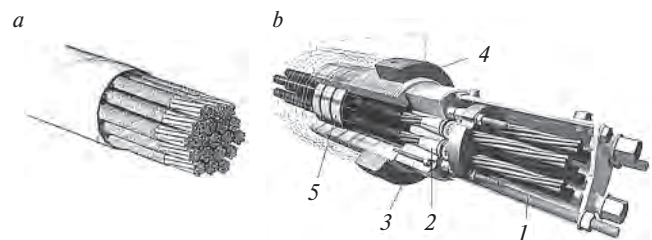


Рис. 6. Канат «моностренд»: *a* – общий вид каната в сборе; *b* – анкерное устройство; 1 – прядь; 2 – цанга; 3 – анкерный блок; 4 – муфта; 5 – блок жесткости

Fig. 6. «Monostrend» rope: *a* – general view of the rope assembly; *b* – anchor device; 1 – strand; 2 – collet; 3 – anchor block; 4 – clutch; 5 – stiffening block

Каждую прядь натягивают специальным домкратом с одновременным контролем в нем усилия и зажимают в анкерной плите цангой. Для обеспечения однородности усилий во всех прядях ванты применяют метод «изонатяжения». Пряди устанавли-

ливают последовательно с применением датчика усилия, с выравниванием усилий натяжения на каждом этапе. Эта операция повторяется до тех пор, пока не будет натянута последняя прядь ванты. В результате все пряди оказываются натянутыми на одинаковое усилие.

Канат «моностренд» имеет специальную конструкцию анкера, в котором каждая прядь анкеруется индивидуально (рис. 5, б). Основные элементы анкера каната «моностренда»:

- анкерный блок – стальная цилиндрическая плита с коническими отверстиями для цанг;
- трехлепестковые цанги, закрепляющие пряди в отверстиях анкерного блока;
- анкерная труба, образующая камеру за анкерным блоком, для изоляции и защиты концов прядей с удаленной оболочкой;
- муфта герметичности/направляющая, предназначенная для водонепроницаемого уплотнения на корпусе анкера и увеличивающая радиус изгиба каждой пряди на выходе из анкера;
- анкерный колпак, закрывающий концы прядей в месте выхода из цанг.

При ограниченной длине растянутого стержня их выполняют из круглых горячекатаных прутков из стали с пределом текучести до 680 МПа. Стандартная система таких элементов (рис. 6) состоит из тяги с регулирующим длину устройством с одной из сторон и двух вилкообразных анкеров. Растянутые стержни включают в основном варианте до 19 диаметров от 6 до 100 мм. Возможны элементы большего диаметра. Наибольшая длина тяг – 15 м, которую можно при помощи муфт увеличить до требуемых размеров. Чтобы избежать чрезмерного провисания, используют муфту с петлей для прикрепления подвески. Широкий ассортимент элементов позволяет производить разнообразные конструкции, от простых затяжек до сложных перекрестных систем.

Жесткие нити, контурные конструкции висячих покрытий, включая узлы соединений и элементы крепления, выполняют из материалов, обладающих необходимыми эксплуатационными и технологическими свойствами для обеспечения их долговечности согласно расчетному сроку службы сооружения. Сталь выбирают в зависимости от уровня ответственности конструкций, условий эксплуатации, расчетной температуры, воздействия динамических или вибрационных нагрузок, технологии изготовления и монтажа конструкций. Расчетные сопротивления проката, физические характеристики материалов, применяемых для стальных конструкций, сварных и болтовых соединений, следует принимать согласно СП 16.13330.2017 «Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II–23–81*». Требования к материалам для отливок и поковок (опорные части, шарниры, сложные узлы и специальные детали) принимают по СП 494.1325800–2020 «Конструкции покрытий пространственные металлические. Правила проектирования», раздел 5.4.

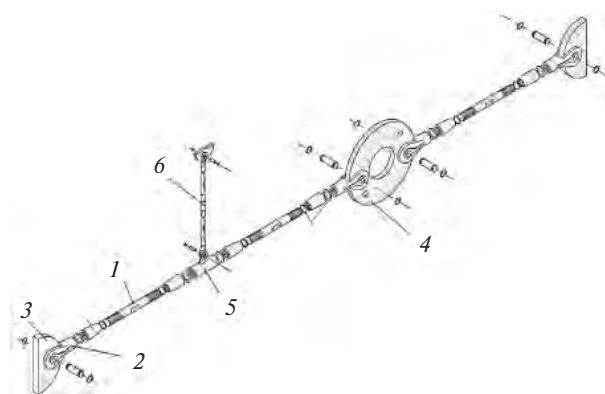


Рис. 7. Конструктивная схема растянутого стержневого элемента: 1 – тяга; 2 – вилкообразный анкер; 3 – фасонка; 4 – центральный диск; 5 – муфта; 6 – подвеска

Fig. 7. Structural scheme of a stretched rod element: 1 – thrust; 2 – fork-shaped anchor; 3 – gusset; 4 – central disk; 5 – clutch; 6 – suspension

Одна из тенденций проектирования висячих покрытий – увеличенное расстояние между основными несущими конструкциями, что позволяет за счет меньшего количества элементов сократить их стоимость, трудоемкость изготовления и монтажа. Такое решение возможно при условии достаточной несущей способности кровельных конструкций, к которым относятся тентовые (мембранные) покрытия из тонких синтетических тканей. Эти современные материалы обладают рядом преимуществ [8]:

- водонепроницаемость;
- высокая удельная прочность;
- огнестойкость, термостойкость и химическая стойкость;
- сжатые сроки изготовления и монтажа;
- большая свобода выбора пространственной формы поверхности и очертания покрытия в плане;
- хорошее соотношение цены и качества.

Первоначально широкое распространение получил материал ПВХ (PVC) ткань [9]. Материал характеризуется высоким уровнем предела прочности и относительного удлинения, хорошей обрабатываемостью, сохраняет свои свойства в любую погоду. Срок его службы составляет 15–20 лет. В случае более высоких требований к ограждающим конструкциям применяются стеклоткани, покрытые политетрафторэтиленом или тефлоном (PTFE – политетрафторэтилен) – стеклоткань/PTFE. Этот материал обладает очень высокой прочностью, водонепроницаемостью, хорошо противостоит ультрафиолетовому излучению, стоек к химическим воздействиям. Стеклоткань/PTFE с двухсторонним покрытием по огнестойкости относится к материалу типа А2 (негорючий). Их долговечность составляет около 30 лет, однако они стоят существенно дороже, чем материал ПВХ (PVC) ткань при одинаковой прочности. Другие, относительно недавно разработанные, материалы типа Aramid PP (например, Kevlar) или из углеродистых волокон (CF) имеют еще более высокие характеристики, однако они используются редко (для специальных задач) из-за высокой цены.

Наиболее современное решение – двух- или трех-слойные газонаполненные (подушкообразные) системы покрытия из ETFE (этилентетрафторэтилен). Пленка ETFE отличается от PVC и PTFE отсутствием тканевой основы, обладает высокой химической и механической прочностью, значительной величиной относительного удлинения, необходимой огнестойкостью [10]. Долговечность материала более чем 50 лет. Такие конструкции имеют существенное преимущество благодаря проходимости ультрафиолетовых лучей. ETFE панели в сравнении со стеклом пропускают больше света, в 100 раз легче, остаются чистыми, так как обладают самоочищающимся свойством. Кроме того, такие конструкции обладают хорошими теплоизоляционными свойствами, что оказывается важным для крытых стадионов. Панели крепятся к металлическому каркасу, который в свою очередь прикрепляется к несущим элементам покрытия (рис. 8). Для обеспечения должного уровня сопротивляемости внешним нагрузкам (снег, ветер) и теплоизоляции в мембраны-подушки периодически нагнетается воздух под низким давлением. Для этого к каждой панели подводят по два присоединения от воздухопровода, располагаемого между рядами подушек, где также устанавливаются желоба для отвода атмосферных осадков. Изменяя давление поступающего воздуха, можно управлять светопропускаемостью системы, регулировать теплопроводность оболочки в зависимости от погодных условий. Недостатком таких конструкций является необходимость непрерывного инженерного обеспечения.

Выводы

Современные висячие системы успешно удовлетворяют требованиям прогресса в области строительства – снижению стоимости строительных конструкций, трудоемкости изготовления и монтажа, уменьшению расхода материалов. Они позволяют создавать конструкции, рекордные по легкости и высоким технико-экономическим показателям. Важным факто-

ром развития таких систем стала возрастающая потребность в сооружениях с большим внутренним пространством, свободным от промежуточных опор, что определяет широкую область их применения.

Список литературы / References

1. Еремеев П.Г. Пространственные металлические конструкции покрытий. Moscow: ACB, 2020. 508 с.
1. Eremeev P.G. Prostranstvennye metallicheskie konstruksii pokrytii [Spatial metal structures of coatings]. M.: ASV, 2020. 508 p.
2. Gonzalez Quelle I. Cable roofs. Evolution, classification and future trends. *Proc. of the IASS Symposium*. Valencia. 2009, pp. 264–275.
3. Kim H. Structural Performance of Spoke Wheel Roof Systems. Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology, 2017. 66 p.
4. Seidel M. Tensile Surface Structures: A Practical Guide to Cable and Membrane Construction. Wiley, 2009
5. Goppert K., Stern M., Stockhuse R., Balz M. International stadium projects each unique and easy to recognize. *Proceedings IASS Symposium*, Acapulco-Mexico, 2008.
6. Burkhardt R. W.A. Practical guide to tensegrity design. USA: Cambridge, 2008. 212 p.
7. Еремеев П.Г. Пространственные тонколистовые металлические конструкции покрытий. М.: ACB, 2006. 560 с.
7. Eremeev P.G. Prostranstvennye tonkolistovye metallicheskie konstruksii pokrytii [Spatial thin-sheet metal structures of coatings]. Moscow: ASV, 2006. 560 p.
8. Mollaert M., Forster B. European design guide for tensile surface structures. Brussel: Tensinet, 2004. 354 p.
9. Le Cuyer A. ETFE: Technology and Design. Berlin: Birkhuser, 2008. 160 p.
10. Tao Yu, Yanhui Zhu. Applied Research of ETFE membrane gas pillow structure in modern stadiums. *Research Journal of Applied Sciences. Engineering and Technology*. 2013. No. 5 (13), pp. 3654–3660.

СПЕЦИАЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

МОНИТОРИНГ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ

Авторы: А.Г. Шашкин, К.Г. Шашкин, С.Г. Богов, В.А. Шашкин, М.А. Шашкин
(практическое руководство под редакцией д.г.-м.н. Шашкина А.Г.)

Санкт-Петербург: Георекострукция, 2021. 640 с.

В монографии раскрывается содержание мониторинга механической безопасности при новом строительстве, реконструкции и эксплуатации зданий и сооружений. Показывается значение мониторинга не только как средства контроля за сохранностью городской застройки, но и как профилактического средства, позволяющего своевременно обнаружить и диагностировать негативные тенденции и принять адекватные меры по нормализации технического состояния сооружения. Отмечается необходимость построения мониторинга как интерактивного процесса, базирующегося на компьютерной модели взаимодействия сооружения и основания. Это позволяет корректно интерпретировать результаты мониторинга, а также выполнять обратные расчеты для совершенствования исходных расчетных схем и физических моделей материалов и грунтов.

По вопросам приобретения обращайтесь:

E-mail: georeconstruction@gmail.com

WWW: geo-bookstore.ru



И.Н. УСАЧЁВ, канд. техн. наук, заслуженный работник и почетный гидроэнергетик энергетической отрасли РФ (usachev1932@gmail.com);

Н.К. РОЗЕНТАЛЬ, д-р техн. наук, профессор (rosental08@mail.ru)

АО «НИЦ «Строительство» (109428, г. Москва, ул. 2-я Институтская, 6)

Полувековой опыт эксплуатации железобетонных конструкций Кислогубской ПЭС в Баренцевом море

В 1960-х гг. в Баренцевом море впервые в мировой практике гидроэнергетики сооружена наплавным способом первая российская приливная электростанция – Кислогубская ПЭС им. Л.Б. Бернштейна, которая успешно функционирует до настоящего времени. Возведение наплавным способом позволило на 30% сократить смету строительства и ускорить срок возведения в два раза. В результате сооружение признано в мире «одним из выдающихся сооружений XX в., единственным долговечным крупным железобетонным сооружением в Арктике и памятником науки и техники Российской Федерации». Приведены данные по исследованию состояния железобетонных стен ПЭС железобетонного фрагмента в виде плиты, имитирующей стенку здания ПЭС.

Ключевые слова: приливная электростанция, долговечность бетона в Арктике, защита от коррозии в море, наплавной способ строительства.

Для цитирования: Усачёв И.Н., Розенталь Н.К. Полувековой опыт эксплуатации железобетонных конструкций Кислогубской ПЭС в Баренцевом море // *Строительные материалы*. 2022. № 10. С. 68–72. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-807-10-68-72>

I.N. USACHEV, Candidate of Sciences (Engineering), Honored Worker and Honorary Hydropower Engineer of the Energy Industry of the Russian Federation(usachev1932@gmail.com)

N.K. ROSENTAL, Doctor of Sciences (Engineering), Professor (rosental08@mail.ru)

Research Center of Construction JSC (6 2nd Institutskaya Street, Moscow, 109428, Russian Federation)

Half a Century of Experience in the Operation of Reinforced Concrete Structures of the Kislaya Guba Tidal Power Station in the Barents Sea

In the 1960s, in the Barents Sea, for the first time in the world practice of hydropower, the first Russian tidal power plant, the L.B. Bernstein Kislogubskaya TPS, was built by floating method, which has been successfully operating up to the present time. Construction by floating method made it possible to reduce the construction estimate by 30% and speed up the construction period by half. As a result, the structure is recognized in the world as “one of the outstanding structures of the 20th century, the only durable large reinforced concrete structure in the Arctic and a Monument of Science and Technology of the Russian Federation.” The data on the study of the properties of a reinforced concrete fragment in the form of a slab, imitating the wall of the TPS building, are given.

Keywords: tidal power plant, durability of concrete in the Arctic, corrosion protection at sea, floating construction method.

For citation: Usachev I.N., Rosental N.K. Half a century of experience in the operation of reinforced concrete structures of the Kislaya Guba tidal power station in the Barents sea. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2022. No. 10, pp. 68–72. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-807-10-68-72>

Кислогубская приливная электростанция (Кислогубская ПЭС) находится в Арктике на 70-й параллели северной широты. В районе сооружения ПЭС в течение года наблюдается в среднем 200 суток с отрицательной температурой до минус 40°C. За год в зоне переменного горизонта (прилива и отлива) с амплитудой 1–4 м происходит до 400 циклов замораживания-оттаивания бетона. Содержание солей в воде 34‰.

Кислогубская ПЭС сооружена УС «Севгидрострой» в 1965–1967 гг. в строительном доке в г. Мурманске, выполненном в 1964 г. (мыс Притыка) на берегу Кольского залива; оттранспортирована на плаву за 99 км судами Северного ВМФ в губу Кислую Баренцева моря, опущена на подводное основание, подготовленное в 1964–1965 гг., передана в эксплуатацию в Кольскую энергосистему и предоставлена на период проведения исследований институту «Гидропроект» и заинтересованным отраслевым НИИ и институтам РАН [1–3].

Известно, что железобетонные конструкции ПЭС подвергаются агрессивным воздействиям:

– *в подводной части:* действию морской воды, содержащей хлориды, сульфаты, магниевые соли, растворенную уголекислоту, которые способны взаимодействовать с цементным камнем бетона и образовывать растворимые соединения, кристаллизующиеся с увеличением объема соединения и соединения, не обладающие вяжущими свойствами, снижающие прочность бетона. Кроме того, бетон подвергается действию морских организмов – камнеточцев и организмов, выделяющих в жизнедеятельности уголекислоту, растворяющую цементный камень. Обращение в подводной зоне подводными растениями не разрушает бетон, но уменьшает живое сечение трубопроводов и ухудшает режим их работы. Камнеточцы способны проникать в бетон на большую глубину, если бетон приготовлен на заполнителе из карбонатных пород, но не опасны для бетона на заполнителях из прочных изверженных пород;

– *в надводной части:* действию аэрозоля морских солей, уголекислого газа из состава воздуха, замораживанию и оттаиванию.

Созданные для Кислогубской ПЭС строительные материалы и технологии их защиты от коррозии в океанической среде и биологического обрастания обеспечили уникальную долговечность сооружения на Арктическом шельфе без какого-либо ремонта за весь срок эксплуатации (к настоящему времени 55 лет), что позволило назвать Кислогубскую ПЭС «самым долговечным в мире крупным бетонным сооружением в Арктике». Кислогубская ПЭС более 50 лет находилась в промышленной эксплуатации Кольской энергосистемы и одновременно использовалась как научная морская база в условиях арктического побережья России, включающая помещения со всеми удобствами в доме многоцелевого назначения для эксплуатационного и научного персонала; архив проектов ПЭС и природных наблюдений за весь период исследований; морские стационарные стенды в зоне прилива, под водой и в морской атмосфере; ледовый стенд и экологический полигон в бассейне. На территории ПЭС была создана научная база Полярного института океанологии и рыбного хозяйства (ПИРО) с опытным участком марикультуры.

За 50 лет на Кислогубской ПЭС выполнены масштабные работы по решению ряда проблем для энергетической отрасли РФ и строительства на Крайнем Севере. В результате создана прочная и жесткая наплавная конструкция здания ПЭС. Мониторинг по установленным в конструкцию дистанционным приборам позволил сделать заключение о ее исключительной долговечности, поскольку она в течение полувека не имеет никаких повреждений и находится, можно утверждать, в отличном состоянии.

Исследования АО «НИИЭС», Института океанологии РАН, НИИ Арктики и Антарктики, НПФ «Эверест» морского льда в бассейне ПЭС на Белом и Охотском морях позволили сделать вывод о возможности строительства станции в условиях замерзающего моря при воздействии торосистого льда. Натурные испытания установили возможные нагрузки от льда на сооружение.

Защита арматуры железобетонных конструкций ПЭС от электрохимической коррозии приобретала первостепенное значение, так как естественная коррозия металла в условиях ПЭС достигает 1 мм/г. При этом долговечность арматуры в тонкостенных железобетонных конструкциях при защитном слое 2 см могла бы ограничиться всего несколькими годами. Для защиты арматуры железобетонных конструкций от коррозии применена катодная защита, которая впервые в практике гидротехнического строительства осуществлена с помощью сменяемых каждые 10–12 лет металлических жертвенных анодов, устанавливаемых в шпациях конструкции и вне ее. Для исключения возможности снижения адгезии арматуры с бетоном защитный потенциал был ограничен от $-0,85$ до -1 В по хлоросеребряному электроду сравнения, а плотность поляризующего тока поддерживалась равной $0,04$ А/м².

В течение всего периода службы в море арматура в железобетонных конструкциях здания ПЭС сохрани-

лась полностью, следов коррозии арматуры в бетоне, по данным специалистов НИИЖБ им. А.А. Гвоздева, не обнаружено. Система электрохимической защиты исключительно дешевая, так как для поддержания ее службы используется бросовый металл.

В 2017 г. АО «ВНИИГ» установило на Кислогубской ПЭС для натуральных испытаний образцы различных марок металла для нужд ВМФ в Арктической зоне. Образцы установлены в коррозионно-опасной зоне на берегу губы Кислая. Параллельно продолжаются натурные коррозионные испытания в атмосфере образцов металлов для арктических видов приборов Всесоюзного научно-исследовательского института телевидения (ВНИИТ).

Проблема обрастания железобетонных конструкций в морской воде на Севере связана с эксплуатацией водоводов. На Кислогубской ПЭС проблема была решена установкой в водоводах электролизеров, при работе которых образуется хлор. Их кратковременное включение, не нанося вреда экологии морского залива, полностью исключило обрастание трубопроводов. Принципы получения бетонов высокой морозостойкости для строительства в суровых климатических условиях были сформулированы в [4]:

- повышение плотности бетона путем снижения водоцементного отношения;
- применение сульфатостойкого портландцемента, портландцемента с умеренным содержанием трехвалентного алюмината с нормальной плотностью цементного теста не более 26%;
- максимальное уплотнение и создание благоприятных условий твердения бетона;
- применение пластифицирующих добавок;
- применение воздухововлекающих и гидрофобизирующих добавок.

Эти принципы с успехом реализованы при строительстве Кислогубской ПЭС. Известно, что долговечность бетона в первую очередь зависит от его морозостойкости. Был привлечен ряд специализированных институтов, которые провели исследования и предложили составы бетонов, подвергнутые ускоренным испытаниям на морозостойкость в натуральных условиях Кольского залива в бассейнах Мурманской климатической станции, где можно получать за один зимний сезон до 1000 циклов замораживания и оттаивания.

При испытаниях наилучшие результаты показал состав бетона с воздухововлекающей добавкой СНВ и пластифицирующей добавкой ССБ (табл. 1 и 2), полученный под руководством Ф.М. Иванова и И.Н. Усачёва (Иванов Ф.М., Виноградова Э.А., Гладков В.С., Усачев И.Н. Морозостойкий бетон для морских сооружений // Бетон и железобетон. 1983. № 3).

Из бетона этого состава в 1965–1967 гг. был сооружен наплавной блок здания Кислогубской ПЭС, который в августе 1968 г. был установлен в створ в губе Кислая (рис. 1). Бетон проектной марки М400 (В30) готовили на сульфатостойком портландце-

менте, щебне из изверженных пород и кварцевом песке с комплексной добавкой ССБ+СНВ. Подвижность бетонной смеси характеризовалась осадкой конуса 2–4 см. С целью уменьшения пористости бетона в наружном слое опалубку обшивали влагопоглощающим картоном. Бетонную смесь уплотняли по специально разработанной технологии высокочастотными вибраторами (Усачёв И.Н. Производство бетонных работ при строительстве тонкостенного наплавного блока Кислогубской ПЭС // Энергетическое строительство. 1967. № 4. С. 61–65). Со стороны моря поверхность железобетонных конструкций была защищена вспененным полимерным материалом. Нужно отметить, что данная теплоизоляция быстро разрушилась и не оказала существенного влияния на долговечность сооружения.

В подготовительный период строительства ПЭС испытания бетона на морозостойкость выполняли в морозильном бассейне на берегу Кольского залива (Мурманская климатическая станция). При замораживании бетонные образцы обдували наружным морозным воздухом с помощью вентилятора. Для оттаивания образцов ванну с образцами заполняли морской водой, подаваемой насосом из Кольского залива. Одновременно в бассейн был поставлен на испытание железобетонный фрагмент блока ПЭС, выполненный в виде полого ящика с толщиной стенок 15 см, как в конструкции ПЭС. В течение одного зимнего сезона можно было получить около 1000 циклов замораживания и оттаивания. После 1540 циклов замораживания и оттаивания образцы и блок не имели повреждений, а их прочность возросла.

С вводом станции в эксплуатацию бетонные образцы размерами 100×100×100 мм были перемещены из бассейна на морской стенд рядом со зданием ПЭС. Во время прилива образцы полностью затапливались водой (стадия оттаивания), при отливе образцы находились на воздухе (стадия замораживания).

Таблица 1
Table 1

Характеристики бетонной смеси для Кислогубской ПЭС
Characteristics of the concrete mix for the Kisolgubskaya TPS

Материалы	Ед. изм.	Количество, кг/м ³	Характеристика
Цемент	кг/м ³	480	Сульфатостойкий портландцемент завода «Большевик» (ныне ОАО «Вольскцемент»)
Щебень фракции	кг/м ³	1210	Гранитогнейсы
	%	35	
	%	65	
Песок	кг/м ³	630	Кварцевый, М _{кр} =2,3
Вода пресная	л	178	Нижне-Туломское водохранилище
Добавки: – СНВ – ССБ или СДБ	% от массы цемента	0,06 0,2	ГОСТ 8513-57 «Нефтепродукты темные. Метод определения максимальной температуры застывания» ТУ 2ЛХ-01
Вовлеченный воздух	% по объему	5–6	
Подвижность	ОК, см	2–4	

Таблица 2
Table 2

Характеристики бетона
Characteristic of concrete

Показатель	Ед. изм.	По проекту	Фактически	Образцы, исполнитель
Прочность при сжатии в возрасте 90 сут 2 года 40 лет 50 лет (2015)	МПа	40	45 50 69 69,5–86,5	Керны (Колэнерго, НИИЭС, НИИЖБ, под водой – КИСИ) Неразрушающими методами
Прочность при осевом растяжении	МПа	2	4,95–5,67	Образцы из сооружения (НИИЖБ)
Морозостойкость	Циклы замораживания и оттаивания	1000	1080	Образцы (ЦНИИС, НИИЭС, НИИЖБ)
Водопоглощение	%	–	0,65–0,73	Керны (НИИЖБ)
Водонепроницаемость	–	W10	W10–W14	Керны (НИИЖБ) Образцы (Севгидрострой)
Воздухосодержание (в виде замкнутых пузырьков)	% Фактор расстояния	2–3 0,25	2,75 0,115–0137	Аншлифы кернов (ЛИИЖТ)

Мониторинг состояния бетона ПЭС осуществлялся специалистами АО НИИЭС (И.Н. Усачёв) и лаборатории коррозии НИИЖБ (Ф.М. Иванов и Н.К. Розенталь). Неразрушающими методами – прибором Шмидта и ультразвуковыми прибора-



Рис. 1. Общий вид ПЭС со стороны бассейна
Fig. 1. General view of the TPS from the pool side



Рис. 2. Стенка со стороны бассейна. Повреждение бетона отсутствует
Fig. 2. The wall on the side of the pool. There is no concrete damage



Рис. 3. Локальное шелушение цементной пленки на стенке ПЭС, на нижней части снимка – обрастание ракушкой – баянусом. Такое обрастание существенного повреждения бетона не вызывает
Fig. 3. Local peeling of the cement film on the wall of the TPS, on the lower part of the picture – fouling with a shell – balanus. Such fouling does not cause significant damage to concrete

ми 1401 и УК–14П определяли прочность бетона в конструкциях (табл. 2). Кроме того, были выбурены керны и испытаны на морозостойкость и прочность. Прочность бетона превышала 68 МПа.

Бетон в конструкции ПЭС и отдельная железобетонная плита, находящаяся в зоне переменного уровня моря, повреждений не имели (рис. 2–3). Микроскопические исследования образцов бетона ПЭС показали наличие равномерно распределенных



Рис. 4. Железобетонная плита, уложенная на подсыпку из щебня в зоне прилива. Обрастание баянусом и водорослями. Повреждение бетона отсутствует
Fig. 4. Reinforced concrete slab laid on a rubble filling in the high tide zone. Fouling with balanus and algae. There is no concrete damage



Рис. 5. Образцы из бетона с модификатором на морском стенде Кислогубской ПЭС после 13000 циклов замораживания и оттаивания
Fig. 5. Samples of concrete with a modifier at the offshore stand of the Kislogubskaya TPS after 13,000 cycles of freezing and thawing

по телу бетона мелких сферических замкнутых пор. Фактор расстояния по Пауэрсу равнялся 0,115–0,137. Это объясняет высокую морозостойкость бетона в конструкции. В структуре бетона обнаружены негидратированные зерна цементного клинкера размерами 30–50 мкм, что обуславливает возможность самозалечивания микротрещин в бетоне при гидратации зерен клинкера в поздние сроки.

Термогравиметрическими исследованиями наличия в бетоне сульфата кальция и брусита $Mg(OH)_2$ не обнаружено. Это свидетельствует о низкой диффузионной проницаемости бетона для агрессивных к бетону сульфатов и магниезиальных солей из морской воды.

Натурные испытания истирающего действия льда на бетон в условиях службы Кислогубской ПЭС выполнил И.Н. Усачёв. Испытания производились на

плитах, изготовленных из бетона, применявшегося при бетонировании конструкций ПЭС. Плиты находились в зоне переменного горизонта в части залива губы Кислая, отгороженной от моря плотиной ПЭС, и в основном подвергались воздействию вертикально перемещающегося льда во время приливов и отливов при незначительном горизонтальном перемещении льда. После 22 лет испытаний истирания бетона плит не отмечено. За все время эксплуатации истирания льдом поверхности бетона водослива здания ПЭС также не было, что объясняется как прочностью испытуемого бетона, так и ограниченным перемещением льда в зоне ПЭС. Попутно отметим, что согласно исследованиям Т.Э. Уваровой (Уварова Т.Э. Истирающее воздействие дрейфующего ледяного покрова на морские гидротехнические сооружения: Дис... д-ра техн. наук, 2014), для предупреждения истирания бетона движущимися льдами в открытом море необходимо, чтобы прочность бетона была не менее 70 МПа.

В непосредственной близости от здания ПЭС в зоне прилива-отлива на щебеночную отсыпку плашмя был уложен железобетонный фрагмент в виде плиты, имитирующий стенку здания ПЭС. При приливе фрагмент полностью затапливался водой и обнажался при отливе. После 50 лет испытаний повреждения от размораживания бетона в конструкциях станции (рис. 3) и отдельном фрагменте (рис. 4) отсутствовали. Прочность бетона во фрагменте превышала проектную. Последним выполненным обследованием через 50 лет после начала эксплуатации станции морозного повреждения бетона в сооружении, в том числе в зоне переменного горизонта морской воды, не обнаружено. Отсутствовали трещины и крошение бетона. С применением молотка Шмидта и ультразвуковым методом была оценена прочность бетона в конструкциях со стороны бассейна, со стороны открытого моря и внутри станции. Прочность бетона превышала проектную. Отсутствовали внешние признаки коррозии стальной арматуры – пятна ржавчины, растрескивание защитного слоя. На внутренней поверхности стен индикатором – раствором азотнокислого серебра – хлориды не обнаружены.

Результаты лабораторных испытаний и натурные испытания бетона Кислогубской ПЭС свидетельствуют о высокой стойкости использованного бетона в условиях Арктики.

Одновременно с наблюдениями за состоянием бетона Кислогубской ПЭС на морском стенде станции авторами испытан бетон нового поколения, приготовленный с модификатором, содержащим микрокремнезем, суперпластификатор С-3 и микрогазообразующую добавку ГКЖ-94 (ГКЖ 136–41). Такой бетон обладает высокой прочностью, низкой проницаемостью, высокой коррозионной стойкостью и морозостойкостью [5]. Насколько нам известно, подобный бетон нового поколения впервые испытан в условиях Арктики. Испытания показали, что после 13 тыс. циклов замораживания и оттаивания бетонные образцы не понизили прочность и не име-

ли следов повреждения (рис. 5). Представляется, что подобные бетоны имеют перспективы применения в строительстве морских сооружений в Арктике.

Выводы

Результаты исследований и натуральных испытаний свидетельствуют о возможности создания железобетонных конструкций из испытанного бетона с добавками, обладающего особо высокой морозостойкостью и коррозионной стойкостью в морской воде в суровых климатических условиях арктической зоны России.

Список литературы

1. Усачев И.Н., Розенталь Н.К. Пионерная российская приливная электростанция – памятник науки и техники России // *Энергетик*. 2019. № 2. С. 19–25.
2. Усачев И.Н. Морская энергетика (приливные электростанции и морские энергетические установки). М.: АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева», 2022. 292 с.
3. Усачев И.Н. Опыт создания и полувекковой эксплуатации Кислогубской приливной электростанции – основа освоения Арктики и Северного морского пути // *Гидротехника*. 2021. № 4. С. 73–75.
4. Москвин В.М., Капкин М.М., Савицкий А.Н., Ярмаковский В.Н. Бетон для строительства в суровых климатических условиях. Л.: Стройиздат, 1973. 172 с.
5. Каприелов С.С., Штейнфельд А.В., Кардумян Г.С. Новые модифицированные бетоны. М.: ООО «Типография «Парадиз», 2010. 258 с.

References

1. Usachev I.N., Rosenthal N.K. Pioneer Russian tidal power plant – a monument of science and technology of Russia. *Energetik*. 2019. No. 2, pp. 19–25. (In Russian).
2. Usachev I.N. Morskaya energetika (prilivnye elektrostantsii i morskije energeticheskie ustanovki) [Marine power engineering (tidal power plants and marine power plants)]. Moscow: AO VNIIG im. B.E. Vedeneeva. 2022. 292 p.
3. Usachev I.N. The experience of creation and half-century operation of the Kmslogubskaya tidal power plant – the basis for the development of the Arctic and the Northern Sea Route. *Gidrotechnika*. 2021. No. 4, pp. 73–75. (In Russian).
4. Moskvina V.M., Kapkin M.M., Savitsky A.N., Yarmakovskiy V.N. Beton dlya stroitel'stva v surovyykh klimaticheskikh usloviyakh [Concrete for construction in harsh climatic conditions]. Leningrad: Stroyizdat. 1973. 172 p.
5. Kapriyelov S.S., Steinfeld A.V., Kardumyan G.S. Novye modifitsirovannye betony [New modified concretes]. Moscow: ООО «Printing house «Paradise». 2010. 258 p.

УДК 621.357

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-807-10-73-78>

В.А. ВОЙТОВИЧ, канд. техн. наук (voit32@mail.ru);
И.Н. ХРЯПЧЕНКОВА, канд. техн. наук (irina-xr@mail.ru)

Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет (603950, г. Нижний Новгород, ул. Ильинская, 65)

Применение гальваношламов в качестве добавок в строительные материалы

В работе освещена ситуация, сложившаяся в настоящее время в России с гальваношламами – отходами I класса опасности. Наибольшую опасность они представляют тем, что их утечка неизбежно приводит к непоправимому ущербу для биосферы, это требует осуществлять тотальный мониторинг образования и перемещения гальваношламов. Авторами осуществлен обзор разработанных отечественных и зарубежных технологий использования гальваношламов. Большинство исследователей предлагают извлекать из гальваношламов металлы. Способ переработки гальванических шламов, заключающийся в их смешивании с пирокатехином в течение 48 ч и отделением выпадающего осадка фильтрацией, при котором образуются пирокатехиновые комплексы металлов, технологически прост, но пирокатехин – дорогое и дефицитное вещество, использование пирокатехиновых комплексов проблематично. Большинство современных методик обычно включают высокотемпературную (1000°C и выше) обработку гальваношламов. Применение предлагаемых сегодня технологий переработки гальванических шламов ограничивается их дороговизной, сложностью и высокой экологической опасностью. Авторы предлагают способы утилизации гальваношламов в цементных смесях, асфальтобетонах, керамике и других строительных материалах при следующих условиях: исключение образования новых отходов; снижение затрат на капитальное строительство и оборудование; исключение возможности вымывания из получаемых материалов и изделий ионов цветных металлов под действием кислотных дождей и других возможных причин.

Ключевые слова: гальваношламы, извлечение индивидуальных металлов, наилучшие доступные технологии, вымывание ионов цветных металлов, утилизация гальваношламов в строительных материалах.

Для цитирования: Войтович В.А., Хряпченкова И.Н. Применение гальваношламов в качестве добавок в строительные материалы // *Строительные материалы*. 2022. № 10. С. 73–78. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-807-10-73-78>

V.A. VOITOVICH¹, Candidate of Sciences (Engineering) (voit32@mail.ru),

I.N. KHRYAPCHENKOVA², Candidate of Sciences (Engineering) (irina-xr@mail.ru)

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering (65, Ilyinskaya Street, Nizhny Novgorod, 603950, Russian Federation)

The Use of Galvanic Sludge as Additives in Building Materials

The paper highlights the current situation in Russia with galvanic sludge – waste of hazard class I. They represent the greatest danger in that their leakage inevitably leads to irreparable damage in the biosphere, which requires total monitoring of the formation and movement of galvanic sludge. The authors reviewed the developed domestic and foreign technologies for the use of galvanic sludge. Most researchers propose to extract metals from galvanic sludge. The method of processing galvanic sludges, which consists in mixing them with pyrocatechin for 48 hours and separating the precipitate by filtration, in which pyrocatechin metal complexes are formed, is technologically simple, but pyrocatechin is an expensive and scarce substance, the use of pyrocatechin complexes is problematic. Most modern techniques usually include high-temperature (1000°C and above) processing of galvanic sludge. The use of the technologies for processing galvanic sludge proposed today is limited by their high cost, complexity and high environmental hazard. The authors propose methods for the disposal of galvanic sludge in cement mixtures, asphalt concrete, ceramics and other building materials under the following conditions: exclusion of the formation of new waste, reducing the cost of capital construction and equipment, exclusion of the possibility of leaching of non-ferrous metal ions from the obtained materials and products under the influence of acid rain and other possible causes.

Keywords: galvanic sludge, extraction of individual metals, best available technologies, washing out of non-ferrous metal ions, utilization of galvanic sludge in building materials.

For citation: Voitovich V.A., Khryapchenkova I.N. The use of galvanic sludge as additives in building materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2022. No. 10, pp. 73–78. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-807-10-73-78>

В начале XIX в. английский ученый М. Фарадей изобрел гальваностегию – отложение с помощью электролиза пленок одного металла на поверхности какого-либо изделия, изготовленного из другого металла. Эти пленки получили название гальванических покрытий. К середине XX в. гальваностегия стала одной из технологий защиты стальных изделий от коррозии покрытиями из хрома, никеля, кадмия, многих других металлов, а также декоративной отделки различными металлами, включая драгоценные. С помощью гальванических покрытий изделия

придают повышенные твердость, износостойкость, более низкий коэффициент трения.

Гальваностегия, однако, является экологически грязным производством, поскольку при его функционировании образуются сточные воды, содержащие высокотоксичные ионы тех металлов, из которых формировались покрытия (на недавно прошедшей в Израиле конференции попадание ионов металла в атмосферу названо одним из наиболее опасных воздействий на природу. Оно получило название «металлизация биосферы»). Особенно опасна тенден-

ция накопления ионов металлов в пищевых цепочках, что увеличивает их опасность для человека и животных.

Для того чтобы не допустить попадания таких ионов в биосферу, сточные воды обрабатывают щелочью, чаще всего гашеной известью (гидроксидом кальция). Под ее воздействием ионы металлов (кроме ионов шестивалентного хрома) переходят в гидроксиды соответствующих металлов – плохо растворимые в воде вещества. Поскольку для гальваностегии используются в основном сульфаты металлов, наряду с гидроксидами металлов образуется и малорастворимый сульфат кальция. В осадке оказывается и немного органических соединений, входящих в состав раствора, используемого для гальваностегии (этот раствор называют гальванической ванной). Данный осадок назвали гальваническими шламами, сокращенно гальваношламами (ГШ).

Одной из причин, приводящих к образованию ГШ, является особенность российской (сложившейся еще в советское время) технологии гальваностегии, а именно смешивание сточных вод, вытекающих из ванн, с различными по металлам электролитами, с последующей обработкой смеси известью, что приводит к образованию полиметаллических ГШ, которые перерабатывать и использовать гораздо труднее, чем однометалльные. Поэтому основной задачей по экологизации гальванического производства следует считать раздельную обработку гальваношламов.

Учитывая, что ионы шестивалентного хрома с гидроксидом кальция нерастворимого вещества не образуют, их предварительно восстанавливают до ионов хрома трехвалентного, который под воздействием извести переходит в нерастворимый гидроксид хрома.

Образовавшие ГШ гидроксиды, будучи нерастворимыми в воде, растворяются уже при небольшом подкислении, например под воздействием кислотных дождей. Поэтому ГШ запрещено вывозить на открытые полигоны. Их необходимо упаковывать в специальной таре и хранить до востребования (которое, как правило, не наступает).

Согласно общероссийскому классификатору промышленных отходов, вещества, причисляемые к I и II классам опасности, характеризуются тем, что их утечка или другой нештатный случай неизбежно приводят к непоправимому ущербу в биосфере. Наиболее опасны в этом смысле отходы I класса. Это ртутьсодержащие отходы и гальваношламы. За рубежом к таким отходам относят все, которые содержат в своем составе вещества, способные под действием кислотных дождей или даже нейтральной воды выделять ионы цветных металлов, поскольку они высокотоксичны для всего живого. В 2022 г. вступает в силу федеральный проект «Инфраструктура для обращения с отходами I и II классов опасности» – одно из важнейших звеньев национального проекта «Экология» [1]. Согласно этому документу в

России будет осуществляться тотальный мониторинг образования и перемещения опасных промышленных отходов, наносящих непоправимый вред биосфере. Цель данного проекта – найти способы использования отходов в качестве вторичного ресурса для народного хозяйства. В этом нацпроекте есть пункт: создание современной инфраструктуры, обеспечивающей обращение с отходами I и II классов опасности, и ликвидация наиболее опасных объектов накопленного экологического вреда. Основными технологиями в этой инфраструктуре должны стать наилучшие доступные. Ход реализации национального проекта экологии будет контролировать Росприроднадзор.

Гальваношламы как раз являются отходами I и II классов опасности. Тысячи тонн их в настоящее время размещены на полигонах, не способных защищать от разложения кислотными дождями и, следовательно, не предохраняющих подземные воды от загрязнения ионами цветных металлов. Эти полигоны можно считать объектами накопленного экологического вреда.

Авторы уже в течение ряда лет отслеживают информацию о предлагаемых технологиях по использованию ГШ, а также предпринимают попытки создать более современную технологию (в картотеке авторов содержится не менее 60 ссылок на статьи, авторские свидетельства, патенты на изобретения).

Однако ни одна из предложенных технологий в России до сих пор не реализована, и причина этого, по мнению авторов, не бездействие тех, кто должен избавляться от ГШ, а то, что предлагаемые технологии далеки от наилучших доступных. Эти технологии предлагают извлекать из ГШ те металлы, которые в них находятся, и основаны на всевозможных сложных и далеко не экологических решениях. То же можно сказать и о зарубежных исследованиях, в которых порой предлагается извлекать из гальваношламов металлы с применением заведомо экологически опасных способов [2].

Небезынтересно отметить, что за последние годы произошло резкое падение числа публикаций по ГШ. По мнению авторов, это произошло потому, что интерес у исследователей к этой проблеме затухает, так как ни одно из их предложений не было реализовано в промышленных масштабах. Они поняли, что путь переработки ГШ на свободные металлы тупиковый. Металлы, выделяемые из ГШ, оказывались намного более дорогими, чем получаемые традиционными способами из природных руд; сами технологии – экологически грязными, также не свободными от образования отходов, пусть и менее вредных, чем гальваношламы.

Для подтверждения вышесказанного проанализируем лишь предложения, сделанные в течение последних лет. Так, авторы [3] предлагают смешивать ГШ с алюминиевым порошком ради проведения алюминотермического восстановления металлов в шламе с образованием сплава и шлака, причем алю-

мининовый порошок должен быть предварительно пассивирован, а шлам перед использованием должен быть подвергнут активационно-стабилизирующему обжигу при температуре 800–1000° С в течение 13 ч. Наверное, не стоит доказывать, что эта технология очень далека от наилучшей доступной.

В работе [4] предложен способ переработки медного гальваношлама, заключающийся в прокаливании смеси ГШ с карбонатом натрия, хлоридом натрия и углем при температуре 1000–1100° С с целью образования при этих условиях металлической меди, заключенной в шлак. После этого медь выделяют из шлака. И этот способ далек от наилучших доступных технологий.

Исследователи [5] разработали способ переработки гальванических шламов, заключающийся в их смешивании с пирокатахином в течение 48 ч и отделением выпадающего осадка фильтрацией. При этом образуются пирокатахиновые комплексы металлов. Способ технологически прост, но пирокатахин – дорогое и дефицитное вещество, а также не ясны пути использования пирокатахиновых комплексов.

Ряд авторов [6–8] предлагают технологии переработки гальваношламов в условиях высокой температуры (порядка 1000°С), что явно не соответствует современным экологическим требованиям.

На основании этих неудачных попыток переработки ГШ, а также учитывая явную тенденцию замены гальваностегии на иные, более экологичные способы формирования металлических покрытий, объединенные термином «сухая гальваника», при реализации которых ГШ не образуются, можно сделать вывод: необходимо изыскивать другие способы избавления от этого пока еще образующегося, хотя и в меньших объемах (за период с 1980 г. по настоящее время доля гальваностегии в получении металлических покрытий упала на 40%), отхода.

Авторы предполагают, что такими могут стать утилизационные способы, т. е. использование ГШ без их предварительной обработки. Такие способы уже разработаны, продолжаются попытки найти новые.

Группой сотрудников Горьковского инженерно-строительного института (ныне Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет) под руководством доктора технических наук, профессора В.В. Найденко было получено авторское свидетельство [9] на изобретение «Асфальтобетонная смесь». Цель изобретения – повышение прочности асфальтобетона, изготавливаемого из традиционных компонентов – битума, заполнителя, минерального карбонатного порошка, – и упрощения технологии изготовления.

Эта цель была достигнута заменой традиционного минерального порошка на гальваношлам при следующем соотношении компонентов (мас. %): битум 8–9; отходы ГШ 10–14; песок – остальное. ГШ в пересчете на сухое вещество имел следующий состав

(мас. %): гидроксид хрома 3,62–4,26; гидроксид никеля 6,4–6,53; гидроксид меди 5,07–5,31; гидроксид цинка 2,61–2,75; гидроксид железа 6,38–6,51; гидроксид кадмия 0,65–1,31; гидроксид алюминия 2,12–2,46; диоксид кремния 6,67–8,48; гидроксид кальция 63,68–65,22. Смесь готовили путем одноэтапного смешивания компонентов в нагретом состоянии.

Результаты испытаний показали, что предел прочности асфальтобетона с ГШ был заметно выше в интервале температуры от 0 до 50°С. С организационной точки зрения использование ГШ в асфальтобетонной смеси почти так же удобно, как и использование в цементных смесях, поскольку асфальтовые заводы есть в каждом городе. Экономические расчеты показали, что себестоимость 1 т асфальтобетона с ГШ снижается по сравнению с асфальтобетоном на минеральном порошке на 6–8%. Наряду с этим отпадает необходимость в расходах на устройство и эксплуатацию мест хранения гальваношламов.

На асфальтобетон с такими ГШ было получено разрешение Госсанэпиднадзора Нижегородской области. Натурный эксперимент проведен на отрезке Ольгинского шоссе (вблизи Нижнего Новгорода), где было уложено 3 км покрытия из такого асфальтобетона. В течение трех лет эксплуатации этого шоссе проводилась проверка миграции ионов цветных металлов из асфальтобетона в подземные воды. Миграции не установлено.

Как известно, при плавлении битумов нередко происходит вспенивание, затрудняющее производство композиций на основе битума, в том числе асфальтобетона. Причиной вспенивания является вскипание воды, которая нередко присутствует в битуме, а также в тех материалах, которые вводят в битумные композиции. ГШ как раз являются влажными материалами. Авторами предложено предотвращать вспенивание добавлением в битумоварочный котел этилсиликата-32. Уже при его доле в 1% по отношению к битуму вспенивания не происходит.

Впоследствии улучшение механических свойств асфальтобетона было отмечено и в Ростовском инженерно-строительном университете. Убедительные доказательства надежного удерживания ионов цветных металлов получили в г. Иркутске. Там при двухмесячной экспозиции в природной воде асфальтобетона, содержащего 5% ГШ, вымывания ионов не обнаружено, не выявлена и токсичность воды при биотестировании. А в Казанском архитектурно-строительном университете была проведена работа, показавшая, что ГШ можно вводить до 30% в целях замены не только минерального порошка, но и части песка. На основании изложенного можно сделать заключение, что ГШ в асфальтобетоне удерживается прочно, вымывания ионов цветных металлов не обнаруживается, т. е. такое направление использования ГШ полностью отвечает экологическим требованиям.

Использование ГШ для изготовления изделий из керамики также может стать одной из наиболее емких и экологичных. Согласно исследованиям по влиянию ГШ на свойства керамического кирпича, проведенным в Национальном Харьковском техническом университете «Харьковский политехнический институт», было установлено [10], что при изготовлении керамического кирпича можно добавлять к глине до 15% ГШ (в расчете на сухие вещества) и при этом получать кирпич с характеристиками, не уступающими традиционному глиняному кирпичу. Количество экстрагируемых ионов цветных металлов при контакте исследуемого кирпича с кислой водой была намного ниже их предельно допустимых концентраций. Эти же исследователи установили эффективность использования ГШ для изготовления архитектурно-строительной керамики [11].

Один из утилизационных способов применения ГШ предложен авторами. Он заключается в использовании ГШ в составе смесей на основе портландцемента (ПЦ) и изготовлении из этих смесей традиционных цементных изделий и конструкций.

Теоретическими предпосылками, которые были положены в основу наших исследований, явились следующие положения:

- решение одной экологической задачи не должно порождать создание других, например образование новых отходов, сточных вод, больших расходов энергии;
- не должно возникать потребности в затратах на капитальное строительство или дорогое оборудование;
- выбранная сфера исследования должна быть надежным могильником для ионов цветных металлов, из которого ни кислотные дожди, ни другие возможные воздействия не смогут их извлечь;
- выбранная сфера использования должна приводить к экономическому эффекту.

Именно такой сферой и является изготовление изделий из смесей портландцемента с традиционными компонентами и гальваношламами. Она полностью удовлетворяет всем экологическим и экономическим требованиям.

На основании изложенных представлений, авторы провели исследования влияния ГШ, образующихся на предприятиях Нижнего Новгорода, на свойства цементно-песчаных смесей.

Для исследований был использован портландцемент марки М400 (ГОСТ 30515–2013. «Цементы. Общие технические условия»), произведенный на Алексеевском цементном заводе, и песок стандартный для испытаний цементов (ГОСТ 6139–91 «Песок стандартный для испытаний цемента. Технические условия»). Ионный состав ГШ, который использовался в экспериментах, следующий (в пересчете на сухое вещество): Ca^{2+} – 24; Fe^{3+} – 5; Cu^{2+} – 1; Zn^{2+} – 1; Cr^{3+} – 1; Mn^{2+} – 0,01; Cd^{2+} – 0,05; Pb^{2+} – 0,1. На ГШ именно такого состава Нижегородский областной центр санэпиднадзора выдал разрешение на ис-

Влияние гальваношлама на механические свойства цементно-песчаных смесей
Influence of galvanic sludge on the mechanical properties of cement-sand mixtures

Вид смеси	Предел прочности, МПа, через промежуток времени, сут		
	При сжатии		При растяжении
	14	28	
Эталонная	3,9	4,2	1,2
Содержащая ГШ	4,2	5,6	1,3

пользование в цементных растворах для каменной кладки.

При проведении эксперимента в качестве функции отклика на введение ГШ определяли подвижность смесей, кинетику набора прочности при сжатии и растяжении, потерю ионов цветных металлов при продолжительном контакте с водой и влияние водных вытяжек на жизнедеятельность дафний.

В качестве эталона для сравнения был взят раствор марки 75, изготовленный из тех же материалов. Состав эталонной смеси (мас. ч): цемент – 100; песок – 600; вода – 110. Для сравнения приготовили такой же состав, но в него ввели 10 мас. ч ГШ.

Твердение образцов в течение первых 7 сут проходило при 100%-й относительной влажности воздуха и температуре 18–22°C, а затем на воздухе в помещении лаборатории (относительная влажность воздуха 60–80%, температура та же). Из смесей обоих составов были изготовлены образцы-цилиндры диаметром 300 мм и высотой 25 мм. Предел прочности при сжатии (ППС) определяли путем раздавливания цилиндров силой, действующей по высоте, а предел прочности при растяжении (ППР) – силой, направленной по образующей цилиндра. Этот способ основан на том, что в любой точке, расположенной по диаметру цилиндра, при нагружении по диаметру возникают только растягивающие напряжения.

Расчет ППР производился по формуле:

$$\text{ППР} = 2P/dh,$$

где P – разрушающая нагрузка; d – диаметр цилиндра; h – высота цилиндра.

В таблице представлены полученные результаты.

Значения, приведенные в таблице, свидетельствуют о том, что ГШ не только не снижает, но даже повышает как ППС, так и ППР.

Исследование влияния ГШ на подвижность цементных смесей показало, что они увеличивают водопотребность последних, что оказалось неожиданным. Авторам представляется, что извести и органические вещества, имеющиеся в ГШ, должны быть пластификаторами, т. е. разжижителями цементных смесей. Причину такого противоречия авторам представляется возможным объяснить высокой гигроскопичностью частиц гидроксидов металлов, об-

разующих этот отход. По-видимому, попадая в цементную смесь, они наращивают гидратную оболочку за счет воды затворения. Чтобы не вводить дополнительное количество воды, авторы изучили влияние на цементные смеси с ГШ традиционного пластификатора С–3. Установлено, что его влияние на смеси, содержащие ГШ, такое же, как и на смеси без ГШ.

Для исследования вымываемости ионов цветных металлов из цементных смесей осколки от разрушенных при механических испытаниях цилиндров превращали в крупку с размерами частиц 1–3 мм. Один грамм такой крупки помещали в стакан, в который было налито 50 мл дистиллированной воды.

Поскольку в настоящее время наиболее убедительным критерием качества воды считается дафниевый тест, вода, находившаяся в контакте с крупкой, в течение семи дней была проверена этим методом.

Был получен неожиданный результат: дафнии, помещенные в воду, которая находилась в контакте с крупкой, полученной из цементного камня, не содержащего ГШ, погибли. В воде, которая контактировала с крупкой, полученной из цементного камня, содержащего ГШ, дафнии жили. Полученный результат авторы объясняют тем, что из камня, не содержащего ГШ, вымываются ионы шестивалентного хрома, которые, как известно, присутствуют в отечественных порландцементах. При добавлении к цементу ГШ происходит восстановление этих ионов до трехвалентных (биологически неактивных) органическими веществами, присутствующими в ГШ.

Несмотря на убедительные свидетельства положительного влияния ГШ на цементные смеси и доказательство того, что ионы цветных металлов надежно фиксируются в цементном камне, до сих пор есть оппоненты такому направлению использования этих отходов, утверждающие, что процесс вымывания будет происходить, хотя бы изделие и экс-

плуатировалось в условиях, исключающих попадание влаги.

Чтобы отвести эту критику, авторами предложено гидрофобизировать цементные и бетонные изделия с ГШ кремнийорганическими соединениями. В последние годы производство этих веществ в России не только восстановлено, но даже по сравнению с советскими временами возросло как по объему, так и по ассортименту. В цементные и бетонные изделия, обработанные гидрофобизаторами, вода вообще не проникает.

При использовании ГШ в составе цементных смесей следует учитывать еще одно обстоятельство: в настоящее время эти отходы не разрешено вывозить на полигоны, они должны быть упакованы в специальную недешевую тару, в которой предписывается их хранить до возможного использования в будущем. К этому добавляются штрафы за хранение. При поставках же ГШ на бетонные заводы возникает обоюдная выгода: изготовитель не платит штраф, а потребитель может рассчитывать на некую выплату за вывоз ГШ, поскольку она устанавливается ниже штрафа, т. е. получает дополнительную заинтересованность в их использовании.

Вскоре после пионерных работ авторов [12] стала появляться информация и о новых исследованиях в этом направлении. Так, исследования, проведенные в Восточно-Сибирском государственном университете технологии и управления, показали [13], что соли алюминия, железа, цинка являются активаторами твердения вяжущих на основе портландцемента. Активаторами являются и гидроксиды металлов, которые находятся в ГШ в коллоидном состоянии в виде мицелл размером 10–20 нм. На мицеллах есть водная оболочка, которая препятствует их агрегации.

При анализе экологических и экономических аспектов обращения с ГШ неизбежен вывод, что использование ГШ в цементных смесях и экологично, и рентабельно.

Список литературы

1. Федеральный проект «Инфраструктура для обращения с отходами I–II классов опасности». <https://vyvoz.org/blog/federalnyy-proekt-infrastruktura-dlya-obrashcheniya-s-othodami-1-2-klassov-opasnosti/> (Дата обращения 25.01.22).
2. Stojković A., Stanisavljević M., Krstić N., Đorđević D., Milojević A., Krstić I. Inactivation of toxic metals from waste galvanic sludge by other hazardous waste. *Safety Engineering*. 2020. No. 1, pp. 123–129. DOI: <http://doi.org/10.5937/SE200103S>
3. Патент РФ 2235795. *Способ переработки гальваношламов* / Беляев И.В., Фомин А.И., Лонский В.Б. Заявл. 25.12.2002. Опубл. 10.09.2004. Бюл. № 2.
4. Патент РФ 2535110. *Способ переработки медного гальваношлама* / Гостищев В.В., Ри Хоссен, Комков В.И. Заявл. 05.07.2013. Опубл. 12.10.2014. Бюл. № 1.

References

1. Federal project «Infrastructure for the waste management of the first and second hazard classes». <https://vyvoz.org/blog/federalnyy-proekt-infrastruktura-dlya-obrashcheniya-s-othodami-1-2-klassov-opasnosti/> (Date of access 25.01.22). (In Russian).
2. Stojković A., Stanisavljević M., Krstić N., Đorđević D., Milojević A., Krstić I. Inactivation of toxic metals from waste galvanic sludge by other hazardous waste. *Safety Engineering*. 2020. No. 1, pp. 123–129. DOI: <http://doi.org/10.5937/SE200103S>
3. Patent RF 2235795. *Sposob pererabotki galvanoshlamov* [Method of galvanic sludge treatment]. Belyaev I.V., Fomin A.I., Lonsky V.B. Declared 25.12.2002. Published 10.09.2004. Bulletin No. 2. (In Russian).
4. Patent RF 2535110. *Sposob pererabotki mednogo galvanoshlama* [Method of the copper galvanic sludge treatment]. Gostishev V.V., Ree Hossen, Komkov V.I.

5. Патент РФ 2572680. *Способ переработки гальванических шламов* / Климов Е.С., Бузаева М.В., Завальцева О.А., Лейбель О.И. Заявл. 20.03.2014. Оpubл. 20.01.2016. Бюл. № 2.
6. Патент РФ 2690797. *Способ утилизации гальваношлама* / Макаров В.М., Калаева С.З., Дубов А.Ю. Заявл. 09.07.2018. Оpubл. 05.06.2019. Бюл. № 1.
7. Мухамедов К.Г., Насирова Н.К. Изучение возможности применения шламов водоочистки гальванических производств в производстве строительных композиционных материалов // *Universum: Технические науки*. 2020. № 12–4 (81). С. 5–9. DOI: <http://doi.org/10.32743/UniTech.2020.81.12-4.5-9>
8. Pérez-Villarejo L., Martínez-Martínez S., Carrasco-Hurtado B., Eliche-Quesada D., Ureña-Nieto C., Sánchez-Soto P.J. Valorization and inertization of galvanic sludge waste in clay bricks // *Applied Clay Science*. 2015. Vol. 105–106, pp 89–99. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2014.12.022>
9. Авторское свидетельство РФ 968046. *Асфальтобетонная смесь* / Бородкин А.С., Виноградов М.А., Найдено В.В. Заявл. 10.02.1982. Оpubл. 21.12.1982. Бюл. № 1.
10. Левицкий А.И., Павлукевич Ю.Г. Использование осадков сточных вод гальванического производства для изготовления керамического кирпича // *Стекло и керамика*. 2013. № 3. С. 7–13.
11. Богдан Е.О., Левицкий И.А. О возможности использования гальванических отходов в производстве архитектурно-строительной керамики // *Строительная наука и техника*. Минск. 2009. № 3. С. 17–21.
12. Войтович В.А., Хряпченкова И.Н. Гальваношламы: перерабатывать или использовать? // *Все материалы. Энциклопедический справочник*. 2019. № 5. С. 41–44. DOI: <http://doi.org/10.31044/1994-6260-2019-0-5-41-44>.
13. Урханова Л.А., Березовский П.В., Архинчеева Н.В. Модифицирование цементного камня микродобавками неорганических солей // *Строительные материалы*. 2021. № 1–2. С. 22–29. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-788-1-2-22-29>
- Declared 05.07.2013. Published 12.10.2014. Bulletin No. 1. (In Russian).
5. Patent RF 2572680. *Sposob pererabotki galvanicheskikh shlamov*[Method of galvanic sludge treatment]. Klimov E.S., Buzaeva M.V., Zavalzeva O.A. and others. [Method of galvanic sludge treatment]. Declared 20.03.2014. Published 20.01.2016. Bulletin No. 2. (In Russian).
6. Patent RF 2690797. *Sposob utilisazii galvanoshlama* [Method of galvanic sludge treatment]. Makarov V.M., Kalaeva S.Z., Dubov A.Y. Declared 09.07.2018. Published 05.06.2019. Bulletin No. 1. (In Russian).
7. Muhamedov K.G., Nasirova N.K. Studying the possibility of application of water treatment sludges from galvanizing productions in the production of building composite materials. *Universum: Tehnicheskie nauki*. 2020. No. 12–4 (81), pp. 5–9. DOI: <http://doi.org/10.32743/UniTech.2020.81.12-4.5-9>
8. Pérez-Villarejo L., Martínez-Martínez S., Carrasco-Hurtado B., Eliche-Quesada D., Ureña-Nieto C., Sánchez-Soto P.J. Valorization and inertization of galvanic sludge waste in clay bricks. *Applied Clay Science*. 2015. Vol. 105–106, pp 89–99. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2014.12.022>
9. Patent RF 968046. *Asfaltobetonnyaya smes'* [Asphalt concrete mixture]. Borodkin A.S., Vinogradov M.A., Naidenko V.V. Declared 10.02.1982. Published 21.12.1982. Bulletin No. 1. (In Russian).
10. Levitsky I.A., Pavlukevich Y.G. Application of galvanic sludge for ceramic bricks production. *Steklo I keramika*. 2013. No. 3, pp. 7–13. (In Russian).
11. Bogdan E.O., Levitsky I.A. About possibility of using galvanic waste in the construction ceramics production. *Stroitel'naya nauka i tehnika*. Minsk. 2009. No. 3, pp. 17–21.
12. Voitovich V.A., Khriapchenkova I.N. Galvanic sludge: reprocessing or using? *Vse materialy. Enziklopedicheskiyi spravochnik*. 2019. No. 5, pp. 41–44. DOI: <http://doi.org/10.31044/1994-6260-2019-0-5-41-44>
13. Urkhanova L.A., Berezovsky P.V., Arkhincheeva N.V. Modification of cement stone with microadditives of inorganic salts. *Stroitel'nye Materialy*[Construction Materials]. 2021. No. 1–2, pp. 22–29. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-788-1-2-22-29>

СПЕЦИАЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

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

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

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

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

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



По вопросам приобретения обращайтесь в издательство «Инфра-Инженерия»

УДК 627.8.034.93

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-807-10-79-84>

А.Н. ХАГЛЕЕВ^{1,2}, младший научный сотрудник (аспирант) (khagleev@yandex.ru);
Л.А. УРХАНОВА¹, д-р техн. наук (urkhanova@mail.ru);
М.А. МОКЕЕВ^{1,2}, инженер (maks_mok@mail.ru),
К.А. ДЕМИН^{1,2}, инженер (deminka.mail@gmail.com)

¹ Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления (670013, г. Улан-Удэ, ул. Ключевская, 40 В)

² Институт физического материаловедения СО РАН (670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6)

Гидроизоляционный материал для магистральных трубопроводов на основе полиэтилена, модифицированного в плазме скользящей дуги

Представлены результаты исследований влияния плазмы скользящей дуги на физико-механические свойства пленок полиэтилена. Установлено, что модификация пленок в плазме скользящей дуги увеличивает адгезию поверхности в зависимости от времени модификации, что позволяет получить гидроизоляционный материал с улучшенными эксплуатационными свойствами. При модификации поверхности пленок продолжительностью 10 с максимальное усилие отрыва клеевого шва увеличивалось на 18% и относительное удлинение снизилось на 31% по сравнению с исходными образцами. На поверхности модифицированных пленок по сравнению с исходными обнаружены функциональные группы: гидроксильные OH-, C-O и ν(C-C), что подтверждается результатами инфракрасной спектроскопии. На поверхности модифицированных пленок полиэтилена методами растрово-электронной микроскопии было обнаружено увеличение надмолекулярных структур в кристаллических областях до двух раз, с образованием морфологических структур, выступающих в роли ловушек для электронов. На основании вышеизложенного разработанный метод модификации поверхности полимерных пленок в плазме скользящей дуги является перспективным в области производства основы гидроизоляционных материалов с улучшенными адгезионными свойствами для магистральных трубопроводных систем.

Ключевые слова: гидроизоляция, гидроизоляционное покрытие, магистральный трубопровод, защита от коррозии, полиэтилен, пленка, модификация, адгезия.

Для цитирования: Хаглеев А.Н., Урханова Л.А., Мокеев М.А., Демин К.А. Гидроизоляционный материал для магистральных трубопроводов на основе полиэтилена, модифицированного в плазме скользящей дуги // *Строительные материалы*. 2022. № 10. С. 79–84. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-807-10-79-84>

A.N. KHAGLEEV^{1,2}, Research Assistant (Postgraduate) (khagleev@yandex.ru),

L.A. URKHANOVA¹, Doctor of Sciences (Engineering) (urkhanova@mail.ru),

M.A. MOKEEV^{1,2}, Engineer (maks_mok@mail.ru)

K.A. DEMIN^{1,2}, Engineer (deminka.mail@gmail.com)

¹ East Siberia State University of Technology and Management (40 B, Structure 1, Klyuchevskaya Street, 670013, Ulan-Ude, Russian Federation)

² Institute of Strength Physics and Materials Science of Siberian Branch Russian Academy of Sciences (6, Sakhyanova street, 670047, Ulan-Ude, Russian Federation)

Waterproofing Material for Main Pipelines Based on Polyethylene Modified in Gliding Arc Plasma

The results of studies of the effect of gliding arc plasma on the physical and mechanical properties of polyethylene films are presented. It is established that the modification of films in the plasma of the gliding arc increases the adhesion of the surface depending on the modification time, which makes it possible to obtain a waterproofing material with improved performance properties. When modifying the surface of films with a duration of 10 seconds, the maximum separation force of the adhesive seam increases by 18% and the elongation decreased by 31% compared to the original samples. Functional groups were found on the surface of the modified films in comparison with the original ones: hydroxyl OH-, C-O and ν(C-C) groups, confirmed by the results of infrared spectroscopy. On the surface of modified polyethylene films, scanning electron microscopy revealed an increase of supramolecular structures in crystalline regions, up to 2 times, with the formation of morphological structures acting as electron traps. Based on the above, the developed method of modifying the surface of polymer films in the plasma of a gliding arc is promising in the field of production of the base material of waterproofing materials with improved adhesive properties for main pipeline systems.

Keywords: waterproofing, waterproofing coating, main pipeline, corrosion protection, polyethylene, film, modification, adhesion.

For citation: Khagleev A.N., Urkhanova L.A., Mokeev M.A., Demin K.A. Modification of the surface of a polyethylene film in a gliding arc plasma for the production of waterproofing material. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2022. No. 10, pp. 79–84. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-807-10-79-84>

Основной задачей гидроизоляционных покрытий является защита поверхности стальных магистральных трубопроводов от воздействий окружающей среды. Отечественный и зарубежный опыт применения гидроизоляционных покрытий показывает, что основными их видами являются битумные, рулонные и комбинированные. Битумные покрытия ха-

рактеризуются высокой сплошностью и адгезией к защищаемой поверхности. Недостатками таких покрытий является подверженность старению и охрупчивание при воздействии ультрафиолетового излучения и резких перепадов температуры [1]. Рулонные гидроизоляционные покрытия характеризуются большим рабочим температурным диапазоном, од-

Таблица 1
Table 1

Прочность клеевого шва модифицированных пленок ПЭ и СтПЭ
Glue strength of modified polyethylene and stabilized polyethylene membrane

Время модификации, с	Усилие отрыва в нахлесточном соединении, Н			
	ПЭ+ПЭ		СтПЭ+СтПЭ	
	Бутадиен-стирольный каучук	Гидроизоляционный адгезив	Бутадиен-стирольный каучук	Гидроизоляционный адгезив
0	28,1	21,1	4,2	3,2
5	29,6	25,5	48,5	43,3
10	33,2	30,6	58,3	53,3
15	30,7	28,5	59,4	54,1
30	31,4	26,3	56,8	51,1

нако низкая адгезия к клеевым композициям и защищаемым поверхностям снижает срок эксплуатации данного вида гидроизоляции [2]. Нормативный срок эксплуатации битумных и рулонных гидроизоляционных покрытий составляет 15–20 лет, фактический срок эксплуатации битумных покрытий равен 12 лет [3]. Активное применение этих видов гидроизоляционных материалов за последние 20 лет привело к значительному росту ремонтных и реизоляционных работ на магистральных трубопроводах. Комбинированные покрытия выполняются на основе полимерно-битумных материалов, имеющих срок эксплуатации более 30 лет и устраняющих вышеперечисленные недостатки [4]. Главное преимущество их применения заключается в возможности нанесения изоляции на все диаметры магистральных трубопроводов, в то время как битумные и рулонные имеют ряд ограничений.

Несмотря на все достоинства комбинированного покрытия, наиболее уязвимым местом является клеевой шов, прочность которого зависит от адгезии материала основы гидроизоляционного материала. На практике для увеличения адгезии полимерной пленки – материала основы применяют различные методы модификации, к числу которых относятся химические и плазменные. Химическая модификация направлена на изменение химической структуры полимерного материала путем частичной деструкции, введением и формированием новых функциональных групп или иных структур. Недостатком этого метода является модификация всего объема материала, снижающая прочностные характеристики модифицированной пленки [5, 6]. Плазменная модификация, осуществляемая воздействием потоков заряженных частиц, квантов УФ-излучения, свободных атомов, радикалов и возбужденных частиц, позволяет получить материал с улучшенными адгезионными свойствами только поверхности [7]. После ряда таких взаимодействий на поверхности создается слой из активных центров, карбоксильных и гидроксильных групп, наблюдаются структурные изменения, связанные с увеличением доли кристаллической фазы полимера, способствующих улучшению адге-

зионных свойств, что позволяет увеличить прочность клеевых соединений [8].

Учитывая перспективность использования плазменной модификации в производстве комбинированных гидроизоляционных материалов с целью увеличения адгезии, было проведено исследование влияния плазмы скользящей дуги на поверхность полимерных материалов. Модификацию проводили на установке, разработанной в Восточно-Сибирском государственном университете технологий и управления [9]. Основные характеристики плазменной дуги: частота дуги – 15 кГц, потребляемая мощность – 300Вт, временной диапазон – от 0 до 30 с. В качестве материалов использовался полиэтилен (ПЭ) и стабилизированный полиэтилен (СтПЭ) за счет высоких показателей химической стойкости, морозостойкости, износостойкости и стойкости к ультрафиолетовому излучению последнего.

Анализ полученных результатов показал, что модифицированные пленки ПЭ и СтПЭ в качестве материала основы комбинированного гидроизоляционного материала являются перспективными. Примером такого материала является лента полимерно-битумная с применением клея-адгезива. Опыт эксплуатации таких покрытий показывает, что наиболее уязвимым местом гидроизоляционного покрытия является клеевой шов при нанесении покрытия внахлест, прочность которого определяется адгезией склеиваемых материалов и видом клея-адгезива [10]. Исследование усилия отрыва смежных витков при нанесении гидроизоляционного покрытия внахлест проводилось на универсальной машине Instron 3367. Толщина образцов составляла 100 мкм и 200 мкм для ПЭ и СтПЭ соответственно, площадь клеевого соединения – 400 мм². При исследовании использовался адгезив на основе бутилкаучука производства ОАО «Воронежсинтезкаучук» и гидроизоляционный адгезив на каучуково-смоляной основе производства АО «Кронос СПБ» (табл. 1).

Так при модификации пленок ПЭ 10 с достигается максимальное значение усилия отрыва в нахлесточном соединении 33,2 Н, что на 19% больше, чем у полимерной изоляционной ленты «Полилен»,

Таблица 2
Table 2

Относительное удлинение
и максимальная нагрузка пленок ПЭ и СтПЭ
Relative elongation and maximum load of polyethylene
and stabilized polyethylene membrane

Состав композиции	Время модификации, с	Значение относительного удлинения, %	Максимальная нагрузка, Н
ПЭ	0	290	45,78
	5	250	46,81
	10	220	48,48
	15	210	47,62
	30	200	46,92
СтПЭ	0	330	87,94
	5	290	88,23
	10	250	97,7
	15	220	105,32
	30	210	104,22
ПЭ + гидроизоляционный адгезив	0	310	47,21
	5	270	48,41
	10	250	52,74
	15	230	51,5
	30	210	49,32
СтПЭ + гидроизоляционный адгезив	0	330	90,21
	5	300	91,63
	10	260	95,4
	15	240	105,92
	30	220	103,61

применяемой в настоящее время на объектах ПАО «Газпром».

Для пленок СтПЭ наилучшим значением времени является 15 с с достижением значений усилия отрыва покрытия внахлест 51,4 Н. При достижении 30 с на поверхности модифицированной пленки происходят процессы термической деструкции молекул цепи полимера с последующей карбонизацией и уменьшением адгезии, о чем свидетельствует уменьшение показателей прочности клеевого шва.

После укладки изолированного магистрального трубопровода в траншею гидроизоляционное покрытие подвергается механическим воздействиям продольного и поперечного направлений, приводящие к разрушению целостности изоляции. Для предотвращения последствий такого воздействия гидроизоляционный материал должен соответствовать нормативным значениям относительного удлинения и выдерживать необходимые нагрузки.

Разрывное усилие и относительное удлинение материала основы и разрабатываемого гидроизоляционного материала испытывались по ГОСТ 9.602–2016 «Единая система защиты от коррозии и старения.

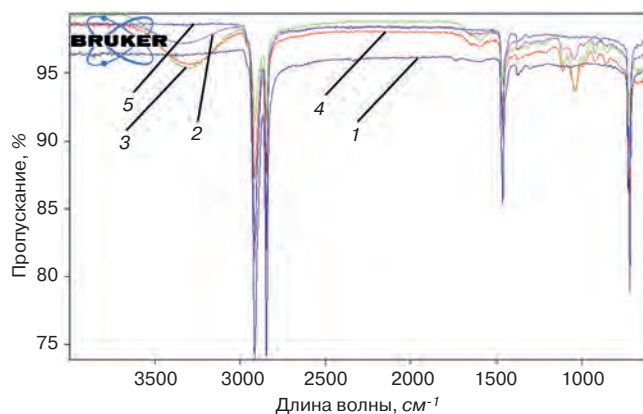


Рис. 1. ИК-спектры пленок ПЭ, ALPHA (Bruker), БИП СО РАН: 1 – немодифицированной; 2 – модифицированной в плазме скользящей дуги при 5 с; 3 – то же при 10 с; 4 – то же при 15 с; 5 – то же при 30 с

Fig. 1. IR spectra of polyethylene membrane, ALPHA (Bruker): 1 – unmodified; 2 – plasma-modified sliding arc at 5 s; 3 – the same at 10 s; 4 – the same at 15 s; 5 – the same at 30 s

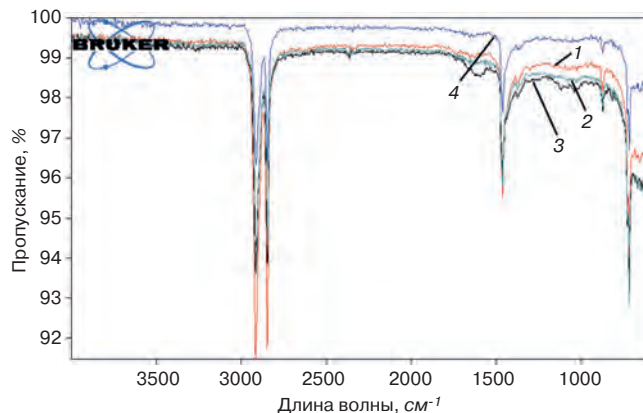


Рис. 2. ИК-спектры пленок СтПЭ, ALPHA (Bruker), БИП СО РАН: 1 – немодифицированной; 2 – модифицированной в плазме скользящей дуги при 10 с; 3 – то же при 15 с; 4 – то же при 30 с

Fig. 2. IR spectra of stabilized polyethylene membrane, ALPHA (Bruker): 1 – unmodified; 2 – plasma-modified sliding arc at 10 s; 3 – the same at 15 s; 4 – the same at 30 s

Сооружения подземные. Общие требования к защите от коррозии» (табл. 2).

Согласно результатам увеличение времени модификации полимерных пленок ПЭ и СтПЭ плазмой скользящей дуги приводит к увеличению значений максимальной нагрузки, при которой происходит когезионное разрушение материала. С другой стороны, время модификации негативно влияет на показатели относительного удлинения, находясь в гранично-допустимых значениях, предъявляемых по нормативным документам. Так, значения относительного удлинения при модификации пленок ПЭ и СтПЭ продолжительностью 10 и 15 с составляют 220 и 250% соответственно, что выше на 20 и 50% по сравнению с полимерной изоляционной лентой «Полилен». При нанесении клея-адгезива на поверхность модифицированной пленки максимальная нагрузка увеличилась на 8,7% для пленок ПЭ и на 1,6% для пленок СтПЭ. Увеличение значений максимальной нагрузки связано с пластичностью и стойкостью к растяжению клея-адгезива на каучуковой основе. Значения от-

Таблица 3
Table 3

Атомарный анализ пленок ПЭ и СтПЭ
(JSM-6510LV JEOL, ЦКП «Прогресс» ВСГУТУ)
Atomic analysis of polyethylene and stabilized
polyethylene membrane (JSM-6510LV JEOL,
Progress Shared Use Center, East Siberia
State University of Technology and Management)

Тип пленки	ПЭ		СтПЭ	
	С	О	С	О
Химический элемент, %				
немодифицированная	100	–	100	–
скользящая дуга, 5 с	95,02	4,98	97,76	2,24
скользящая дуга, 10 с	92,67	7,33	96,05	3,95
скользящая дуга, 15 с	90,8	9,2	95,62	4,38
скользящая дуга, 30 с	91,1	5,03	96,91	3,09

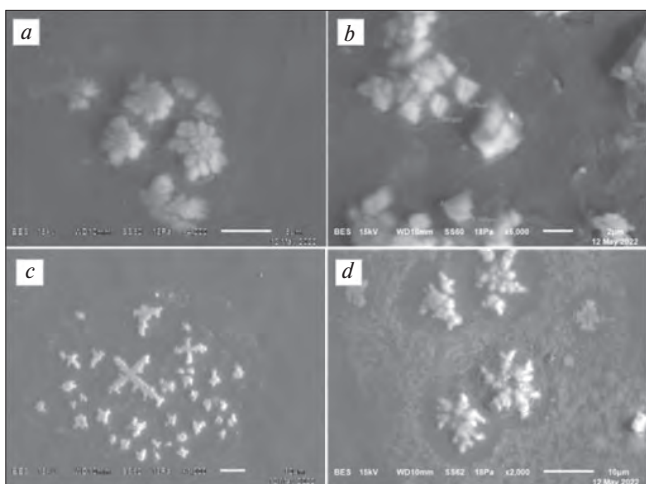


Рис. 3. Микрофотография морфологических структур ПЭ, JSM-6510LV JEOL, ЦКП «Прогресс» ВСГУТУ: а – ПЭ, до модификации (5 мкм); б – ПЭ, 5 с модификации (2 мкм); с – ПЭ, 10 с модификации (10 мкм); д – ПЭ, 15 с модификации (10 мкм)

Fig. 3. Micrograph of the morphological structures of polyethylene: а – polyethylene, before modification (5 μm); б – polyethylene, 5 s modification (2 μm); с – polyethylene, 10 s modification (10 μm); д – polyethylene, 15 s modification (10 μm)

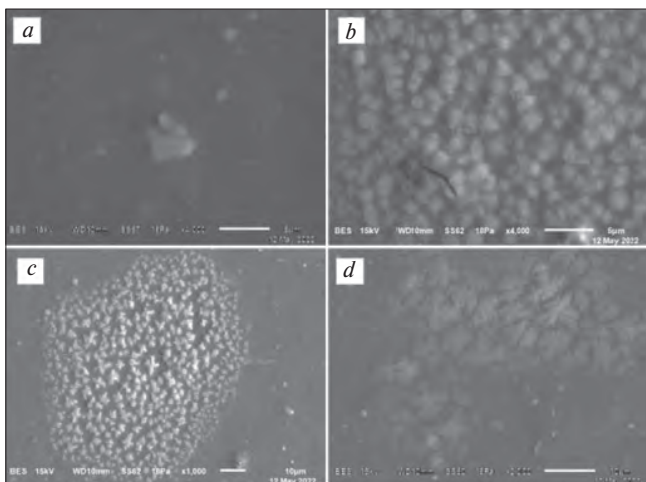


Рис. 4. Микрофотография морфологических структур СтПЭ, JSM-6510LV JEOL, ЦКП «Прогресс» ВСГУТУ: а – СтПЭ, до модификации (5 мкм); б – СтПЭ, 10 с модификации (5 мкм); с – СтПЭ, 15 с модификации (5 мкм); д – СтПЭ, 30 с модификации (10 мкм)

Fig. 4. Micrograph of the morphological structures of stabilized polyethylene: а – stabilized polyethylene, before modification (5 μm); б – stabilized polyethylene, 10 s modification (5 μm); с – stabilized polyethylene, 15 s modification (5 μm); д – stabilized polyethylene, 30 s modification (10 μm)

носительного удлинения для всех материалов превышают значения в 200%, что соответствует материалу «Полилен» [11].

С целью изучения физических процессов и химических изменений модифицированных пленок ПЭ и СтПЭ в плазме скользящей дуги методами инфракрасной спектроскопии была исследована поверхность до и после модификации по методике, изложенной в ГОСТ Р 57941–2017 «Композиты полимерные. Инфракрасная спектроскопия. Качественный анализ» (рис. 1, 2).

Как известно, кислородосодержащие функциональные группы, находящиеся на поверхности пленки, увеличивают смачиваемость и адгезию к клеям и адгезивам [12]. Модификация поверхности пленок ПЭ и СтПЭ плазмой скользящей дуги привела к увеличению кислородосодержащих функциональных групп по сравнению с исходными материалами. В диапазоне от 3600 до 3000 см⁻¹ наблюдается появление деформационных колебаний гидроксильных ОН-групп, в области 1200–1000 см⁻¹ – колебаний (С–О) групп, что указывает на окисление поверхности. При дальнейшем увеличении времени модификации наблюдаются полосы поглощения в области 1300–1100 см⁻¹, вызванные колебаниями СН₂– и ν(С–С) групп.

Образование кислородосодержащих групп на поверхности ПЭ и СтПЭ подтверждается результатами исследования атомарного состава методом растровой электронной микроскопии (табл. 3).

Увеличение отношения О/С от 0 до 9,2% для ПЭ и до 4,38% для СтПЭ приводит к улучшению смачиваемости из-за образования гидроксильных ОН-групп и кислородосодержащих полярных функциональных групп на поверхности полимерной пленки.

Свойства поверхности и приповерхностных слоев во многом определяют поведение полимерной пленки в полях различной природы полимеров и зависят от вида упорядоченности во взаимном расположении макромолекул [13]. Исследование структурных изменений в поверхностном слое полимера представлены микрофотографиями морфологических структур (рис. 3, 4).

На рис. 3 и 4 наблюдается увеличение надмолекулярных структур в кристаллических областях до двухраз. Доля объема полимера, занятая кристаллическими структурами, в процессе модификации увеличивается, что было отмечено увеличением интенсивности полос поглощения, отвечающих за кристаллическую фазу. Остальная доля объема занята макромолекулами или сегментами макромолекул, не включенными в кристаллит и не образующими упорядоченных структур. Переход от кристаллита к неупорядоченной области происходит не скачкообразно, а постепенно через ряд промежуточных форм упорядоченности. На поверхности наблюдаются поликристаллические структуры, называемые сферолитами, совместно со сложнокристаллическими образованиями – дендритами. В первые 5–10 с модификации для ПЭ и 10–15 с для СтПЭ наблюдается увеличение количества кристалли-

тов малого размера (1,5–2 мкм), увеличивающих площадь границ раздела между кристаллической и аморфной фазами, служащих энергетической ловушкой для инжектированных носителей заряда [14]. Наличие структур улучшает электретные свойства полимерных пленок, влияющие на адгезионные свойства [15].

Дальнейшая модификация поверхности пленок ПЭ и СтПЭ приводит к росту размеров (5–10 мкм) сферолитных и дендритных структур, увеличивающих площадь границы раздела фаз, однако такой рост приводит к смещению области внутренних напряжений и зоны разрушения по направлению к данной межфазной границе.

Список литературы

1. Абдуллин Н.В., Рафиков С.К., Коробкова В.М. Определение состава битумного изоляционного покрытия для ремонта изоляции трубопроводов // *Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья*. 2021. № 4. С. 60–63. DOI: <https://doi.org/10.24412/0131-4270-2021-4-60-63>
2. Кудяшова Р.А., Истюкова А.Д. Особенности свойств и применения материалов для гидроизоляции труб. *Вузовская наука в современных условиях: Сборник материалов 55-й научно-технической конференции*. Ульяновск, 2021. Т. 2. С. 44–47.
3. Кузьмин В.В., Животов Д.А. Обоснование выбора технологий для реконструкции гидроизоляции подземных частей зданий и сооружений АЭС // *Colloquium-journal*. 2020. № 8. С. 33–40. DOI: <https://doi.org/10.24411/2520-6990-2020-11526>
4. Давыдов А.Н., Иванов В.А., Серебренников Д.А., Берг В.И. Определение зависимостей свойств изоляционных покрытий от условий эксплуатации трубопровода // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2014. № 4. С. 169–173.
5. Князев В.К., Сидоров Н.А. Облученный полиэтилен в технике. М.: Химия, 1974. 374 с.
6. Черниговская М.А. Способы модификации полимерных материалов для формирования гибридных композитов с протонпроводящими свойствами // *Вестник Ангарского государственного технического университета*. 2019. № 13. С. 101–105.
7. Гильман А.Б. Плазмохимическая модификация поверхности полимерных материалов // *Школа по плазмохимии для молодых ученых России и стран СНГ*. URL: <https://www.isuct.ru/conf/plasma/index.htm> (дата обращения 18.06.2022).
8. Дмитриев Я.В. Особенности флексографской печати УФ-отверждаемыми красками на невпитывающих поверхностях: Дис. канд. техн. наук. М., 2013. 151 с.
9. Урханова Л.А., Хаглеев А.Н., Мокеев М.А., Демин К.А., Агнаев С.С. Модификация пленок полиэтилена в низкотемпературной плазме скользящего разряда для создания рулонной

На основании анализа результатов было установлено, что модификация полимерных пленок в плазме скользящей дуги обеспечивает образование функциональных групп, активных центров на поверхности, улучшающих адгезионные свойства полимерных материалов в составе комбинированного гидроизоляционного материала. Разработанный метод модификации избавляет от необходимости использования дорогостоящих химических реактивов, что позволяет существенно улучшить адгезионную прочность и долговечность гидроизоляционных покрытий для стальных магистральных трубопроводов.

References

1. Abdullin N.V., Rafikov S.K., Korobkova V.M. Determination of the composition of bitumen insulation coating for pipeline insulation repair. *Transport i khranenie nefteproduktov i uglevodorodnogo syr'ya*. 2021. No. 4, pp. 60–63. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.24412/0131-4270-2021-4-60-63>
2. Kudyashova R.A., Istyukova A.D. Features of properties and applications of materials for pipe waterproofing. *University science in modern conditions: collection of materials of the 55th Scientific and Technical Conference*. Ulyanovsk. 2021. Vol. 2, pp. 44–47. (In Russian).
3. Kuzmin V.V., Zhivotov D.A. Justification of the choice of technology for the reconstruction of waterproofing of underground parts of buildings and structures of nuclear power plants. *Colloquium-journal*. 2020. No. 8, pp. 33–40. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.24411/2520-6990-2020-11526>
4. Davydov A.N., Ivanov V.A., Serebrennikov D.A., Berg V.I. Definition dependence of the properties of the insulation coating on the operating conditions pipeline. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*. 2014. No. 4, pp. 169–173. (In Russian).
5. Knyazev V.K., Sidorov N.A. Obluchennyi polietilen v tekhnike [Irradiated polyethylene in engineering]. Moscow: Khimiya. 1974. 374 p.
6. Chernigovskaya M.A. The analysis of operation of the foaming apparatus operation for chemically contaminated water treatment. *Vestnik of the Angarsk State Technical University*. 2019. No. 13, pp. 101–105. (In Russian).
7. Gil'man A.B. Plasmochemical modification of the surface of polymer materials. *School of Plasma Chemistry for young scientists from Russia and CIS countries*. https://www.isuct.ru/conf/plasma/LECTION/Gilman_lecture.html (Date of access 18.06.2022). (In Russian).
8. Dmitriev Ya.V. Features of flexographic printing with UV-curable inks on non-absorbent surfaces. Moscow. Cand. Diss. (Engineering). 2013. 151 p. (In Russian).
9. Urkhanova L.A., Khagleev A.N., Mokeev M.A., Demin K.A., Agnaev S.S. Modification of polyethylene films in low-temperature gliding discharge plasma to create roll waterproofing. *Vestnik of ESSTUM*. 2021.

- гидроизоляции // *Вестник ВСГУТУ*. 2021. № 4. С. 72–78. DOI: <https://doi.org/10.53980/2413-1997-2021-4-72>
10. Мустафин Ф.А. Сооружение и ремонт трубопроводов с применением гидрофобизированных грунтов. М.: Недра, 2003. 233 с.
 11. Харисов Р.А. Совершенствование технологии изоляции трубопроводов полимерными ленточными покрытиями с двусторонним липким слоем: Дис. канд. техн. наук. Уфа, 2011. 246 с.
 12. Анчаров А.А., Витязь П.А., Ворсина И.А. Механокомпозиты-прекурсоры для создания материалов с новыми свойствами. Новосибирск: Изд-во Сибирского отделения Российской академии наук, 2010. 432 с.
 13. Лебедев Д.В. Молекулярная подвижность в приповерхностных нанослоях полимеров. Молекулярная подвижность в приповерхностных нанослоях полимеров: Дис. канд. физ.-мат. наук. СПб., 2011. 191 с.
 14. Каримов И.А. Влияние состава, условий получения и переработки полиолефиновых композиционных материалов на их электретные свойства: Дис. канд. техн. наук. Казань, 2015. 149 с.
 15. Галихов М.Ф. Полимерные композиционные коронозелетры: Дис. док. техн. наук. Казань, 2009. 399 с.
 - No. 4, pp. 72–98. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.53980/2413-1997-2021-4-72>
 10. Mustafin F.A. Sooruzhenie i remont truboprovodov s primeneniem gidrofobizirovannykh gruntov [Construction and repair of pipelines using hydrophobized soils]. Moscow: Nedra. 2003. 233 p.
 11. Kharisov R.A. Improving the technology of pipeline insulation with polymer tape coatings with a double-sided sticky layer. Cand. Diss. (Engineering). Ufa. 2011. 246 p. (In Russian).
 12. Ancharov A.A., Vityaz' P.A., Vorsina I.A. Mekhano-kompozity –prekursory dlya sozdaniya materialov s novymi svoystvami [Mechanocomposites are precursors for creating materials with new properties]. Novosibirsk. Publishing house of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. 2010. 432 p.
 13. Lebedev D.V. Molecular mobility in near-surface nanolayers of polymers. Molecular mobility in near-surface nanolayers of polymers. Saint Petersburg. Cand. Diss. (Physics and Mathematics). 2011. 191 p. (In Russian).
 14. Karimov I.A. The influence of the composition, conditions for the production and processing of polyolefin composite materials on their electret properties. Cand. Diss. (Engineering). Kazan. 2015. 149 p. (In Russian).
 15. Galikhov M.F. Polymer composite crown portraits. Cand. Diss. (Engineering). Kazan. 2009. 399 p. (In Russian).

Требования к статьям, направляемым для публикации в журнал «Строительные материалы»[®]

Уважаемые авторы!

Приступая к оформлению статьи для журнала внимательно ознакомьтесь с правилами и рекомендациями, размещенными на сайте издательства.

Как подготовить к публикации научно-техническую статью см. раздел <https://journal-cm.ru/index.php/ru/avtoram>

Статьи, направляемые для опубликования, должны оформляться в соответствии с техническими требованиями издания:

– текст статьи должен быть набран в редакторе Microsoft Word и сохранен в формате *.doc или *.rtf;

– графический материал (графики, схемы, чертежи, диаграммы, логотипы и т. п.) должен быть выполнен в графических редакторах: CorelDraw, Adobe Illustrator и сохранен в форматах *.cdr, *.ai, *.eps соответственно. Сканирование графического материала и импорт его в перечисленные выше редакторы недопустимо;

– иллюстративный материал (фотографии, коллажи и т. п.) необходимо сохранять в формате *.tif, *.psd, *.jpg (качество «8 – максимальное») или *.eps с разрешением не менее 300 dpi, размером не менее 115 мм по ширине, цветовая модель CMYK или Grayscale.

Материал, передаваемый в редакцию в электронном виде, должен сопровождаться:

- рекомендательным письмом руководителя предприятия (института);
- лицензионным договором о передаче права на публикацию;
- распечаткой, лично подписанной ВСЕМИ авторами;
- рефератом объемом не менее 150 слов на русском и английском языках;
- подтверждением, что статья предназначена для публикации в журнале «Строительные материалы»[®], ранее нигде не публиковалась и в настоящее время не передана в другие издания;
- сведениями об авторах с указанием полностью фамилии, имени, отчества, ученой степени, должности, контактных телефонов, почтового и электронного адресов (заполненная информационная карта).

Особое внимание библиографическим спискам!

НЕ РЕКОМЕНДУЕТСЯ:

1. Включать ссылки на федеральные законы, подзаконные акты, ГОСТы, СНиПы и др. нормативную литературу. Упоминание нормативных документов, на которые опирается автор в испытаниях, расчетах или аргументации, лучше делать непосредственно по тексту статьи.

2. Ссылаться на учебные и учебно-методические пособия; статьи в материалах конференций и сборниках трудов, которым не присвоен ISBN и которые не попадают в ведущие библиотеки страны и не индексируются в соответствующих базах.

3. Ссылаться на диссертации и авторефераты диссертаций.

4. Самоцитирование, т. е. ссылки только на собственные публикации автора. Такая практика не только нарушает этические нормы, но и приводит к снижению количественных публикационных показателей автора.

ОБЯЗАТЕЛЬНО следует:

1. Ссылаться на статьи, опубликованные за последние 2–5 лет в ведущих научно-технических и научных изданиях, на которые опирается автор в построении аргументации или постановке задачи исследования.

2. Ссылаться на монографии, опубликованные за последние 5 лет. Более давние источники также негативно влияют на показатели публикационной активности автора.

Несомненно, что возможны ссылки и на классические работы, однако не следует забывать, что наука всегда развивается поступательно вперед и незнание авторами последних достижений в области исследований может привести к дублированию результатов, ошибкам в постановке задачи исследования и интерпретации данных.

Технологическая безопасность гипсовой отрасли:

результаты научных исследований

развитие технологии и оборудования

применение гипсовых материалов в строительстве



Редакция научно-технического журнала «Строительные материалы» и Российская гипсовая ассоциация объявляют конкурс научных и научно-практических статей по гипсовой тематике.

В конкурсе принимают участие статьи, опубликованные в течение года с № 8-2022 г. по № 8-2023 г. по темам:

- Результаты научных исследований в области создания новых и оптимизации существующих гипсовых материалов
- Развитие технологии производства гипсовых материалов и изделий
- Техногенные гипсовые отходы и возможность их вовлечения в производство
- Применение гипсовых материалов в строительстве

Объявление итогов конкурса и награждение победителей состоится в рамках 11-й Международной научно-практической конференции «Повышение эффективности производства и применения гипсовых материалов и изделий»

К участию в конкурсе приглашаются:

магистранты, аспиранты, докторанты, соискатели ученой степени кандидата и доктора наук, сотрудники производственных предприятий и научно-производственные коллективы.

Рукописи статей необходимо представлять в редакцию в соответствии с техническими требованиями (см. раздел «Авторам» на сайте журнала <https://journal-cm.ru/index.php/ru/avtoram>) с пометкой «На конкурс статей по гипсу».

Крайний срок подачи конкурсных статей 1 июля 2023 г.

Конкурсная комиссия определяет лучшие статьи и объявляет победителей конкурса.

Победители конкурса награждаются ценными подарками, годовой подпиской на журнал «Строительные материалы» на 2024 г. и дипломами лауреата.

Авторам всех конкурсных статей вручаются дипломы участников конкурса.



www.rifsm.ru

www.journal-cm.ru

www.rosgips.ru

(499) 976-20-36, 976-22-08

5-7 апреля 2023 г.

МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА

СПТОКРАНЫ

СПЕЦТЕХНИКА И ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

ЦВК ЭКСПОЦЕНТР павильон № 8



IX МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-
ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

«ОПОРЫ И ФУНДАМЕНТЫ ДЛЯ ВЛ: ТЕХНОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И СТРОИТЕЛЬСТВА»

МЕРОПРИЯТИЕ ПРОЙДЕТ В РАМКАХ МЕЖДУНАРОДНОГО
ФОРУМА «ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ» (МФЭС)

24–25
НОЯБРЯ
2022

МОСКВА
ВДНХ,
ПАВИЛЬОН 55, ЭТАЖ 3

Организатор конференции



INTERNATIONAL
ASSOCIATION OF
FOUNDATION
CONTRACTORS

10 ЛЕТ²⁰²²

МЕЖДУНАРОДНАЯ АССОЦИАЦИЯ
ФУНДАМЕНТОСТРОИТЕЛЕЙ

Генеральный спонсор конференции



Официальная поддержка



МФЭС



Генеральные информационные партнеры



НИЦ строительство
научно-исследовательский центр



12+

www.fc-union.com

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