

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ[®] №10



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ ИЗДАЕТСЯ С 1955 г. WWW.RIFSM.RU WWW.JOURNAL-CM.RU ОКТЯБРЬ 2018 г. (764)

PROGRESS GROUP



ГЛОБАЛЬНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ИНДУСТРИИ СБОРНОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОНА

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

www.progress-group.info





Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь

АО «ЦНИИЭП жилища – институт комплексного проектирования жилых и общественных зданий» (АО «ЦНИИЭП жилища»)

Объединенная редакция научно-технических журналов «Жилищное строительство» и «Строительные материалы»®



IX Международная научно-практическая конференция
«**InterConPan: индустриальное домостроение**»

InterConPan-2019

International Conference of Large-panel Construction

21–23 мая 2019 г. / May 21–23, 2019

Минск / Minsk



ТЕМАТИКА:

- Модернизация предприятий КПД
- Оборудование и технологии
- Инновационные строительные системы
- Современные бетоны, добавки и пигменты
- BIM технологии в сборном домостроении
- Архитектурно-планировочные решения
- Качество и энергоэффективность индустриальных зданий
- Новые решения фасадов
- Опыт строительства крупнопанельного жилья

ПРОГРАММА:

- 21 мая** Пленарное заседание
Выездная сессия КПД №3 ОАО «МАПИД»; жилой комплекс в Минске
- 22 мая** Секции: «Архитектура крупнопанельных зданий»; «Гибкая технология предприятий КПД»
выездная сессия ОАО «Борисовжилстрой»
- 23 мая** выездная сессия: ОАО «Гомельский домостроительный комбинат», объекты инфраструктуры в Гомеле.
Возвращение в Минск.

Постоянный спонсор:

PROGRESS GROUP

Постоянный партнер:

ALLBAU
software

Поддержка:



Государственное предприятие
«Институт жилища - НИПТИС им. Атаева С.С.»

К проведению конференции готовятся тематические номера журналов «Жилищное строительство» № 3-2019 г. и «Строительные материалы»® № 3-2019 г., в которых будут опубликованы основные пленарные и секционные доклады. Представление докладов в виде статей до 1.03.2019 г.

Электронная заявка: www.interconpan.ru

Организационный комитет:

Телефон/факс: +7 (499) 976-20-36, 976-22-08

kpd-conf@mail.ru; mail@rifsm.ru www.rifsm.ru

Адрес для корреспонденции: 127434, Москва, Дмитровское ш., д. 9, стр. 3, оф. 407. Редакция журнала «Жилищное строительство»

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ® №10

Основан в 1955 г.

(764) октябрь 2018 г.

Учредитель журнала:

ООО Рекламно-издательская
фирма «СТРОЙМАТЕРИАЛЫ»
Свидетельство о регистрации
ПИ №77-1989

Входит в Перечень ВАК,
государственный проект РИНЦ,
Russian Science Citation Index
на платформе Web of Science

Главный редактор:

ЮМАШЕВА Е. И.,
инженер-химик-технолог,
почетный строитель России

Редакционный совет:

РЕСИН В. И.,
председатель, д-р экон. наук,
профессор, академик РААСН (Москва)

АСКАДСКИЙ А. А.,
д-р хим. наук, профессор (Москва)

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

БУТКЕВИЧ Г. Р.,
канд. техн. наук, член правления
Ассоциации «Недра» (Москва)

ВАЙСБЕРГ Л. А.,
д-р техн. наук, профессор,
академик РАН
(Санкт-Петербург)

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)

ЖУРАВЛЕВ А. А.,
Президент Ассоциации «Недра» (Москва)

КОРОЛЕВ Е. В.,
д-р техн. наук, профессор (Москва)

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)

ПИЧУГИН А. П.,
д-р техн. наук, профессор
(Новосибирск)

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

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

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

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

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

С. ШЕБЛ 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)

Крупнопанельное домостроение

VIII Международная научно-практическая конференция
«InterConPan-2018: от КПД к каркасно-панельному домостроению»..... 3

Новая жилая площадь для населения Монголии: завод по производству
сборных бетонных элементов успешно запущен в эксплуатацию 10

ТАРГО КАЛАМЕЕС, ПЕЕП ПИХЕЛО, КАЛЛЕ КУУСК

Энергетическая реновация типового бетонного жилого дома в Эстонии
с использованием деревянного модульного элемента 13

Современные бетоны: наука и практика

М.Е. ЖУРКОВСКИЙ, А.Н. БЛАЗНОВ, И.К. ЖАРОВА, П.В. ВЕРЕЩАГИН

Повышение прочности бетонов с использованием минеральных частиц
флотационных отходов горно-обогатительных предприятий 19

О трудовой династии, истории гипсовой промышленности
и построении производственной империи КНАУФ (Информация) 24

Запущен четвертый в мире завод по производству
цементных плит АКВАПАНЕЛЬ® (Информация) 29

Г.С. СЛАВЧЕВА, Т.В. МАКАРОВА

Пенобетоны для теплоизоляционных слоев наружных стен,
возводимых методом 3D-печати 30

В.В. РУСИНА, Е.И. ЧЕРНОВ

Особенности подбора состава органоминеральных бетонов
на основе техногенного сырья 36

Н.С. СОКОЛОВ, С.Н. СОКОЛОВ, А.Н. СОКОЛОВ

Случай из геотехнической практики предотвращения
аварийной ситуации объекта 40

Л.И. МАЛЯНОВА

Модифицированный битум с кубовыми остатками
при производстве анилина (АСД) 49

Юбиляры отрасли

А.Г. МИШИН, А.П. ПИЧУГИН, В.Ф. ХРИТАНКОВ, А.С. ДЕНИСОВ, А.Ю. КУДРЯШОВ

Особенности устройства и технической эксплуатации мембранных кровель
в Сибири 53

Результаты научных исследований

ВЭЙЛ АЛЬ-РИФАЙЕ, ОМАР МАХДИ, ВАЛИД К. АХМЕД

Нано-ферроцемент в строительстве 59

А.А. АСКАДСКИЙ, Т.А. МАЦЕЕВИЧ, В.И. КОНДРАЩЕНКО

Расчетная схема для оценки реологических свойств полимеров и их смесей. 64

Инновационные разработки в проектировании

С.В. ИЛЬВИЦКАЯ, Д.Ю. ИЛЬВИЦКИЙ, В.А. ЛОБКОВ,

В.П. ЭТЕНКО, Б.С. ИСТОМИН, Т.В. ЛОБКОВА

Природные материалы в «зеленой» архитектуре жилища 69

© ООО РИФ «СТРОЙМАТЕРИАЛЫ»,
журнал «Строительные материалы»®, 2018

Адрес редакции: Россия, 127434, Москва,
Дмитровское ш., д. 9, стр. 3
Тел./факс: (499) 976-22-08, (499) 976-20-36
mail@rifsm.ru; www.rifsm.ru; www.journal-cm.ru

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»
 Advertising-Publishing Firm, OOO
 Registration certificate
 PI № 77–1989
 Included in the list of journals of
 the Higher Attestation Commission
 (Russia), Project Russian Science
 Citation Index (Russia), Russian
 Science Citation Index on the
 platform Web of Science

Monthly scientific-technical and industrial journal

STROYMATERIALY®

№ 10

Founded in 1955 (764) October 2018

Editor-in-chief

YUMASHEVA E.,
 engineer-chemist-technologist,
 Honorary Builder of Russia

Editorial Board

RESIN V.,
 Chairman, Doctor of Sciences (Economy),
 Professor (Moscow)

ASKADSKIY A.,
 Doctor of Sciences (Chemistry),
 Professor (Moscow)

BUR'YANOV A.,
 Doctor of Sciences (Engineering), Director
 of the Russian Association of gypsum
 (Moscow)

BUTKEVICH G.,
 Candidate of Sciences (Engineering),
 member of the Board of Association
 «Nedra» (Moscow)

VAYSBERG L.,
 Doctor of Sciences (Engineering),
 Academician of RAS
 (St. Petersburg)

VERESHCHAGIN V.,
 Doctor of Sciences (Engineering),
 Professor (Tomsk)

GORIN V.,
 Candidate of Sciences (Engineering),
 President of the Union of Haydite and
 Haydite Concrete Producers (Samara)

EROFEEV V. T.,
 Doctor of Science (Engineering), Professor,
 Academician of RAACS (Saransk)

ZHURAVLEV A.,
 President of the Association «Nedra»
 (Moscow)

KOROLEV E.,
 Doctor of Sciences (Engineering),
 Professor (Moscow)

KRIVENKO P.,
 Doctor of Sciences (Engineering),
 Professor (Ukraine)

LEONOVICH S.,
 Doctor of Sciences (Engineering),
 Professor (Belarus, Minsk)

LESOVIK V.,
 Doctor of Sciences (Engineering),
 Corresponding Member of RAACS
 (Belgorod)

MURTAZAEV S. -A.,
 Doctor of Science (Engineering),
 Professor (Grozny)

PICHUGIN A.,
 Doctor of Sciences (Engineering),
 Professor, Member of the Russian Academy
 of Natural Sciences (Novosibirsk)

PUKHARENKO Yu.,
 Doctor of Sciences (Engineering),
 Professor (St. Petersburg)

FEDOSOV S.,
 Doctor of Sciences (Engineering),
 Professor, Academician of RAACS (Ivanovo)

FISHER H. -B.,
 Doctor-Engineer (Germany, Weimar)

KHOZIN V.,
 Doctor of Sciences (Engineering),
 Professor (Kazan)

CHERNYSHOV E.,
 Doctor of Sciences (Engineering),
 Professor, Academician of RAACS
 (Voronezh)

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

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

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

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

Large-panel housing construction

**The VIII International Scientific and Practical Conference
 "InterConPan-2018: from LPC to Frame House Construction" 3**

**New living area for the population of Mongolia: the factory for producing
 precast concrete elements has been successfully commissioned 10**

TARGO KALAMEES, PEEP PIHELO, KALLE KUUSK

**Energy Renovation of Typical Concrete Apartment Building in Estonia
 by Using Wooden Modular Element 13**

Modern concretes: science and practice

M.E. ZHURKOVSKY, A.N. BLAZNOV, I.K. ZHAROVA, P.V. VERESHCHAGIN
**Increasing the Strength of Concretes with Particles of Flotation Waste
 of Mining and Concentrating Enterprises) 19**

**On the Labor Dynasty, the History of the Gypsum Industry
 and Formation of the KNAUF Production Empire (Information) 24**

**The 4-th Factory for Producing Cement Plates AQUAPANEL®
 was Put into Operation (Information) 29**

G.S. SLAVCHEVA, T.V. MAKAROVA

**Foam Concretes for Heat Insulation Layers of External Walls Constructed
 by the Method of 3D Printing 30**

V.V. RUSINA, E.I. CHERNOV

**Peculiarities of Selection of the Composition of Organic-Mineral Concretes
 on the Basis of Anthropogenic Raw Material 36**

N.S. SOKOLOV, S.N. SOKOLOV, A.N. SOKOLOV

**The Case from Geotechnical Practice: Prevention of Emergency Situation
 at the Facility 40**

L.I. MALYANOVA

Modified Bitumen with Stillage Bottoms When Producing Aniline (ASD) 49

Persons of the industry whose jubilees are celebrated

A.G. MISHIN, A.P. PICHUGIN, V.F. KHRITANKOV, A.S. DENISOV, A.Yu. KUDRYASHOV
Features of Construction and Technical Operation of Membrane Roofs in Siberia 53

Results of scientific research

WAIL N. AL-RIFAIE, OMAR M. MAHDI, WALEED K. AHMED
Nano Ferrocement in Building System Construction 59

A.A. ASKADSKII, T.A. MATSEEVICH, V.I. KONDRASHCHENKO

**Calculation Scheme for Estimation of Rheological Properties of Polymers
 and Their Blends 64**

Innovative developments in design and engineering

S.V. ILVITSKAYA, D.Yu. ILVITSKY, V.A. LOBKOV, V.P. ETENKO, B.S. ISTOMIN, T.V. LOBKOVA
Natural Materials in "Green" Architecture of Housing 69

InterConPan-2018

International Conference of Large-panel Construction

VIII Международная научно-практическая конференция «InterConPan-2018: от КПД к каркасно-панельному домостроению»

В Воронеже состоялась VIII Международная научно-практическая конференция «InterConPan-2018». Организаторами конференции традиционно выступили АО «ЦНИИЭП жилища» и объединенная редакция журналов «Строительные материалы»® и «Жилищное строительство» при поддержке АО «ДСК» (ООО «СовТехДом») и Воронежского государственного технического университета. Спонсором конференции в 2018 г. стала компания KERAMA MARAZZI. В этом году мероприятие приобрело постоянного спонсора – PROGRESS GROUP (Германия) и постоянного партнера – компанию Allbau Software GmbH (Германия). В 2018 г. при содействии Anton Ohlert партнерами международной научно-практической конференции InterConPan-2018 выступили фирмы Weckenmann (Германия), TeKa (Германия), EVG (Австрия).

The VIII International Scientific and Practical Conference “InterConPan-2018: from LPC to Frame House Construction”

The VIII International Scientific and Practical Conference “InterConPan-2018: from LPC to Frame House Construction” was held on April of 2018 in the city of Voronezh. AO “TSIIEP zhilishcha” and the united editorial board of “Construction Materials” and “Housing Construction” Journals were traditionally the organizers of the conference under the support of AO “DSK” (OOO “SovTekhDom”) and Voronezh State Technical University. KERAMA MARAZZI Co. became the sponsor of the conference in 2018. This year the event acquired a permanent sponsor – PROGRESS GROUP (Germany). The company Allbau Software GmbH (Germany) has become a regular partner of the event. In 2018, with the assistance of Anton Ohlert, Weckenmann (Germany), TeKa (Germany), EVG (Austria) were partners of the International Scientific and Practical Conference InterConPan-2018.

Прогнозируемые Минстроем РФ объемы жилищного строительства к 2025 г. составят около 900 млн м². Такой рост объемов жилья (по 120 млн м² в год) возможен только за счет индустриализации строительства. Крупнопанельное и каркасно-панельное домостроение, строительство домов из объемных блоков были и остаются локомотивом решения жилищной проблемы в стране.

Наряду с необходимостью роста объемов строительства жилья появляются новые требования к градостроительной и жилищной политике. Признано, что созданный фонд не соответствует требованиям жилищного законодательства под переселение граждан по программам реновации и отселения из аварийного жилья.

Перед участниками конференции – специалистами, занимающимися профессионально проблемами индустриального домостроения, стояла задача показать возможности гибкой технологии производства в создании жилья нового поколения. Индустриальные дома нового поколения должны позволять строить самое дешевое, многофункциональное, безопасное, качественное, массовое, быстровозводимое с повторным применением конструктивной схемы жилье, которое обладает вариabельными архитектурно-планировочными решениями. Дома должны иметь общественные зоны с площадями до 100 м² и более не только на первых этажах, но и на всех этажах для выполнения жилых и общественных функций, а также индивидуальной деятельности. Важным требованием населения при переходе на квартальную застройку является снижение этажности зданий и создание жилой среды с придомовыми участками коллективной и частной собственности.

Гибкая планировка квартир должна позволять менять размеры комнат до нужных площадей в течение всей жизни здания за счет быстрособираемых и разбираемых стен и перегородок. Это позволит населению предоставить возможность покупать малогабаритные квартиры, площади которых можно увеличить в будущем; городской администрации предоставлять жилье по установленным нормам без продолжительного ожидания жилья по программам отселения из аварийного жилища и предоставления жилья военнослужащим, врачам, учителям, молодым семьям, а также по программам реновации территорий и обеспечения жильем пострадавших от стихийных бедствий.

Международная научно-практическая конференция «InterConPan-2018: от КПД к каркасно-панельному домостроению» – социально значимое мероприятие для развития регионов России. На конференцию в Воронеж приехали более 150 профессионалов из 28 регионов Российской Федерации и четырех зарубежных стран: Германии, Италии, Казахстана, Вьетнама. Основные участники мероприятия – руководители и ведущие специалисты строительно-инвестиционных компаний, домостроительных предприятий и проектных организаций, представители машиностроительных и инженеринговых компаний, поставщики программного обеспечения из России, стран СНГ, Германии, Италии, ученые российских вузов и научно-исследовательских институтов. В 2018 г. в VIII Международной научно-практической конференции «InterConPan: от КПД к каркасно-панельному домостроению» активное участие приняли ученые Воронежского государственного технического университета, проектировщики, технические специалисты, технологи предприятий Воронежской области.





На пленарном и секционных заседаниях 17–18 апреля 2018 г. заслушано более 30 докладов. В докладе научного руководителя АО «ЦНИИЭП жилища» д-ра техн. наук **С.В. Николаева** отмечено, что обеспечить высокую скорость строительства, относительно низкую себестоимость, высокое качество жилья и его дальнейшую вариабельность на срок эксплуатации до 100 лет позволяет архитектурно-градостроительная система панельно-каркасных домов (АГСПКД), разработанная специалистами АО «ЦНИИЭП жилища». Для широкого внедрения данной системы имеется высокотехнологичная база индустриального домостроения. Переход на строительство стандартного жилья среднеэтажной квартальной застройки по технологии каркасно-панельного домостроения открывает перспективу строительства комфортного жилья нового поколения, ориентированного на создание гуманистического общества.

В докладе «Прикладные эстетика и фасады», представленном руководителем по работе с проектами в регионах ПФО РФ **А.А. Деминым** (KERAMA MARAZZI), перечислены технологические преимущества фасадной плитки «кабанчик» для повышения воспринимаемости класса жилья. Возможность изменять расстояние между плитками позволяет замаскировать межпанельный шов и получить в результате эффект цельного покрытия. Отсутствие привычных швов ассоциируется с монолитным зданием.

Цветные фасады не решают проблем некачественной архитектуры, а использование графического потенциала позволяет адаптировать здание к окружающей среде или, напротив, выделить его, сделать узнаваемым. Моделируя фасад, можно моделировать пространство, создавая нужные эффекты – визуально увеличивать оконные проемы, акцентировать внимание на входных группах, визуально расширять или сужать строение.





О производстве объемных элементов в крупнопанельном домостроении по технологии вертикального формования рассказал представитель PROGRESS GROUP **В.А. Лихтнер**. Основные преимущества этой системы: снижение себестоимости; высокая производительность (сокращение времени строительства); монтаж технологических систем в заводских условиях; до 90% готовности элементов в заводских условиях (сантехника, электрика и отопление, оборудование); стандартизация рабочих мест; оптимизация перемещения закладных деталей и материалов (короткие пути).

Большой интерес участников вызвал доклад **А.В. Попова** (ТЕКА Mashinenbau GmbH), посвященный требованиям к смесительно-дозировочному процессу при выпуске бетонов с высокими эксплуатационными характеристиками. Самым востребованным в России является бетон марки М300–400, как и 30 и 40 лет назад. В то время как за рубежом использование высокопрочного бетона ($R_{сж} = 100\text{--}150$ МПа) считается экономически обоснованным. Там доля самруплотнящегося бетона (СУБ) на заводах сборного железобетона составляет более 50%. В результате геометрические размеры сечений сжатых конструкций в два-три раза меньше, меньше и масса элементов. Основные выводы, сделанные в докладе: применение бетонов с высокими эксплуатационными характеристиками требует нового взгляда на концепцию современного строительства и из-

учение экономических эффектов; производство таких бетонов требует нового подхода к дозирующему и смесительному процессу. Требуется пересмотр философии складирования материалов и их номенклатуры; повышение количества дозаторов, оптимизация их дозирующих возможностей (погрешность дозирования должна быть ниже, чем это определено стандартами); применение сертифицированных высокопроизводительных смесителей (НРМ) по RILEM TC150-ECM. При выборе смесителей особое внимание следует уделять наиболее низкому вариационному коэффициенту, высокому преобразованию потребляемой мощности в мощность смешивания и высокой степени чистоты смесителя после каждого смешивания. Абсолютным требованием является полная регулировка процесса дозирования и смешивания, связанная со свободной конфигурацией количества, веса и очередности дозирования и ввода материалов в процесс смешивания, а также свободная конфигурация режима работы смесителя – мощность и интенсивность смешивания. Система управления должна свободно оперировать всеми параметрами дозирования и смешивания, включая изменение дозировки на основе данных о влажности сырья и реологических характеристиках бетона.

О проблемах отраслевой подготовки кадров рассказала д-р техн. наук **И.И. Акулова** (Воронежский государственный технический университет).





Она озвучила общесистемные проблемы подготовки: падение интереса у выпускников учебных заведений к профессиональной деятельности в строительной отрасли; снижение заинтересованности предприятий и организаций в переподготовке сотрудников, в мотивации работников к получению новых квалификаций; неэффективное взаимодействие организаций высшего профессионального образования с успешно работающими научными и производственными предприятиями; уменьшение количества поступающих в образовательные учреждения строительного профиля; отсутствие достоверной системы оценки потребности отрасли в кадрах по количественному и качественному составу; формирование планов приема и выпуска специалистов только по укрупненному направлению «Строительство» без конкретизации по профилям; структурный дефицит в отдельных категориях работников; отсутствие эффективной многоуровневой системы непрерывной подготовки и переподготовки кадров. Проблемы, порождаемые несоответствием качества подготовки кадров и требований инновационного развития строительной отрасли, такие как несоответствие действующих образовательных стандартов и программ критериям подготовки кадров для инновационного развития отрасли; квалификационный дефицит кадров в организациях профессионального образования; высокий износ материально-технической базы учреждений профессионального образования; недостаточный уровень практических навыков выпускников профильных вузов; снижение уровня необходимой инженерной подготовки, обеспечивающего реализацию «прорывных» строительных технологий и технологий производства строительных материалов, изделий и конструкций; отсутствие должного профессионализма квалифицированных рабочих, обеспечивающего высокое качество и конкурентоспособность строительной продукции,

должны привести к перестройке системы подготовки кадров. Грядут изменения в самих названиях профессий. По представлениям специалистов бизнес-школы «Сколково» и Агентства стратегических инициатив в ближайшее время могут появиться новые профессии: специалист по усилению/перестройке старых строительных конструкций; архитектор «энергонеуловых» домов; специалист по модернизации строительных технологий; проектировщик инфраструктуры «умного дома»; проектировщик 3D-печати в строительстве; BIM-менеджер-проектировщик (информационное проектирование); проектировщик доступной среды; экоаналитик в строительстве.

Для совершенствования системы подготовки кадров необходимо провести мероприятия, находящиеся в компетенции профильных образовательных учреждений: разработка актуальных образовательных программ профессиональной подготовки и повышения квалификации, формирующих компетенции, отвечающие современному уровню развития науки и техники; разработка и распространение модульных программ профессиональной подготовки, создающих возможность обучения, в том числе дистанционного, по индивидуальным образовательным схемам; создание и внедрение интегрированных образовательных программ, сформированных на основе сотрудничества науки, образования, производства и обеспечивающих практико-ориентированную подготовку специалистов; расширение масштабов исследовательской и инновационной деятельности в вузах строительного профиля с развитием на их базе инновационной инфраструктуры, включая бизнес-инкубаторы и технопарки; повышение квалификации профессорско-преподавательского состава профильных образовательных учреждений в соответствии с требованиями инновационного развития строительной отрасли.





Многочисленные вопросы, связанные с поправками к законам № 214-ФЗ «Об участии в долевом строительстве», а также ряд изменений № 218-ФЗ «О государственной регистрации недвижимости» обсуждались на круглом столе «Современные проблемы работы специалистов индустриального домостроения». Постепенный переход от долевого на проектное финансирование строительства с привлечением банковских кредитов будет проходить в три этапа. Подготовительный этап заключается в создании нормативно-правовой базы для перехода к целевой модели финансирования. На втором этапе (до 30 июля 2019 г.) вступит в силу ряд изменений в закон о долевом строительстве, и на завершающем этапе (с 01 июля 2019 г. по 31 декабря 2020 г.) договоры долевого строительства запретят. Застройщиков ожидают новые жесткие требования к опыту работы компании на рынке, запрет одновременно возводить многоквартирные дома по нескольким разрешениям на строительство, требования к размеру собственных средств, замороженных на расчетном счете. Среди нововведений также следует отметить необходимость пользоваться единственным банковским счетом, открытым в уполномоченном банке (причем вместе с техзаказчиком и генподрядчиком), дополнительные ограничения на использование средств дольщиков и банковский контроль за этими расходами. Вводится обязанность по раскрытию информации о составе и структуре учредителей застройщика, раскрытию взаимосвязи между ними, о физлицах, которые прямо или косвенно вправе распоряжаться как минимум 5% голосующих акций. Эти сведения должны передаваться в Единую информационную систему жилищного строительства (наш.дом.рф). Также уточняются особенности взаимодействия застройщиков с уполномоченными банками, вопросы опубликования сведений об открытии и закрытии расчетного счета застройщика, порядок расчетов участников долевого строительства. Вводится ответственность бенефициаров компаний за те убытки, которые застройщик может нанести дольщикам. С одной стороны, принятые законодателем меры направлены на усиление защиты прав дольщиков, а с другой – эти изменения окажут колоссальное влияние на деятельность бизнеса в сфере жилищного строительства. Все эти нововведения повлекут значительные изменения в работе домостроительных комбинатов. Другой серьезной проблемой для обсуждения за круглым столом стали вопросы сокращения средней площади приобретаемых квартир, а следовательно и вопросы более рационального проектирования и расширения продуктовой линейки. Покупатели отказываются платить за нефункциональные метры. Профессионалам всегда интересно обсудить насущные проблемы строительного процесса, нормативной базы, экономики производства.





Памятный знак с девизом «Объединение профессионалов гарантирует успех» вручен директору АО «ДСК» В. Н. Какоткину в память о посещении предприятия участниками InterConPan-2018.



В рамках конференции организованы две выездные производственные сессии. Участники конференции посетили АО «ДСК» – ООО «СовТехДом». Предприятие создано в 2013 г., выпускает железобетонные изделия для крупнопанельного домостроения с применением современных энергоэффективных технологий. Благодаря им стало возможно создавать конструкции новых 17-этажных серий с различными вариантами архитектурно-планировочных решений. Предприятие оснащено оборудованием WECKENMANN, EVG, TEKA для производства ЖБИ для крупнопанельного домостроения, которое не имеет аналогов в регионе. Также предприятие занимается разработкой и внедрением новых облицовочных материалов из плитки и гранитной крошки разных цветовых гамм Kerama Marazzi. На территории АО «ДСК» организовано производство матриц в специально оборудованном помещении. Сначала изготавливается мастер-модель с заданной толщиной шва, раскладкой и высотой ребра. Зам. директора АО «ДСК» **А.А. Жигулин** рассказал, что для минимизации отходов плитки были изменены габариты оконных проемов и величина вертикального и горизонтального швов. Для восприятия целостности здания уменьшен межпанельный шов. В этот же день специалисты посетили ЖК «Ласточкино», ЖК «Шилово» и ЖК «Современник». Специалисты посетили ООО «ВЫБОР-ОБД», где смогли увидеть производственные цеха и посетить шоу-рум.





Незабываемая обзорная экскурсия по Воронежу позволила познакомиться с городом, узнать его прошлое и настоящее. Коллеги обсудили волнующие вопросы, получили большой объем профессиональной информации, посетили современные предприятия, смогли сопоставить разные технологии, увидели современные кварталы массовой застройки. InterConPan-2018 демонстрирует единение профессионалов и приглашает на встречу в Минске в 2019 году!

Новая жилая площадь для населения Монголии: завод по производству сборных бетонных элементов успешно запущен в эксплуатацию

EREL Group (Монголия) инвестирует средства в масштабный строительный проект под Улан-Батором. Открыт завод для производства разнообразных сборных бетонных элементов, которые будут использоваться для сооружения больших жилых комплексов. Высокотехнологичное производственное оборудование было заказано у компании EBAWE Anlagentechnik, одного из семи предприятий Progress Group, ведущего поставщика оборудования для изготовления железобетонных конструкций.

Монголия – страна без выхода к морю на востоке Центральной Азии, по площади примерно в четыре с половиной раза больше Германии, население – около 3 млн человек. В Улан-Баторе, столице страны и ее самом большом городе, проживает более 40% населения страны. Монголия входит в десяток стран планеты с самыми большими запасами сырья, поэтому самая важная отрасль экономики – это горная промышленность. Благодаря интенсивному развитию этой отрасли в последние годы в Монголии отмечается значительный рост экономики. Поэтому правительство Монголии поставило перед собой цель обеспечить население новыми жилыми площадями. Благодаря инвестициям Erel Group в масштабный строительный проект под Улан-Батором скоро должны появиться новые жилые районы.

Комплексная реконструкция завода с применением немецких технологий

Группа компаний Erel LLC была основана в 1989 г. На сегодняшний день в нее входит более десятка предприятий, специализирующихся в таких сферах, как геология, горная промышленность, производство стройматериалов, строительство зданий и дорог, банковская деятельность и образование. Штат группы компаний состоит примерно из 1200 опытных специалистов. Всех их объединяет общая цель: обеспечить своим компаниям ведущую роль в развитии Монголии. Для этого необходимы комплексные, интегрированные и инновационные коммерческие решения на всех уровнях. С момента основания у Erel Group появилось множество дочерних предприятий. В частности, у Erel есть свое деревообрабатывающее предприятие, фабрики по производству ПВХ и бетона, кирпичный, цементный и асфальтовый заводы, дробильно-сортировальная фабрика, завод по производству железобетонных конструкций для строительства зданий и дорог, предприятие, специализирующееся на землеустройстве, а также завод по изготовлению сборных бетонных

элементов BUK-1, открытый в 1963 г. Около 80% зданий в Улан-Баторе за последние сто лет были построены из сборных бетонных элементов с этого завода. Купив завод BUK-1, Erel Group вышла за пределы сектора геологической разведки и горной промышленности, которым изначально ограничивалась. Erel Group начала деятельность в секторе строительства и стала одним из лидеров индустрии строительства и стройматериалов. В 2014 г. был выполнен большой объем работ по реконструкции завода.

Для этого группа компаний в 2013 г. заключила договор на поставку оборудования стоимостью около 17 млн евро с немецкой компанией EBAWE Anlagentechnik, специализирующейся на производстве промышленного оборудования, с главным офисом в Айленбурге, под Лейпцигом. Компания EBAWE входит в группу предприятий Progress Group, которая ведет деятельность по всему миру и имеет семь дочерних предприятий в разных странах. У нее было заказано оборудование для производства пустотелых перекрытий, однослойных стен и перекрытий, сэндвич-панелей, внутренних стен и перегородок, опор и поперечных балок, лестниц и необходимых для них арматурных элементов.

В планах – 200 тыс. квартир

С новым заводом по производству сборных бетонных элементов Erel BUK-1 группа компаний собирается стать главным поставщиком бетонных конструкций для проекта по возрождению Улан-Батора и сделать вклад в общее развитие Монголии. В последнее время ситуация такова, что более 60% жителей Улан-Батора проживают в неформальных поселках, так называемых районах «гер», которые не соединены с основной инфраструктурой города. Это должно измениться с реализацией крупномасштабного проекта по реконструкции города, потому что поставлена цель – подготовить 200 тыс. квартир и создать необходимую инфраструктуру для населения города: школы, больницы, офисные и торговые площади, парки и зоны отдыха, теплотрассы, электричество, вода, стоки и т. д.



Торжественное открытие завода по изготовлению сборных бетонных элементов Erel BUK-1 под Улан-Батором



В рамках крупномасштабного проекта в Монголии планируется подготовить 200 тыс. квартир и создать необходимую инфраструктуру: школы, больницы, офисные и другие здания



На шести производственных линиях длиной по 120 м на заводе Erel с помощью формующей машины Slipformer T40 от Echo Precast Engineering изготавливаются пустотные перекрытия из предварительно напряженного бетона толщиной от 15 до 40 см

Линии непрерывного формирования для производства пустотных перекрытий из предварительно напряженного бетона

Для изготовления сборных элементов из предварительно напряженного бетона в Улан-Баторе предусмотрено шесть линий длиной по 120 м, вдоль которых перемещается бетоноукладчик типа Slipformer T40. С помощью этого оборудования от Echo Precast Engineering группа компаний Erel может изготавливать пустотные перекрытия из предварительно напряженного бетона толщиной от 15 до 40 см. После натяжения арматуры свежий бетон при помощи формующей машины укладывается на производственные дорожки и уплотняется. После затвердевания заготовка при помощи распиловочной машины режется на отдельные элементы, которые поднимаются с помощью подъемного захвата и вывозятся на открытый склад на тележках. Для подготовки стенов к последующему формованию используется многофункциональная тележка, которая обеспечивает чистку и смазку дорожек, а также оборудование для натяжения арматуры.

Революционная конвейерная линия на производстве Erel LLC

На конвейерной линии циркуляции паллет, заказанной Erel у EBAWE Anlagentechnik, используется в общей сложности 41 паллета. В начале каждого нового производственного цикла паллеты, а также магнитная опалубка очищаются при помощи устройств чистки. После того как плоттер начертит контуры элементов, на паллеты вручную устанавливается магнитная опалубка и наносится смазка. Для этого в распоряжении оператора имеется многофункциональная система опалубки с интегрированными магнитами.

Необходимая арматурная сетка изготавливается на сварочной установке M-System Evolution с максимальной точностью точно в срок



На конвейерной линии циркуляции, заказанной Erel у EBAWE Anlagentechnik, используется в общей сложности 41 паллета



Для контроля работы производственного комплекса используется централизованная система управления ebos®, разработанная Progress Software Development. Все рабочие процессы выполняются в удобной для пользователя среде. Для Монголии это совершенно новый шаг в направлении автоматизации технологических процессов

и по заданному чертежу. Для работы с арматурой дополнительно предусмотрены участок для изготовления двухветвевых каркасов и несколько вертикальных сварочных столов с одноточечными сварочными клещами. Все оборудование для работы с арматурой заказано в компании Progress Maschinen & Automation AG.

После установки магнитной опалубки и укладки арматуры паллеты бетонируются при помощи бетонораздатчика. Благодаря шнековой системе гарантируется равномерная и целенаправленная подача бетона. Бункер бетонораздатчика постоянно взвешивается, поэтому оператор может в любой момент узнать, сколько бетона в нем осталось, и при необходимости запросить свежий бетон. Комбинированное уплотняющее устройство обеспечивает уплотнение элементов разных типов. При производстве сэндвич-панелей паллеты с помощью механизма поперечного перемещения передвигаются на одно из буферных мест для укладки теплоизоляции. После укладки второго слоя арматуры в виде сетки или каркаса производится повторное бетонирование, а также выравнивание и уплотнение верхнего слоя панели при помощи вибробруса.

По истечении времени предварительного отверждения, составляющего один час или более, лицевая поверхность изделия окончательно затирается при помощи лопастной заглаживающей машины.

С помощью стеллажного штабелера паллеты с только что забетонированными элементами размещаются на стеллажах камеры сушки. Камера сушки имеет четыре стеллажные этажерки, в каждой по двенадцать ярусов. Встроенная в камеру сушки система прогрева обеспечивает оптимальное отверждение элементов, которые можно извлекать уже через восемь часов. После снятия опалубки паллеты с элементами опрокидываются в почти вертикальное положение при



Компания Теспосот, специализирующаяся на опалубке, поставила кроме кассетных форм также опалубку для производства колонн и ригелей

помощи кантователя. Для облегчения strapовки изделий используется передвижная лестница. Готовые бетонные элементы вывозятся на тележках на открытый склад готовой продукции.

Дополнительное оборудование: опалубочные формы

Для изготовления однослойных, ненапряженных железобетонных элементов и внутренних стен применяются две двойные кассетные формы 7,5×3 м, по 20 отсеков каждая. С помощью установки для сварки арматурной сетки изготавливаются сетки требуемого размера, которые вставляются в отдельные секции кассетной формы. После фиксации форм бетон заливается в секции сверху с помощью распределителя бетона с сегментным затвором. Тонко отшлифованные поверхности опалубки, вибраторы на перегородках и система прогрева, работающая на пару, гарантируют оптимальное качество конечного продукта. После затвердевания опалубка снимается, элементы грузятся на вывозные тележки с помощью цехового крана и вывозятся на открытый склад готовой продукции.

У компании Теспосот, еще одного предприятия Progress Group, специализирующегося на изготовлении опалубочных форм, кроме кассетных форм были заказаны три формы для производства колонн и ригелей. В формы длиной по 48 м укладываются арматурные короба, которые собираются из арматурных скоб, изготовленных при помощи гибочного автомата EBA S 12, а также прутковой арматуры, приготовленной на оборудовании обработки прутковой арматуры от Progress Maschinen & Automation AG. После затвердевания изделий они также грузятся на тележки с помощью цехового крана и вывозятся на склад готовой продукции. Четыре формы для изготовления лестничных маршей прекрасно дополняют имеющийся набор опалубочных систем.

Бетон подается из полностью реконструированной смесительной башни с тремя смесителями, поставленной компанией Wiggert & Co. Соединенная со смесительной башней система автоматической адресной подачи доставляет бетон на разные производственные участки.

Для облагораживания фасадных элементов также предусмотрена шлифовальная машина по бетону.

Первый компьютеризованный завод железобетонных конструкций в Монголии

Для контроля всего производственного комплекса на заводе в Улан-Баторе используется централизованная система управления ebos®, разработанная Progress Software Development. Система ebos® отвечает за весь процесс изготовления сборных элементов и оснащена рядом интеллектуальных модулей, например системой 3D-визуализации, тестами для контроля возможности реализации и программами диагностики. Поскольку ebos® также отвечает за отправку данных на машины, которые являются важной частью производственного процесса, например бетонораздатчик и установку для сварки арматурной сетки, она представляет собой нечто большее, чем обычная система управления. Она объединяет в себе множество программных решений, ориентированных на возможность выполнения всех рабочих процессов в удобной для пользователя среде. Такая концепция управления для Монголии стала совершенно новым шагом в направлении автоматизации и компьютеризованного контроля производства, и, как следствие, она долж-



Оборудование для изготовления арматурных элементов на заводе Erel заказано в компании Progress Maschinen & Automation AG. Арматурная сетка изготавливается на сварочной установке M-System Evolution с максимальной точностью по чертежу и заданному графику

на обеспечить повышенную производительность при более высоком качестве конечной продукции.

Торжественное открытие — начало новой эры в производстве сборных бетонных элементов

Состоявшееся недавно праздничное открытие завода Erel BUK-1 символизирует наступление новой эпохи в изготовлении сборных бетонных элементов в Монголии. Господин З. Энхболд (Z. Enkhbold), руководитель администрации президента Монголии, принял участие в открытии и подчеркнул в своей речи, что люди Монголии после такого кардинального изменения ситуации в строительной промышленности смогут позволить себе недорогое жилье в безопасных и быстровозводимых сборных домах. В результате ежегодно будут выводиться из эксплуатации 5 тыс. дымовых труб в Улан-Баторе и окрестностях, что позволит значительно уменьшить вредное воздействие смога.

В г. Улан-Батор и пригороде запланированы различные крупномасштабные проекты по застройке, включая строительство жилых домов, зданий общественного назначения и подготовку соответствующей инфраструктуры. Преимущества автоматизированного производства очевидны: при таком подходе возможно в очень короткие сроки строительство домов с разными требованиями к дизайну и площадям. Перевозка готовых бетонных элементов не представляет особых трудностей и не связана с большими затратами. Монтаж зданий выполняется в кратчайшие сроки, и при этом обеспечивается высокий уровень защиты от повреждений при землетрясениях. Ежегодно планируется строительство 250 тыс. м² жилой площади, включая жилые дома, школы и другие здания. Это позволит эксплуатировать новый завод Erel BUK-1 на полную мощность.

Генеральный директор Erel LLC Б. Эрденебат (B. Erdenebat), доволен реализацией проекта. По его словам, новый завод — один из самых крупных заводов в своем роде во всем мире, где используются самые современные немецкие технологии, которому предстоит сыграть значительную роль в предстоящей реконструкции Улан-Батора. После модернизации завода его производительность увеличилась во много раз и в то же время было достигнуто постоянное повышение качества конечной продукции.



EEL LLC

Mongolia
Tel: +976 94091293
Fax: +976 (11)341739
www.erel.mn
info@erel.mn

EBAWE

Anlagentechnik GmbH
Deutschland
T +49 3423 6650,
F +49 3423 665200
info@ebawe.de
www.ebawe.de

Progress Maschinen & Automation AG

Italy
Tel. + 39 0472 979 100
Fax + 39 0472 979 200
info@progress-m.com
www.progress-m.com

Tecnocom S.p.A.

Italy
T +39 0432 621222
F +39 0432 621200
info@tecnocom.com
www.tecnocom.com

Echo Precast Engineering NV

Belgium
Tel. + 32 11 60 08 00
Fax + 32 11 52 20 93
info@echoprecast.com
www.echoprecast.com

Progress Software Development GmbH

Italy
Tel. +39 0472 979 328
Fax +39 0472 979 999
info@progress-psd.com
www.progress-psd.com

Progress Group GmbH

Deutschland
T +49 6977 044044
F +49 6977 044045
info@progress-group
www.progress.group.info

УДК 728

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-764-10-13-17>

ТАРГО КАЛАМЕЕС, профессор (targo.kalamees@taltech.ee), ПЕЕП ПИХЕЛО, MSc, КАЛЛЕ КУУСК, PhD

Исследовательская группа по зданиям с почти нулевым потреблением энергии
Таллинский Технический Университет (Ehitajate tee 5, 19086 Tallinn, Estonia)

Энергетическая реновация типового бетонного жилого дома в Эстонии с использованием деревянного модульного элемента

Многоэтажный дом из легкобетонных панелей был отремонтирован до здания с практически нулевым потреблением энергии (nZEB) в Эстонии при использовании предварительно подготовленных крупных сборных изоляционных элементов для стен и кровли. Исследование этого проекта включает комплекс мер: гидротермические измерения и анализы, элементов фасада и кровли с высокой степенью изоляции, полная модернизация отопительной и вентиляционной систем и местное (на месте) производство теплоты и электричества из возобновляемых источников энергии. Вентиляционные каналы установлены в модульные панели для минимизации работ по монтажу каналов подачи воздуха в жилые помещения. Все технические системы будут оборудованы мониторинговыми системами с периодической регистрацией данных. Проектный коэффициент теплопередачи $K_{\text{wall}} \leq 0,11 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ для стен; $K_{\text{roof}} \leq 0,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ – для кровли и $K_{\text{window}} \leq 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ – для окон и наружных дверей. Процессы анализа, проектирования и реновации интегрированного метода проектирования nZEB дали нам уникальный опыт, показывающий слабые звенья в цепи и помогающий предотвратить сбои во всем процессе в будущем.

Ключевые слова: энергетическая реновация, бетонный жилой дом, деревянный модульный элемент, проектный коэффициент теплопередачи.

Для цитирования: Тарго Каламеес, Пееп Пихело, Калле Кууск. Энергетическая реновация типового бетонного жилого дома в Эстонии с использованием деревянного модульного элемента // *Строительные материалы*. 2018. № 10. С. 13–17.

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-764-10-13-17>

Благодарность: Это исследование было поддержано Эстонским центром передового опыта в нулевом потреблении энергии и ресурсов в умных зданиях и районах (Эстония дает следующий перевод на русский – Центр передовых знаний по основанному на знаниях строительству) (ZEBE), грантом ТК146, предоставленным Европейским фондом регионального развития, и Эстонским научно-исследовательским советом с грантом институционального финансирования исследований IUT1-15 и финансируемым ЕС проектом Горизонт 2020 «Разработка и усовершенствование производства сборных инновационных многофункциональных элементов ограждающих конструкций зданий для модульной модернизации и интеллектуальных связей (MORE-CONNECT)».

TARGO KALAMEES, Professor (targo.kalamees@taltech.ee), PEEP PIHELO, MSc, KALLE KUUSK, PhD

Nearly Zero Energy Building research group, Tallinn University of Technology (5, Ehitajate tee, 19086 Tallinn, Estonia)

Energy Renovation of Typical Concrete Apartment Building in Estonia by Using Wooden Modular Element

The multi-storey large concrete element building is renovated to nearly Zero Energy Building (nZEB) in Estonia by using prefabricated large insulation elements for walls and roof. The study of that project includes complex of measures: hygrothermal measurements and analysis, highly insulated facade and roof elements, the full modernisation of heating and ventilation systems, and on site heat and electricity production from renewable energy sources. Ventilation ducts are installed into the modular panels to minimize supply ductworks in apartments. All technical systems will be equipped with monitoring systems and data will be logged periodically. The designed heat transfer coefficient of is $K_{\text{wall}} \leq 0.11 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ for walls, $K_{\text{roof}} \leq 0.1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ for roof and $K_{\text{window}} \leq 0.8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ for windows and external doors. The analyse, design and renovation process of the integrated nZEB design method gave us a unique experience, showing weak links in the chain and helping to prevent faults in the whole process in the future.

Keywords: energy renovation, concrete apartment building, wooden modular element, designed heat transfer coefficient.

For citation: Targo Kalamees, Peep Pihelo, Kalle Kuusk. Energy renovation of typical concrete apartment building in Estonia by using wooden modular element. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 10, pp. 13–17. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-764-10-13-17>

Acknowledgements: This research was supported by the Estonian Centre of Excellence in Zero Energy and Resource Efficient Smart Buildings and Districts, ZEBE, grant TK146 funded by the European Regional Development Fund, and by the Estonian Research Council with Institutional research funding grant IUT1-15 and by EU funded Horizon 2020 project “Development and advanced prefabrication of innovative, multifunctional building envelope elements for modular retrofitting and smart connections (MORE-CONNECT)”.

Energy Roadmap 2050 [1] states that decarbonising the increasing share of renewable energy and using energy more efficiently are crucial. There are approximately 25 billion square meters of useful floor space in the EU27, Switzerland and Norway. Because residential buildings account for around 75% of building stock they have a large share of the total energy consumption. In the EU, approximately 17% of the total primary energy use and 25% of the final energy consumption are used in residential buildings.

Apartment buildings in Northern Europe consume energy for heating at approximately 100–200 kWh/(m²·a) [2–5]. Energy for space heating depends almost linearly on the heat loss of building envelope. As the heat transfer coefficient of building envelope of old buildings is large ($K_{\text{wall}} \approx 0.8–1.1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$,

$K_{\text{roof}} \approx 0.9–1.1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$), building envelope contains serious thermal bridges [6, 7] and air leakages, additional insulation of building envelope gives a large potential for energy saving [8, 9]. Requirements for heat loss of building envelope during deep energy renovation vary depending on the requirements of indoor climate and energy performance in a specific country, outdoor climate, availability of renewable energy, building typology [10].

Renovation the existing residential building stock is a key factor of this future task as the replacement rate of the existing stock is only 1–2% per year. Increasing energy performance has been the driving force for renovation of old prefabricated concrete large panel apartment buildings because energy related measures help to increase cost-effectiveness of the whole



Рис. 1. Экспериментальное здание до (a) и после (b) глубокой энергетической реконструкции
Fig. 1. Overview of the pilot building before (a) and after (b) the deep energy renovation



Рис. 3. Хорошо изолированные ограждающие конструкции здания с локальной выработкой энергии необходимы для пассивного дома (nZEB)

Fig. 3. Well insulated building envelope with onsite energy production is needed for nZEB

Использование энергии и локальная выработка энергии в отремонтированном доме с почти нулевым потреблением энергии (nZEB) (кВт·ч/(м²·ч))
Energy use and onsite energy production of renovated nZEB pilot (kWh/(m²·a))

	Energy need		On site energy production	
	Heat	Electricity	Heat	Electricity
Space heating and heating of ventilation air with heat recovery (VHR)	16			
Domestic hot water (production: solar collectors, sewerage heat recovery)	30		8+6	
Appliances and lighting (production: solar panels)		26		2
Fans, pumps		8		
Total (delivered energy)	46	34	14	2
Total primary energy use (with weighing factor for electricity=2 and for district heating=0.9)	109		17	

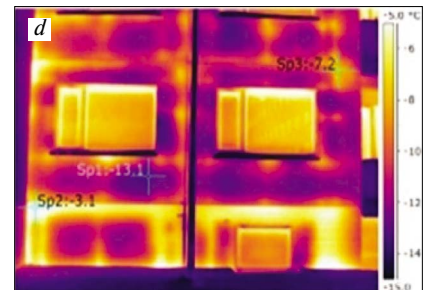


Рис. 2. Вид тепловых мостов изнутри (a, b) и снаружи (c, d) здания до реновации
Fig. 2. Overview of thermal bridges from inside (a, b) and outside (c, d) the building before renovation

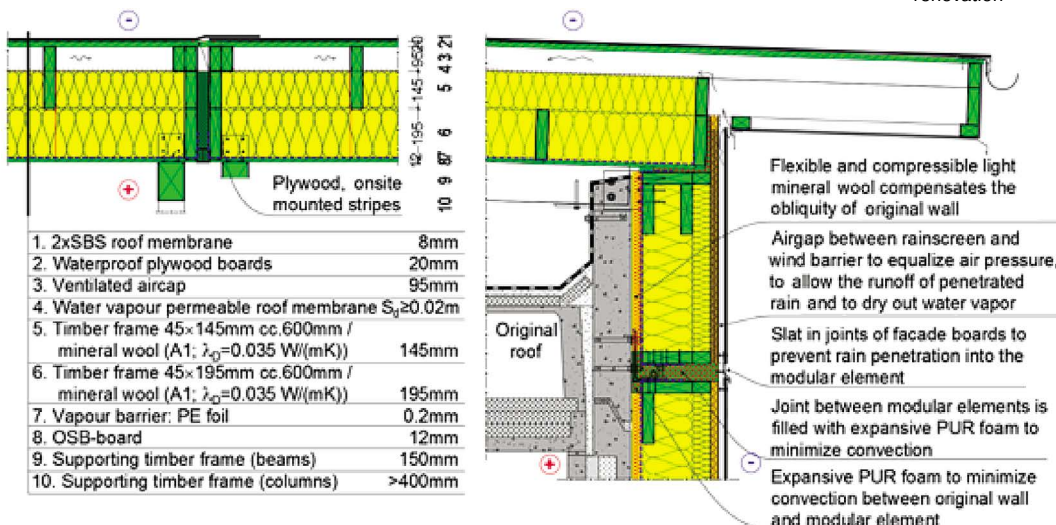


Рис. 4. Разработанные решения для конструкции крыши
Fig. 4. Designed solutions for roof

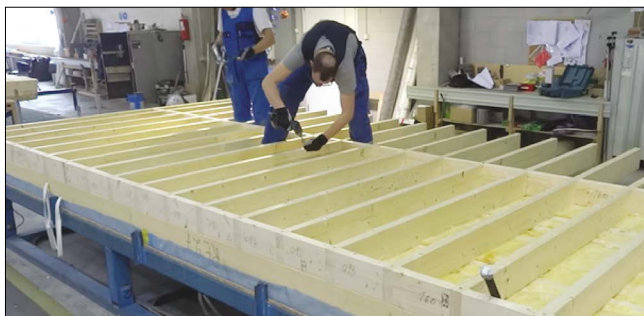


Рис. 5. Сбор элементов крыши на фабрике
Fig. 5. Development of roof elements in factory

renovation process and the upkeep of buildings [11–13]. The European building sector has not yet been able to devise a structural, large-scale renovation process and systematic approach. The use of prefabricated multifunctional modular renovation elements could help to fulfill all these points [14–18]. The Horizon 2020 project “MORE-CONNECT” has been launched to develop energy efficiency, hygrothermal performance and aesthetics of buildings and demonstrate technologies of prefabricated modular renovation elements, including the prefab integration of multifunctional components, e. g. for climate control [19].

This article presents solutions for a deeply renovated typical apartment building made of concrete large panels, constructed during the 1960–90 period in Estonia (Fig. 1). The pilot renovation was conducted in 2017. The design solution of the current project will provide input to further process the integrated design of nearly Zero Energy Building (nZEB) and the renovation of concrete panel multi-storey apartment buildings.

Экспериментальное здание / Pilot building

The building type studied is a 5-storey apartment building used as dormitory with a total area of 4318 m², constructed in 1986 (Fig. 1, a). The building is analogous to mass production apartment buildings (series 111–121) from 1960–1990 in the former Soviet Union countries of Eastern Europe.

Existing 250 mm concrete panel exterior wall consists of 2 concrete sections and insulation layers: 60 mm external reinforced concrete slab +70 mm wood-chip insulation layer +50 mm phenolic foam insulation layer +70 mm internal reinforced concrete slab; with $K=0.9–1.1$ W/(m²·K). The existing flat roof with parapet is covered with bitumen felt and insulated with wood-chip boards.

Calculated according to measurements, temperature factor $f_{Rsi} = \frac{t_e - t_i}{t_e - t_{si}}$, which is under the accepted limit $f_{Rsi} < 0.8$ [20, 21]. Because of serious thermal bridges (Fig. 2), mold growths are on the interior surface, especially in the corners of exterior walls and the roof.

The pilot building has problems typical and similar to many other older buildings: high energy consumption, insufficient ventilation, overheating during winter, unsatisfactory thermal comfort. Fresh air inlet was initially designed through the slits around untightened window wooden-frames and natural exhaust via kitchen and sanitary rooms to the central shaft. The building has a one-pipe radiator heating system without thermostats and the room temperature for the whole building is regulated by a heat substation depending on the outdoor temperature. Pre-renovation total delivered annual energy with III indoor climate category (ICC III, acceptable, moderate level of expectation) was 214 kWh/(m²·a) (real energy use was higher 300 kWh/(m²·a) because of approximately two times larger use of electricity and domestic hot water):

- for heating and ventilation 149 kWh/(m²·a);
- for domestic hot water (DHW) 30 kWh/(m²·a);
- for appliances and electricity 30 kWh/(m²·a);
- for fans and pumps 5 kWh/(m²·a).

Энергоэффективность / Energy performance

Energy performance is defined in Estonia as a numeric indicator, Energy Performance Value (EPV), of primary energy use, taking into account energy for:

- heat for space heating and ventilation;
- heat for domestic hot water (DHW);
- electricity for lighting and appliances.

Based on energy performance, buildings are divided into different energy certification classes (ECC) [22]:

- ECC “A” nearly Zero Energy Building (nZEB), EPV ≤ 100 kWh/(m²·a) (Fig. 3);
- ECC “B” Low energy building, EPV ≤ 120 kWh/(m²·a);
- ECC “C” Minimum requirement for new building, EPV ≤ 150 kWh/(m²·a);
- ECC “D” Minimum requirement for major renovation, EPV ≤ 180 kWh/(m²·a);
- ECC “D” – “H” more energy use.

Ventilation airflow after renovation should represent a normal level of expectation for the II indoor climate category (ICC II) with ventilation airflow 0.42 l/(s·m²).

The design of the pilot started with preliminary energy and economical calculations [23, 24]. The calculated primary

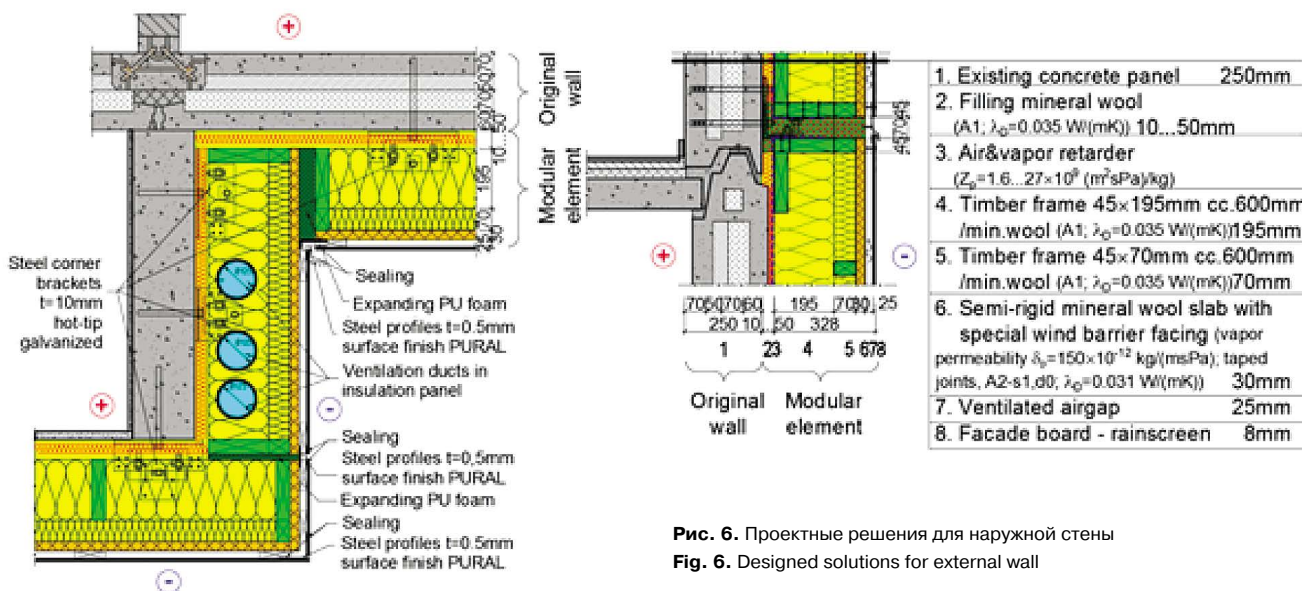


Рис. 6. Проектные решения для наружной стены
Fig. 6. Designed solutions for external wall

energy use of nZEB renovation shows a 2/3 reduction compared to pre-renovation state. The heating system will be replaced with a two-pipe system with hydronic radiators and thermostats. The building's initial passive stack ventilation system will be replaced with a mechanical supply and exhaust ventilation with heat recovery. The deficit of places for ventilation ducts in this project design will be solved with the integration of preheated air supply ducts into the renovation module panels. Solar

collectors and PV panels will be installed onto the roof, ventilation and sewerage heat recovery is applied.

Сборные модульные деревянные элементы для дополнительной теплоизоляции строительной оболочки / Prefabricated modular wooden elements for additional thermal insulation of building envelope

The building envelope above ground (walls and roof) was insulated with prefabricated wooden modular elements. Basement walls were insulated in-situ with an external thermal insulation composite system. Prefabricated modular panels consist of a timber frame structure filled with mineral wool. In principle, other lightweight structures and insulation materials are also conceivable. To get accurate information about the unevenness and roughness of the existing surfaces and inhomogeneity of windows location, 3D laser scanning of the envelope was conducted before the design.



Рис. 7. Производство деревянных элементов стен на фабрике
Fig. 7. Production of wooden elements in factory elements in factory



Рис. 8. Установка окон в стенные элементы на фабрике
Fig. 8. Windows were installed into wall elements in factory



Designed roof elements (Fig. 4, 5) were installed on the specially built timber structure because the original roof has an inward slope and parapet. Therefore, under the formed slope roof, in 0.6–1.2 m high attic between old and new roof, service systems (e. g. heat exchangers, duct dispensers, automatics etc.) were placed. The total thickness of the thermal insulation in the roof modules is 340 mm, $K_{\text{roof}} = 0.1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

The total thickness of designed (Fig. 6) and installed modular wall elements (Fig. 7) is 340–380 mm, depending on the surface flatness of the existing wall. The total thickness of the thermal insulation in wall panels is 305–345 mm: 30 mm wind barrier, 70+195 mm insulation between timber frames and 10–50 mm light elastic mineral wool to fill the unevenness and roughness of the existing surfaces, $K_{\text{wall}} = 0.11 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. In the wall panel with dimensions $\approx 2.7 \times 9 \text{ m}$, installed in a horizontal direction, are up to three preinstalled windows. To minimize joints between the modules and connections of pipes on site, the panels with embedded ventilation ducts were installed in a vertical direction. New windows were installed into element in factory conditions (Fig. 8) and old window was removed from wall after installing the whole insulation element. This allows renovation during winter because indoor temperature does not decrease remarkably. Triple glazing windows were used, with two low emissivity coatings, $K_{\text{window}} \leq 0.8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

Wooden elements were mounted directly from a truck on two different facades at the same time (Fig. 9).

Self-supporting modules were hanged onto the existing wall surface with the help of designed fixings, allowing adjustment of modules in all three directions (Fig. 10). Therefore, there was no need for additional foundation for the wall module panels.

To avoid thermal bridges and to minimize the impact of air leakage and convection, smart connectors and innovative fixings, adhesive sealants and elastic foam was used in the joints between the modules. All vertical joints between wall modules were protected with sealing and steel strips under the facade boards. Horizontal joints were equipped with slits (drip molds) to prevent rain penetration to the insulation. All internal intersections between modules were sealed and filled with expansive foam. To avoid having to tighten the existing envelope, the airtightness of the building was guaranteed with prefabricated highly-



Рис. 9. Деревянные элементы монтировались непосредственно с грузовика одно- временно на два фасада (а). Для минимизации влияния дождя облицовываемые фасады были влагоизолированы (b)

Fig. 9. Wooden elements were mounted directly from a truck on two different facades at the same time (a). To minimize the influence of driving rain, facades were covered when waiting to mount panels (b)



Рис. 10. Оригинальные фасады были усилены диагональными якорями (а). Модульные деревянные элементы были повешены на существующую поверхность стены с помощью разработанных фиксаций, позволяющих регулирование модулей во всех трех направлениях (b)

Fig. 10. Original facades was strengthened with diagonal anchors (a). Modular wooden elements were hanged onto the existing wall surface with the help of designed fixings, allowing adjustment of modules in all three directions (b)



insulated modules. Airtightness of building envelope after renovation was $q_{50} \leq 1.8 \text{ m}^3/(\text{hm}^2)$.

Выводы / Conclusions

A pilot nZEB renovation of a typical concrete large panel apartment building was conducted in Estonia. This is one of the first deep energy renovations that has been designed to correspond to the nZEB target of new buildings. In addition to the use of prefabricated modular panels for building envelope insulation, the design solution includes many other tasks to be researched: parallel comparison of two different ventilation solutions: apartment based balanced VHR and centralized balanced VHR; parallel comparison of heating of DHW by solar collectors and sewage heat recovery.

Heat transfer coefficient of the developed solution with prefabricated modular panels is designed to be $K \leq 0.1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. One of the most critical design tasks was the selection of a vapor barrier for the module panel to avoid problems related with dry-out of possible constructional moisture. A smart vapor retarder with changing vapor permeability was needed.

The analysis and the whole process of design itself showed that it was essential to consider the initial state of the building when highly-insulated module panels are intended to be used for a nZEB renovation. One of the challenges in this process was the decisive importance of the interaction between the design process and the construction work at the building site. Engineers and designers should include hygrothermal modelling into design practices to assure the moisture safety of structures and sustainability in the long term.

The installation of the wooden modular elements indicated that a substantial thorough initial work ("measure twice and cut once") and deeper concentration of moisture safety issues are needed. Roof elements must be installed before the wall elements to prevent the wetting of the original external wall due to driving rain and rain from the temporary roof.

The analysis, design, construction and other activities of the integrated nZEB process gave us a unique experience, showing weak links in the chain and helping to prevent major faults in the next pilots.

References

- European Commission, Energy Roadmap 2050 Impact assessment and scenario analysis, Brussels, 2011.
- Engvall K., Lampa E., Levin P., Wickman P., Öfverholm E. Interaction between building design, management, household and individual factors in relation to energy use for space heating in apartment buildings. *Energy and Buildings*. Vol. 81. 2014, pp. 457–465.
- Paiho S., Pinto I.S., Jimenez C. An energetic analysis of a multifunctional façade system for energy efficient retrofitting of residential buildings in cold climates of Finland and Russia, *Sustain. Sustainable Cities and Society*. 2015. Vol. 15, pp. 75–85. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2014.12.005>
- Arumägi E., Kalamees T. Analysis of energy economic renovation for historic wooden apartment buildings in cold climates. *Applied Energy*. 2014. Vol. 115, pp. 540–548.
- Kuusk K., Kalamees T. Retrofit cost-effectiveness: Estonian apartment buildings. *Building Research & Information*. 2016. Vol. 44. Iss. 8, pp. 920–934. DOI: <https://doi.org/10.1080/09613218.2016.1103117>
- Ilomets S., Kuusk K., Paap L., Arumägi E., Kalamees T. Impact of linear thermal bridges on thermal transmittance of renovated apartment buildings. *Journal of Civil Engineering and Management*. 2016. 23(1):1–9. DOI: 10.3846/13923730.2014.976259
- Ilomets S., Kalamees T. Evaluation of the criticality of thermal bridges. *Journal of Building Pathology and Rehabilitation*. 2016. 1 (1). 1–13. DOI: 10.1007/s41024-016-0005-6.
- Kuusk K., Kalamees T., Link S., Ilomets S. Case-study analysis of concrete large-panel apartment building at pre- and post low-budget energy-renovation. *Journal of Civil Engineering and Management*. 2017. 23 (1), pp. 67–75. DOI: <https://doi.org/10.3846/13923730.2014.975741>
- Alev Ü., Allikmaa A., Kalamees T. Potential for finance and energy savings of detached houses in Estonia. *Energy Procedia*. 2015. Vol. 78, pp. 907–912. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.017>
- Kalamees T., Lupišek A., Mørck O.C., Borodinecs A., Aalmeida M., Rovers R., Veld P.O. 't, Kuusk K., Silva S. What kind of heat loss requirements nZEB and deep renovation sets for building envelope? IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 251 (2017) 012056 doi:10.1088/1757-899X/251/1/012056
- Matic D., Calzada J.R., Eric M., Babin M. Economically feasible energy refurbishment of prefabricated building in Belgrade. *Energy Build*. 2015. Vol. 98, pp. 74–81.
- Botici A.A., Ungureanu V., Ciutina A., Botici A., Dubina D., Sustainable retrofitting of large panel prefabricated concrete residential buildings. *CESB 2013 Sustain. Build. Refurb. Next Gener.* Prague. Czech Republic. 26–28 June 2013. http://cesb.cz/cesb13/proceedings/1_refurbishment/CESB13_1277.pdf
- Jurelionis A., Šeduikyte L. Multifamily building refurbishment process in Lithuania and other European countries. *10th Int. Conf. Mod. Build. Mater. Struct. Tech.* Vilnius. Lithuania. 19–21 May 2010, pp. 106–111.
- Sandberg K., Orskaug T., Andersson A. Prefabricated Wood Elements for Sustainable Renovation of Residential Building Façades. *Energy Procedia*. 2016. Vol. 96, pp. 756–767.
- Ruud S., Östman L., Orädd P. Energy Savings for a Wood Based Modular Pre-fabricated Façade Refurbishment System Compared to Other Measures. *Energy Procedia*. 2016. Vol. 96, pp. 768–778.
- Ott S., Loebus S., Winter S. Vorgefertigte Holzfassadenelemente in der energetischen Modernisierung. *Bautechnik*. 2013. Vol. 90, pp. 26–33.
- Mjörnell K. Experience from Using Prefabricated Elements for Adding Insulation and Upgrading of External Façades. In book: Case Studies, Edition: volume 7, Chapter: Experience from Using Prefabricated. Editors: João M.P.Q. Delgado Editor Springer. pp. 95–114. DOI: 10.1007/978-981-10-0639-5
- Silva P.C.P., Almeida M., Bragança L., Mesquita V. Development of prefabricated retrofit module towards nZEB. *Energy Build*. 2013. Vol. 56, pp. 115–125.
- Veld P.O. MORE-CONNECT: Development and Advanced Prefabrication of Innovative, Multifunctional Building Envelope Elements for Modular Retrofitting and Smart Connections. *Energy Procedia*. 2015. Vol. 78, pp. 1057–1062.
- EN ISO 13788, Hygrothermal performance of building components and building elements – Internal surface temperature to avoid critical surface humidity and interstitial condensation – Calculation methods. 2012. 48.
- Kalamees T. Critical values for the temperature factor to assess thermal bridges. Proceedings of the Estonian Academy of Sciences. 2006. Vol. 12, pp. 218–229.
- 15 RT I, 05.06.2015, Energiatõhususe miinimumnõuded (Minimum requirements for buildings energy performance), 2015.
- nZEB Retrofit of a Concrete Large Panel Apartment Building. *Energy Procedia*. 2015, Vol. 78, pp. 985–990.
- Rose J., Thomsen K.E., Mørck O.C., Kuusk K., Kalamees T. The Economic Challenges of Deep Energy Renovation-Differences, Similarities, and Possible Solutions in Northern Europe: Estonia and Denmark, *ASHRAE Trans*. 122 (2016) 58–68.

Минстрой России совершенствует систему ценообразования в строительстве

Минстрой России по поручению главы государства продолжает работу над совершенствованием системы ценообразования в строительстве с целью создания единой государственной сметно-нормативной базы и организации государственного мониторинга цен строительных ресурсов, в том числе при продаже их производителями. Совместно с экспертным сообществом обсуждается возможность расширения подходов, которые позволят упростить применение в отрасли ресурсной модели определения сметной стоимости строительства.

Для того чтобы участники рынка могли применять современные методы ценообразования, необходимо решить ряд дополнительных задач.

В частности, планируется увеличить количество каналов сбора данных о ценах строительных ресурсов в Федеральную государственную систему ценообразования (ФГИС ЦС) от лиц, обладающих достоверной информацией. Так, с Минпромторгом России планируется взаимодействие по сбору данных в части перечня производителей и импортеров, а также объемов производства и импорта строительных материалов. Дополнительно прорабатывается вопрос

формирования ФГИС ЦС как открытого платформенного решения, которое предложит рынку необходимую ему аналитику и сервисы, например возможность расчета стоимости мультимодальных перевозок. Началось тестирование информационного взаимодействия со сметными программами, используемыми рынком.

При этом до законодательно установленного срока перехода на ресурсную модель ценообразования планируется сохранить и существующий порядок определения сметной стоимости строительства: базисно-индексным, ресурсно-индексным и ресурсным методами. Для этого прорабатывается вопрос снятия запрета на изменение действующих нормативов базисно-индексного метода, установленный Градостроительным кодексом РФ 30 сентября 2017 г.

В части актуализации государственной сметно-нормативной базы помимо проводимой работы, по мнению Минстроя России, особое внимание необходимо уделить синхронизации федеральных сметных нормативов с действующими региональными и отраслевыми. Для этого важно оптимизировать порядки актуализации сметных нормативов.

По материалам Минстроя РФ

Утверждены правила производства и приемки фундаментов высотных зданий и сооружений

Утвержден свод правил «Конструкции фундаментов высотных зданий и сооружений. Правила производства работ», положения которого распространяются на производство и приемку фундаментов высотных зданий и сооружений, а также на устройство оснований при строительстве новых высотных объектов. Применение документа будет способствовать повышению надежности конструкций фундаментов высотных зданий, улучшению их эксплуатационных качеств.

Актуальность разработки документа обусловлена возросшим объемом строительства уникальных высотных зданий на фундаментах, передающих на грунт большую нагрузку (фундаментных плит высотой до 3 м и более, буронабивных свай диаметром 1,5 м и более, глубиной более 30 м, плитно-свайных фундаментов и т. п.). Существующие в настоящее время нормативные документы не отражают в полной мере специфику выполнения и требуе-

мые объемы контроля качества устройства фундаментов и высотных зданий.

В новом своде правил установлены требования к используемым материалам, к подготовке грунта основания под фундаментную плиту или ростверк, а также к производству работ по устройству фундаментной плиты, буронабивных свай и баррета. Кроме того, документ содержит требования к контролю качества выполнения работ и готовой продукции, а также к мониторингу и надзору при выполнении работ.

Свод правил разработан коллективами Научно-исследовательского, проектно-изыскательского и конструкторско-технологического института оснований и подземных сооружений (НИИОСП) им. Н.М. Герсеева и Научно-исследовательского, проектно-конструкторского и технологического института бетона и железобетона (НИИЖБ) им. А. А. Гвоздева.

По материалам Минстроя РФ

Десятый завод по производству материалов строительной химии открылся в России

Химический концерн Sika, мировой лидер по производству материалов и технологий для строительства и транспортного машиностроения, открыл новый завод по выпуску добавок в бетон. На предприятии будут производиться жидкие добавки в бетон, необходимые для сложных строительных проектов промышленных масштабов. География поставок продукции включает в себя Уральский федеральный округ, Поволжье и Сибирь.

Предприятие расположилось в г. Березовском недалеко от Екатеринбурга. Первичные инвестиции в строительство и запуск объекта составили более 11 млн р. По словам генерального директора подразделения компании

Sika в России С. Зюзи, открытие нового завода – большой шаг на пути укрепления конкурентных позиций Sika в России. Главным образом это произойдет за счет близости к клиентам и укороченным транспортным маршрутам.

Завод будет выпускать широкий спектр жидких добавок в бетон – пластифицирующих, противоморозных, воздухововлекающих, ускорителей и замедлителей, а также многих других. Производственные мощности объекта составят 12 тыс. т добавок в год при работе в три смены. Это позволит предприятию поставлять необходимые материалы не только в свой регион, но и в соседние.

Новости компании Sika

УДК 666.972.163(045)

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-764-10-19-23>

М.Е. ЖУРКОВСКИЙ¹, инженер (makhimik@mail.ru), А.Н. БЛАЗНОВ¹, д-р тех. наук (blaznov74@mail.ru);
И.К. ЖАРОВА², д-р физ.-мат. наук (zharova@niipmm.tsu.ru);
П.В. ВЕРЕЩАГИН³, канд. техн. наук (vpv@bti.secna.ru)

¹ Институт проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения Российской академии наук (659322, г. Бийск, ул. Социалистическая, 1)

² Национальный исследовательский Томский государственный университет (634050, г. Томск, пр. Ленина, 36)

³ Бийский технологический институт (филиал) Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова (659305, г. Бийск, ул. Трофимова, 27)

Повышение прочности бетонов с использованием минеральных частиц флотационных отходов горно-обогатительных предприятий

Переработка и рекуперация отходов горно-обогатительных предприятий вносят значительный вклад в решение экономических и экологических проблем. Исследования направлены на решение проблемы переработки горнорудных флотационных отходов путем их введения в бетон с целью повышения его прочности. Проведены гранулометрические исследования наполнителя и флотационных отходов. Размер основной фракции используемых частиц отходов флотации менее 50 мкм. В работе приведены результаты экспериментального исследования прочности бетонов с различным соотношением исходных компонентов и разным дисперсным составом наполнителя, а также зависимость набора прочности бетона с минеральной добавкой от времени твердения. По результатам анализа выявлено, что бетон с добавлением частиц горнорудных отходов имеет большую прочность в сравнении с исходным составом. Добавка существенно влияет на структуру образующегося бетона. При этом прочностной эффект различен в зависимости от дисперсности частиц наполнителя.

Ключевые слова: бетон, наполнитель, связующее, минеральная добавка, отходы флотации, состав, прочность, частицы, дисперсность.

Работа выполнена при использовании оборудования Бийского регионального центра коллективного пользования СО РАН (ИПХЭТ СО РАН, г. Бийск). Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 17-38-50200 «мол_нр».

Для цитирования: Журковский М.Е., Блазнов А.Н., Жарова И.К., Верещагин П.В. Повышение прочности бетонов с использованием минеральных частиц флотационных отходов горно-обогатительных предприятий // *Строительные материалы*. 2018. № 10. С. 19–23. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-764-10-19-23>

M.E. ZHURKOVSKY¹, Engineer (makhimik@mail.ru), A.N. BLAZNOV¹, Doctor of Sciences (Engineering) (blaznov74@mail.ru);

I.K. ZHAROVA², Doctor of Sciences (Physics and Mathematics) (zharova@niipmm.tsu.ru);

P.V. VERESHCHAGIN³, Candidate of Sciences (Engineering) (vpv@bti.secna.ru)

¹ Institute for Problems of Chemical and Energetic Technologies of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (1, Sotsialisticheskaya Street, Byisk, 659322, Russian Federation)

² National Research Tomsk State University (36, Lenina Street, Tomsk, 634050, Russian Federation)

³ Byisk Technological Institute (branch), Polzunov Altai State Technical University (27, Trofimova Street, Byisk, 659305, Russian Federation)

Increasing the Strength of Concretes with Particles of Flotation Waste of Mining and Concentrating Enterprises

Processing and recuperation of waste from mining and concentrating enterprises make a significant contribution to the solution of economic and environmental problems. Studies are aimed at solving the problem of processing of mining flotation waste by introducing them into the concrete in order to increase its strength. Granulometric studies of the filler and flotation waste were carried out. The size of the main fraction of flotation waste particles used is less than 50 μm. The paper presents the results of an experimental study of the strength of concretes with different ratios of initial components and different dispersed composition of the filler, as well as the dependence of the development of strength in concrete with a mineral additive on the time of hardening. Results of the analysis revealed that the concrete with the addition of particles of mining waste has greater strength in comparison with the initial composition. The additive significantly affects the structure of the resulting concrete. In this case, the strength effect is different depending on the dispersion of the filler particles.

Keywords: concrete, filler, binder, mineral additive, flotation waste, composition, strength, particles, dispersion.

The work was carried out with the use of equipment of the Byisk Regional Center of Collective Use, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (IPKhET SB RAS, Byisk). The study was conducted under the financial support of Russian Fond for Basic Research within the frame of scientific project № 17-38-50200 “mol nr”.

For citation: Zhurkovsky M.E., Blaznov A.N., Zharova I.K., Vereshchagin P.V. Increasing the Strength of Concretes with Particles of Flotation Waste of Mining and Concentrating Enterprises. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 10, pp. 19–23. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-764-10-19-23> (In Russian).

В мире ежегодно добывают и перемещают большое количество горных пород, из которых 17–20 млрд т составляют твердое топливо, сырье для изготовления строительных материалов и т. п. При этом 1,5–7,5 млрд т используются для извлечения железной, медной и других руд путем их обогащения на горно-обогатительных предприятиях. Остальное (~120 млрд т) — это отходы, химический состав которых близок к среднему химическому составу земной коры [1]. Эти отходы включают и

отходы флотации горно-обогатительных комбинатов, которые обладают важной особенностью: входящие в их состав твердые частицы имеют очень малый размер. Эта особенность позволяет использовать вторично отходы флотации, например в стройиндустрии [2, 3].

Измельчение твердых материалов относится к числу самых энергоемких, материалоёмких технологических процессов. Поэтому актуально использовать минеральные отходы не только для устранения экологических

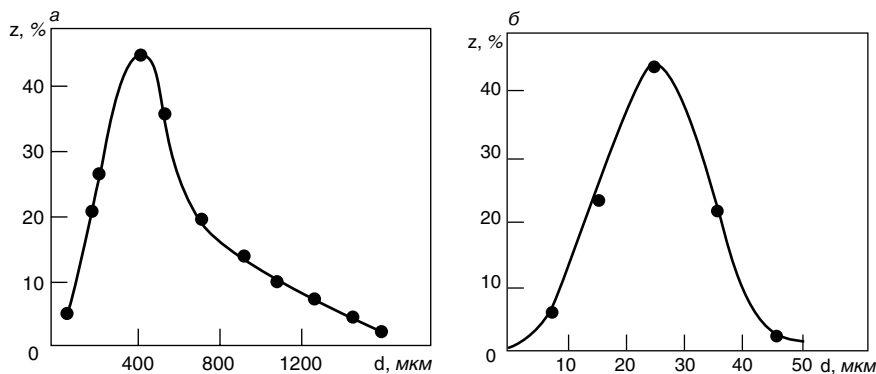


Рис. 1. Содержание частиц в песке (а) и минеральной добавке (б)

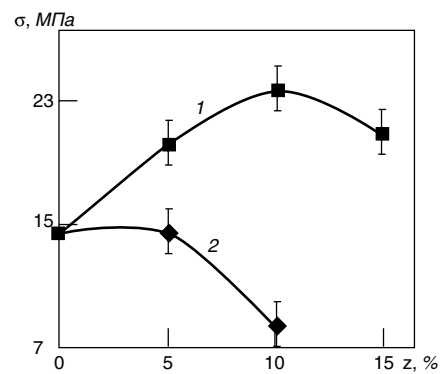


Рис. 2. Прочность при сжатии образцов с частичной заменой песка (1) и цемента (2) минеральной добавкой

последствий флотации [4, 5], но и с целью повышения энергетической эффективности производства [6].

Одно из направлений возможного использования мелкодисперсных минеральных наполнителей отходов флотации горно-обогатительных комбинатов – это бетоны различных классов. Как известно, бетонная масса состоит из наполнителей и связующего (наиболее часто – цемент). При гидратации цемента происходят химические превращения, в которых не участвует наполнитель, однако он, как элемент конструкционного материала, оказывает влияние на ряд физико-химических свойств получаемого бетона. Содержание частиц с сильно развитой поверхностью может значительно снизить активность цемента [7]. Крупный наполнитель способствует образованию зон контакта. Зона контакта в бетоне, как правило, является слабым местом структуры, где локализуются внутренние напряжения, превышающие прочность сцепления наполнителя и связующего или когезионную прочность их пограничных слоев при действии внешних нагрузок и агрессивных сред [6].

Бетон относится к материалам, хорошо сопротивляющимся сжатию. Поэтому прочность бетона при сжатии – один из основных параметров, характеризующий его в качестве строительного материала. Прочность бетона зависит от большого количества факторов: водоцементное отношение, соотношение компонентов бетонной смеси, марка цемента, качество наполнителей, пористость, время созревания, температура и др. [8].

Целью настоящей работы является исследование влияния твердых частиц отходов флотации на прочность бетона при сжатии при различных соотношениях компонентов бетонной смеси и на кинетику набора прочности бетона в зависимости от дисперсного состава твердых частиц и их массового содержания в бетоне.

На первом этапе исследования составов бетона с твердой фазой отходов флотации [9] горно-обогатительной фабрики (далее – минеральной добавкой) были получены данные о гранулометрическом составе наполнителей для детального изучения структуры образующихся бетонов. Методы исследования гранулометрического состава были выбраны в зависимости от исходной дисперсности частиц наполнителей: для песка использовался ситовый анализ, для высокодисперсной минеральной добавки – оптический метод определения характерного размера частиц (диаметр d) с помощью микроскопа. Функции распределения частиц по размерам представлены на рис. 1.

Выявлено, что распределение частиц песка по размерам (рис. 1, а) соответствует классическому. Максимальный диаметр частиц песка составляет ~1800 мкм, диаметр частиц основной фракции находится в диапазоне 200–650 мкм. На рис. 1, б приведено эквивалент-

ное массовому объемное распределение частиц минеральной добавки по размерам. Диаметр частиц основного объема минеральной добавки находится в диапазоне 15–40 мкм. Следует отметить, что в процессе исследовательский гранулометрического состава минеральной добавки оптическим методом наблюдались частицы диаметром менее 1 мкм, точный размер которых не удалось установить с помощью микроскопа. Это свидетельствует о возможном наличии наноразмерных частиц. В связи с этим можно предположить, что помимо повышения прочности бетона за счет улучшения его структуры, наноразмерные частицы минеральной добавки могут повлиять на гидролиз частиц цементного вяжущего и затвердевший камень будет частично или полностью состоять не из высокоосновных, а из более плотных низкоосновных гидросиликатов кальция [10]. В работах [11, 12] содержатся данные о крупности твердых частиц «хвостов» флотации, в которых присутствуют частицы размером до 150–200 мкм, более крупные, чем приведенные на рис. 1, б. Это объясняется тем, что для настоящих исследований отбор проб илов проведен в районе дамбы прудка-отстойника, расположенной ниже сброса сточных вод примерно на 1 км [13]. В этом случае более крупные частицы успели осесть, а вблизи дамбы оседают в ил более мелкие частицы, которые дольше находились в сточных водах во взвешенном состоянии.

На втором этапе для определения прочности бетонов исследуемых составов были изготовлены цилиндрические образцы. Для того чтобы минимизировать вероятность попадания дефектных (значительных по объему) включений, выбор оснастки проводился исходя из размеров частиц наполнителя, не превышающих 1800 мкм. В связи с этим для испытаний в лабораторных условиях оснастка выполнена с уменьшенным по отношению к стандартным образцам (ГОСТ 10180–2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам») поперечным сечением. Оснастка представляла собой полиуретановые цилиндры диаметром 50 мм и высотой 50 мм [14].

Добавка обрабатывалась на составе 1:3:0,67 на ЦЕМ II/A-III 32,5Б и ЦЕМ I 42,55 связующем. Испытание и хранение проводились согласно ГОСТ 10180–2012. Образцы бетона, получаемые из раствора заданного состава, извлекались из формы по истечении 24 ч и хранились, накрытые пленкой, исключая испарение влаги, во влажном песке при температуре $20 \pm 2^\circ\text{C}$. В соответствии с методикой образцы должны быть выдержаны до испытания при указанных условиях в распалубленном виде в течение 4 ч. Однако из-за недостаточного просыхания образцов с минеральной добавкой и, как следствие, значительного занижения прочностных характеристик время выдержки было увеличено до 8 ч [14].

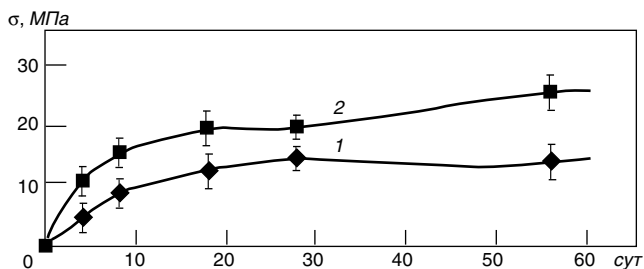


Рис. 3. Зависимость набора прочности бетона при сжатии от времени твердения: 1 – без добавки, 2 – с добавкой

Далее, для выявления прочностного эффекта минеральной добавки и определения ее оптимального содержания в бетоне были поставлены эксперименты на образцах с частичной заменой в разных соотношениях из базового состава цемента или песка на минеральную добавку. При этом снижения расхода цемента и повышения прочностных характеристик предполагалось добиться путем снижения нагрузок в зонах контакта (зоны локализации процессов разрушения при воздействии внешних нагрузок), т. е. улучшением структуры компенсировать уменьшение активной поверхности цемента.

При одинаковом водоцементном отношении прочность бетона незначительно зависит от подвижности бетонной смеси, прочность бетона из жесткой смеси выше в среднем на 1–5% [15]. В связи с этим во всех рассматриваемых составах независимо от подвижности смеси использовалось одинаковое водоцементное отношение, составляющее 16,8% от массы твердых компонентов. Песок для изготовления мелкодисперсного бетона использовался речной, соответствующий ГОСТ 6139–2003 «Песок для испытаний цемента. Технические условия». Оценка прочностного эффекта и определение оптимального содержания добавки проводились по результатам серии испытаний шести составов. В табл. 1 приведены компонентные соотношения исследуемых составов. Характеристики (прочность $R_{сж}$ и плотность ρ), представленные в табл. 1, усреднялись по результатам трех параллельных опытов. Образцы испытывались по истечении 28 сут согласно ГОСТ 10180–2012.

Анализ полученных данных (табл. 1) показал, что замена 5% цемента (состав 2) на минеральную добавку практически не влияет на прочность. Это позволяет сделать обоснованный вывод об экономической целесообразности использования минеральной добавки в составе связующего вместо 5% относительно дорогостоящего цемента.

Таблица 1

Компонентные соотношения исследуемых составов (в мас. %), характеристики прочности и плотности

Состав	Цемент, %	Песок, %	Добавка, %	$R_{сж}$, МПа	ρ , кг/м ³
1	25	75	0	14,48±0,7	2074±3
2	20	75	5	14,42±2,21	2113±19
3	15	75	10	8,29±0,98	2095±6
4	25	70	5	20,22±0,99	2152±9
5	25	65	10	23,53±1,44	2176±9
6	25	60	15	20,99±2,23	2152±11

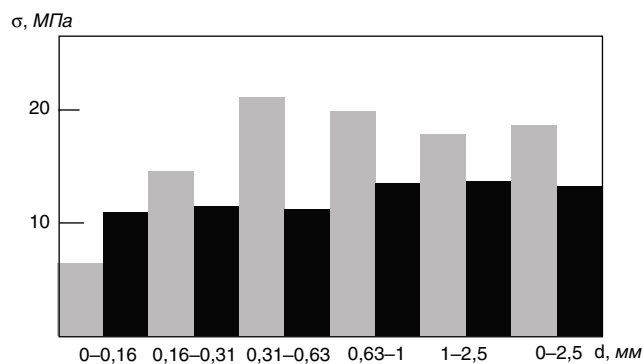


Рис. 4. Прочность бетона при различном гранулометрическом составе наполнителя

На рис. 2 приведены зависимости прочности при сжатии образцов бетона с частичной заменой наполнителя (песка) и связующего (цемента) минеральной добавкой, z – массовая доля минеральной добавки.

Анализ полученных данных показал, что замена 10% цемента на минеральную добавку (состав 3) отрицательно влияет на прочность бетона при сжатии. По-видимому, этот эффект является следствием следующих причин:

- перенасыщение раствора, минеральные добавки не укладываются между крупными частицами песка, начинают их раздвигать, что не способствует улучшению структуры;
- активная поверхность цемента существенно загрязняется минеральными добавками, и связующих свойств цемента для обволакивания частиц наполнителя недостаточно.

Замена наполнителя (песка) на минеральные добавки с частицами диаметром 15–40 мкм приводит к увеличению прочности рассмотренных бетонов в сравнении с прочностью бетона стандартного состава 1 (табл. 1).

На основании результатов испытаний проведена оценка интервала эффективности при замене 5; 10; 15% песка минеральной добавкой: максимальный прочностной эффект достигается при 10% добавки, прочность увеличивается на 62% (состав 5); при 15% добавки (состав 6) прочность ниже максимальной, но превышает прочность бетона стандартного состава на 45%.

Дальнейшие исследования проводились на составе 5, наиболее перспективном в качестве строительного материала по характеристике прочности при сжатии.

Средние значения экспериментальных данных влияния добавки на кинетику твердения бетона приведены на рис. 3. Средняя плотность образцов без добавки составила 2096 ± 28 кг/м³, с добавкой – 2149 ± 26 кг/м³.

Анализ полученных данных показал (рис. 3), что набор прочности состава без добавки за период в 28 сут происходит медленнее классической кривой набора прочности для ПЦ400, что говорит о недостаточном содержании быстротвердеющего высокопрочного минерального компонента в связующем, такого как трехкальциевый силикат (алит) [15]. Для состава с добавкой в количестве 10% наблюдается начальное увеличение прочности в первые 4 сут предположительно из-за формирования лучшей структуры. Далее кинетика обоих составов становится одинаковой, в пределах погрешности, что свидетельствует о том, что минеральная добавка на механизм твердения не влияет. Абсолютное значение прочности бетона при сжатии при выдержке до 56 сут с добавкой 10% минеральных частиц составило $25 \pm 2,33$ МПа, что в 1,6 раза выше прочности бетона стандартного состава ($15 \pm 2,3$ МПа).

С целью установления фракционного состава наполнителя с минеральными добавками, способствующего

Таблица 2
 Результаты испытаний исследуемых составов

d, мм	Состав, мас. %			R _{сж} , МПа	ρ, кг/м ³
	Цемент	Наполнитель	Добавка		
0–0,05	25	0	75	6,59±0,67	1853±6,7
0–0,16	25	75	0	11,05±1,66	1885±23,99
0,16–0,315	25	75	0	11,21±0,72	1990±20,27
0,16–0,316	25	65	10	14,63±0,38	2071±10,17
0,315–0,63	25	75	0	11,05±1,43	2038±18,68
0,315–0,63	25	65	10	20,93±2,36	2099±7,76
0,63–1	25	75	0	13,34±3,92	2038±26,95
0,63–1	25	65	10	19,92±1,64	2117±24,07
1–2,5	25	75	0	13,69±2,43	2145±20,26
1–2,5	25	65	10	17,99±3,1	2146±26,94
0–2,5	25	75	0	13,26±2,69	2057±26,52
0–2,5	25	65	10	18,92±3,35	2099±23,32

формированию наилучшей структуры бетона и, следовательно, достижению максимального прочностного эффекта, исследовалось влияние гранулометрического состава наполнителя (песка) на прочность бетона. Песок разделялся на фракции ситовым методом. Формировались составы с добавкой и без добавки. Изготовленные из исследуемых составов бетонные образцы по истечению 28 сут набора прочности испытывались на сжатие. Составы и осредненные по результатам серии испытаний значения прочности и плотности представлены в табл. 2.

Сравнивая прочность бетонов стандартного состава на основе речного песка дисперсностью 0–2,5 мм (табл. 2) и мелкодисперсных наполнителей, таких как просев речного песка (0–0,16 мм), и минеральной добавкой (0–0,05 мм), наблюдается снижение прочности. Для бетона с минеральной добавкой в количестве 75% без песка прочность снижается в два раза. Это связано с загрязнением активной поверхности связующего цемента. Поэтому высокодисперсные наполнители, такие, как минеральная добавка, просеянный или молотый песок, без добавления крупного песка непригодны к применению в бетонах с точки зрения прочностных характеристик и влекут перерасход связующего.

Данные испытаний, приведенные в табл. 2, свидетельствуют о снижении плотности при уменьшении

Список литературы

- Петров В.П., Токарева С.А. Пористые заполнители из отходов промышленности // *Строительные материалы*. 2011. № 12. С. 46–51.
- Журковский М.Е., Блазнов А.Н., Жарова И.К. Комплексное использование отходов горнодобывающих предприятий на примере применения минеральных частиц «хвостов» флотации в строительных материалах // *Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов*. 2018. № 4. С. 489–494.

размера частиц фракций наполнителя. По-видимому, это связано с увеличением массы воздуха, вовлеченного частицами наполнителя. Снижение плотности, в свою очередь, способствует снижению прочности бетона.

На рис. 4 приведены сравнительные данные прочности бетона при различном гранулометрическом составе наполнителя с добавкой и без добавки.

Для составов без добавки (рис. 4) наблюдается «плато» прочности бетона в интервалах размеров частиц наполнителя 0–0,63 мм (прочность ниже) и 0,63–2,5 мм (прочность соответствует контрольному стандартному составу). Это связано с уравниванием двух эффектов – улучшением структуры за счет уменьшения центров концентраций напряжений, с одной стороны, и гашением активности цемента, с другой.

Прочность бетонов с 10% заменой песка на минеральную добавку (рис. 4) с наполнителем дисперсным составом (1–2,5 мм) и речным песком соизмеримы; прочность бетонов с наполнителем другого дисперсного состава существенного различается. При этом прочность образцов с добавкой стабильно выше, чем прочность образцов бетонов без добавки, за исключением образца с добавкой в количестве 75% без добавления песка. Максимальное увеличение прочности образцов с минеральной добавкой достигается при использовании наполнителя дисперсностью 0,31–0,63 мм: прочность возрастает на 89% по сравнению с прочностью аналогичного бетона без добавки.

Полученные данные свидетельствуют, что добавка по-разному влияет на структуру бетона с различным гранулометрическим составом наполнителя.

Выводы.

Установлено, что добавление или частичная замена наполнителя в составе бетона твердой фазой отходов флотации дисперсностью 15–40 мкм способствует увеличению прочности бетона при сжатии. Оптимальна частичная замена наполнителя (песка) на 10% минеральной добавки. При этом прочность бетона увеличивается на 62%.

Частичная замена связующего (цемента) на 5% минеральной добавки – твердых частиц отходов флотации диаметром 15–40 мкм – незначительно влияет на прочность при сжатии бетона рассмотренных составов.

Установлено, что минеральная добавка на кинетику твердения бетона не влияет, но влияет на прочностной эффект: прочность бетона с 10%-й минеральной добавкой в 1,4–1,6 раза выше прочности бетона без добавки после выдержки в течение 28 сут.

Дисперсность частиц наполнителя существенно влияет на прочностной эффект добавки. Максимальное увеличение прочности достигается при дисперсности наполнителя 0,315–0,63 мм с 10% минеральной добавкой и превышает на 89% прочность бетона без добавки.

References

- Petrov V.P., Tokareva S.A. Porous aggregates from industrial wastes. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2011. No 12. pp. 46–51. (In Russian).
- Zhukovsky M.E., Blaznov A.N., Zharova I.K. Integrated use of mining waste by the example of the use of mineral particles of flotation "tails" in building materials. *Naukoemkie tekhnologii razrabotki i ispol'zovaniya mineral'nykh resursov*. 2018. No. 4, pp. 489–494. (In Russian).
- Panova V.F., Panov S.A. Replacing natural resources through the use of man-made materials. *Naukoemkie*

3. Панова В.Ф., Панов С.А. Замена природных ресурсов за счет применения техногенного сырья // *Научно-технический журнал «Строительные материалы»*. 2015. № 2. С. 152–157.
4. Сакладов А.С., Робертус Ю.В., Любимов Р.В. О влиянии производственных отходов ОАО «Рудник «Веселый» на состояние окружающей среды // *Природные ресурсы Горного Алтая*. 2007. № 1. С. 79.
5. Сакладов, А.С. Характер и масштабы влияния на окружающую среду отходов горнодобывающих предприятий Республики Алтай. Дис... канд. геол.-минерал. наук. Барнаул. 2008. 155 с.
6. Траутвайн А.И., Ядыкина В.В., Гридчин А.М. Особенности механоактивированных минеральных порошков // *Строительные материалы*. 2011. № 11. С. 32–34.
7. Траутвайн А.И., Ядыкина В.В., Гридчин А.М. Повышение реакционной способности наполнителей в результате помола // *Строительные материалы*. 2010. № 12. С. 81–83.
8. Федосов С.В., Бобылев В.И., Ибрагимов А.М., Козлова В.К., Соколов А.М. Моделирование набора прочности бетона при гидратации цемента // *Строительные материалы*. 2011. № 11. С. 38–41.
9. Сыздыкова Ж.М., Кириллова М.М. Петрографическая характеристика пород в районе рудника «Веселый» (Республика Алтай). *Проблемы геологии и освоения недр: Труды XVI Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 110-летию со дня основания горно-геологического образования в Сибири*. Том I. Томск: Томский политехнический университет. 2012. С. 153–155.
10. Лесовик В.В., Потапов В.В., Алфимова Н.И. Повышение эффективности вяжущих за счет использования наномодификаторов // *Строительные материалы*. 2011. № 12. С. 60–62.
11. Блазнов А.Н., Кырлан В.В., Фролов А.В., Бажин В.Е., Иванова Д.Б. Экспериментальные исследования осаждения твердых частиц под действием гравитационных и центробежных сил в процессах очистки сточных флотационных вод // *Ползуновский вестник*. 2013. № 3. С. 293–299.
12. Потравный И.М., Генгут И.Б., Даваахуу Нямдорж. Возможности использования ресурсов техногенных месторождений для производства строительных материалов (на примере КОО «Предприятие Эрдэнэт») // *Строительные материалы*. 2016. № 3. С. 52–55.
13. Журковский М.Е., Блазнов А.Н., Жарова И.К. Исследование процесса осаждения твердых частиц хвостов флотации. *Материалы XI Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием «Технологии и оборудование химической, биотехнологической и пищевой промышленности»*. 23–25 мая 2018, Бийск. С. 146–151.
14. Журковский М.Е., Фирсов В.В., Блазнов А.Н., Верещагин П.В. Исследование процесса твердения бетона с минеральными добавками. *Технологии и оборудование химической, биотехнологической и пищевой промышленности: материалы X Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием*. 24–26 мая 2017, г. Бийск. 2017. С. 258–262.
15. Бажанов Ю.М. Способы определения состава бетона различных видов. М.: Стройиздат, 1975. 46 с.
16. *tekhnologii razrabotki i ispol'zovaniya mineral'nykh resursov*. 2015. No. 2, pp. 152–157. (In Russian).
4. Sakladov A.S., Robertus Yu.V., Lyubimov R.V. On the impact of industrial waste OJSC “Mine Cheerful” on the state of the environment // *Prirodnye resursy Gornogo Altaya*. 2007. No. 1, p. 79. (In Russian).
5. Sakladov A.S. The nature and extent of the environmental impact of mining waste of the Republic. Cand. Diss. (Geology and Minerology). Barnaul. 2008. 155 p. (In Russian).
6. Trautvain A.I., Yedikina V.V., Gridchin A.M. Features of mechanical activated mineral powders. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2011. No. 11. pp. 32–34. (In Russian).
7. Trautvain A.I., Yedikina V.V., Gridchin A.M. improvement of reactionary capacity of fillers as a result of grinding. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2010. No. 12, pp. 81–83. (In Russian).
8. Fedosov S.V., Bobylev V.I., Ibragimov A.M., Kozlova V.K., Sokolov A.M. Modeling of a concrete strength set at hydration of cement. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2011. No. 11, pp. 38–41. (In Russian).
9. Syzdykova Zh.M., Kirillova M.M. Petrographic characteristics of rocks in the area of the mine “Cheerful” (Altai Republic). *Problems of geology and subsoil development: Proceedings of the XVI International Symposium named after Academician M.A. Usov students and young scientists dedicated to the 110th anniversary of the founding of mining and geological education in Siberia*. Vol. I. Tomsk. 2012. pp. 153–155. (In Russian).
10. Lesovik V.V., Potapov V.V., Alfimova N.I. Improvement of efficiency of binders using nanomodifiers. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2011. No. 12, pp. 60–62. (In Russian).
11. Blaznov A.N., Kyrilan V.V., Frolov A.V., Bazhin V.E., Ivanova D.B. Experimental studies of the precipitation of solid particles under the action of gravitational and centrifugal forces in the processes of purification of waste flotation waters. *Polzunovskii vestnik*. 2013. No. 3, pp. 293–299. (In Russian).
12. Potravny I.M., Gangut I.B., Davaahuu Nyamdorzh. The possibility of using resources man-made deposits for the production of construction materials (for example, the CCW «Enterprise Erdenet»). *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2016. No. 3, pp. 52–55. (In Russian).
13. Zhukovsky M.E., Blaznov A.N., Zharova I.K. The study of the deposition of solid particles of flotation tails. *Materials of the XI All-Russian Scientific and Practical Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists with International Participation “Technologies and Equipment for the Chemical, Biotechnology and Food Industry”*. May 23–25, 2018. Bijsk, pp. 146–151. (In Russian).
14. Zhukovsky M.E., Firsov V.V., Blaznov A.N., Vereshchagin P.V. Investigation of the hardening of concrete with mineral additives. *Technologies and equipment of chemical, biotechnological and food industries: materials of the X All-Russian scientific and practical conference of students, graduate students and young scientists with international participation*. May 24–26, 2017. Biysk, pp. 258–262. (In Russian).
15. Bazhanov Yu.M. Sposoby opredeleniya sostava betona razlichnykh vidov [Methods for determining the composition of concrete of various types]. Moscow: Stroyizdat. 1975. 46 p. (In Russian).

О трудовой династии, истории гипсовой промышленности и построении производственной империи КНАУФ

В 2018 г. немецкая компания КНАУФ отметила 25-летие своей производственной деятельности России. По случаю праздника, особенно юбилея, принято дарить подарки – себе любимым, партнерам, коллегам, друзьям... Компания КНАУФ от традиций не отступила. Себе в год юбилея подарила два новых завода в России (по производству строительно-отделочных листов АКВАПАНЕЛЬ® в г. Новомосковске Тульской области и по производству сухих строительных смесей в г. Чапаевске Самарской области), также путем покупки устранила американского конкурента компанию USG, покатала на воздушных шарах жителей г. Кунгура, организовала праздники с концертами и подарками для работников своих предприятий, а также для жителей городов, где эти предприятия располагаются, интеллигентно завершила праздничные мероприятия в Большом театре. Получили подарок и российские журналисты отраслевых и федеральных СМИ, ведущий летопись компании КНАУФ в своих изданиях, – пресс-тур к истокам гипсовой империи КНАУФ, организованный службой корпоративных коммуникаций группы КНАУФ СНГ под руководством Л.М. Лося. Путешествие включало такие уникальные объекты, на которых не бывали многие сотрудники КНАУФ.

On the Labor Dynasty, the History of the Gypsum Industry and Formation of the KNAUF Production Empire

In 2018, the German company KNAUF celebrated the 25th anniversary of its production activities in Russia. For this occasion, especially anniversary, it is customary to give gifts – to itself loved one, partners, colleagues, friends... The Company KNAUF from these traditions has not receded. To itself, in the year of the anniversary, the company gave two new plants in Russia (for the production of construction-finishing sheets AKVAPANEL® in the city of Novomoskovsk, Tula Region and for the production of dry building mixes in the city of Chapaevsk, Samara Region), and also eliminated American competitor USG by buying it, took a ride of the residents of city of Kungur on the hot air balloons, organized holidays with concerts and gifts for the employees of her enterprises, as well as for the residents of the cities where these enterprises are located, intelligently completed the festive events at the Bolshoi Theater. Russian journalists from the industry and Federal media, leading the chronicle of the company «KNAUF» in their publications, also received a gift – press tour to the origins of the Gypsum Empire «KNAUF».

Начало

Российские специалисты хорошо знают слоган компании КНАУФ периода активного строительства заводов в России: «От семейного предприятия к семье предприятий». Подведение итогов четверти века развития большого бизнеса в огромной стране хороший повод обратиться к истории семьи, более 85 лет назад организовавшей маленькое предприятие и построившей на его основе настоящую производственную империю.

Матиас Кнауф, отец знаменитых Альфонса и Карла, окончил горное училище и всю жизнь проработал на шахте. С малых лет его сыновья приобщались к работе горного инженера, впитывали горняцкие традиции. Одним из первых самостоятельных заработков братьев Кнауф стала разработка мини-карьера песка, который они собственноручно выкапывали и грузили на лодку для доставки по р. Мозель заказчикам.

Естественно, что братья недолго выбирали, «кем быть» и поступили в Высшую техническую школу Берлина.

Как братья Кнауф заинтересовались гипсом? Методом исключения. Дело в том, что их родные места, расположенные на стыке Лотарингии, Саара и Люксембурга, всегда были богаты различными полезными ископаемыми. Именно в горнодобывающей промышленности можно было начать свое дело, даже не имея большого капитала для инвестиций, так как законодательство этому способствовало.

Однако братья Кнауф были профессионально самолюбивы; после получения высшего образования добыча песка и гравия стала ниже их «горняцкого достоинства», а рудными месторождениями или залежами редких минералов родная земля была небогата. Чего было много, так это гипса. Но что с ним делать?

Во время учебы братья Кнауф немало потрудились, изучая геологию гипсовых месторождений, способы его добычи и переработки как в библиотеке, так и в ла-

бораториях. Во время каникул они исходили берега р. Мозель в поисках подходящих для будущих карьеров мест. Дома была оборудована самодельная лаборатория для исследования свойств принесенных в рюкзаках проб гипсового камня.

Самым лучшим оказался гипс, найденный в деревне Штрэмберг, недалеко от люксембургского местечка Шенген. Да, именно «недалеко» от Шенгена зародилась будущая гипсовая империя КНАУФ в 1932 г. Хотя у широкого круга неспециалистов Шенген, несмотря на тысячелетнюю историю, на слуху благодаря знаменитому Шенгенскому соглашению, по которому 14 июня 1985 г. Бельгия, Люксембург, Нидерланды, Франция и ФРГ договорились о постепенном отказе от пограничного контроля. И снова Шенген был «недалеко», ведь соглашение подписывали на прогулочном теплоходе «Принцесса Мари-Астрид», который встал на якорь посреди Мозеля, в месте схождения границ Люксембурга, Франции и ФРГ.



Комната над кафе мадам Леони Огиль-Глоден в Шенгене стала первым «офисом» братьев Кнауф. Сначала хозяйка не только помогала молодым предпринимателям вести нехитрую бухгалтерию, но иногда ссужала их деньгами. Сейчас кафе управляет дочь мадам Огиль-Глоден, но в отличие от бизнеса братьев Кнауф маленькое кафе осталось маленьким кафе

Вернемся в 1932 г. Германия, которая сыграла наиболее активную роль в подготовке Первой мировой войны, в итоге стала ее самой униженной жертвой. Она не только не добилась передела мира в свою пользу, но и согласно Версальскому мирному договору 1919 г. потеряла около 73 тыс. км², или 13,5%, прежней территории, на которой проживало 6,5 млн человек, или 10% населения. На утраченные земли приходилось 75% добычи железной руды и цинка, 20% добычи угля, 20% выплавки чугуна. В феврале 1923 г. Германия сама стала объектом военной агрессии — франко-бельгийские войска оккупировали Рурскую область, в результате чего Германия потеряла 88% добычи угля, 70% выплавки чугуна, 40% выплавки стали, так как Рур был основным индустриальным центром страны. Экономический кризис вызвал революционную ситуацию. В 1923 г. были созданы рабочие правительства в Тюрингии и Саксонии, произошло вооруженное восстание в Гамбурге. Для стабилизации ситуации страны Антанты вынуждены были пойти на уступки по репарационным выплатам и гарантировать Германии стабилизацию национальной валюты.

Выход промышленности из кризиса сопровождался усилением процессов монополизации, в первую очередь в химической, металлургической и электротехнической промышленности. К 1928 г. был превзойден довоенный объем промышленного производства, Германия вышла на второе место в мире после США. Однако на фоне ускоренного развития промышленности обострились социальные проблемы. Уровень заработной платы рабочих в Германии был существенно ниже, чем во многих странах Европы. Рабочий день в 1927 г. увеличился до 10–12 часов. Росла безработица.

В октябре 1929 г. катастрофа на Нью-Йоркской фондовой бирже возвестила начало самого разрушительного в индустриальной истории кризиса перепроизводства, охватившего на четыре года экономику развитых стран. Германия пострадала едва ли не больше всех, так как ее экономические успехи в значительной степени базировались на иностранных кредитах и инвестициях.

Непрерывное падение промышленного производства продолжалось с конца 1929 до лета 1932 г. Объем промышленной продукции за это время сократился в среднем на 40%. Бездействовали целые промышленные районы. Практически полностью прекратилось строительство.

На фоне глубокого экономического кризиса, начавшегося в 1929 г., братья Кнауф уговорили владельца месторождения гипса, находящегося в Штроберге, передать им права на разработку, и начали развивать свое **первое предприятие**. Поначалу можно было обойтись минимальным набором оборудования, ведь ручной труд был в это время фантастически дешевым.

Партнерами нового предприятия стали цементные заводы, на которые баржами по р. Мозель поставлялся гипсовый камень.

Первый «настоящий» гипсовый завод появился в городке Перле буквально напротив Шенгена. Небольшому разорившемуся заводу, выпускавшему ранее известь, принадлежал канатный подъемник на вершину гипсовой горы. Завод переоборудовали, установили три камерные печи и начали производить гипсовое вяжущее. Так появилось открытое торговое товарищество «Рейнише Гипсиндустри унд Бергверксунтернемен».

Молодые хозяева — только окончивший институт Альфонс и еще студент старших курсов Карл, вынуждены были сами руководить добычей гипсового камня, управлять персоналом и налаживать производство. Кроме того, им приходилось лично, как коммивояжерам, возить образцы своей продукции и предлагать ее для продажи строительным магазинам.

Постепенно дело пошло. Политика тотальной милитаризации, проводимая рейхсканцлером Гитлером и его правительством, придала экономике Германии ускорение и позволила не только выйти из кризиса, но и вновь стать промышленным лидером в Европе. Ускоренное развитие военной промышленности и создание армии, конечно, требовало строительства производственных, транспортных и инфраструктурных объектов. Вырос спрос на строительные материалы, в первую очередь на цемент, произвести который без гипса, как известно, невозможно.

Завод в Перле начал выпускать гипсовые доски, армированные кокосовым волокном, ставшие предшественницами гипсо-

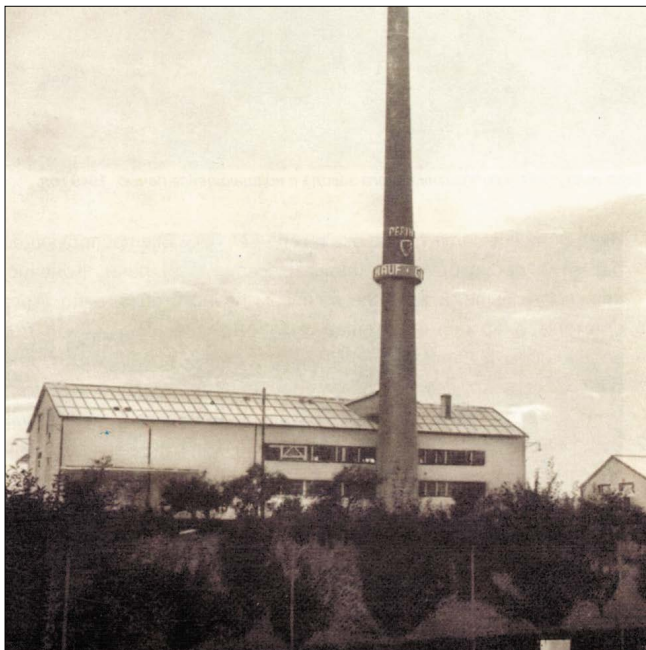
картонных КНАУФ-листов. Увеличился выпуск гипсового вяжущего, которого вскоре все равно не стало хватать для удовлетворения растущего спроса.

И в 1935 г. братья Кнауф приобрели гипсовый завод в городе Зирсбурге, за ним последовали предприятия в Гюттенгейме, Штадтольдendorfe... Так началась история семьи предприятий КНАУФ в Германии.

Следует отметить, что завод в Перле работает до настоящего времени. Узнаваемый внешний облик основного производственного здания бережно сохраняется, хотя, конечно, «начинка» предприятия современная. Выпускается около 15 тыс. т сухих строительных смесей пяти видов, которые поставляются в смежные районы Германии, Францию и Люксембург. Существенный вклад в рентабельность старенького завода вносит организованный здесь логистический склад, где аккумулируется также продукция, выпускаемая другими заводами КНАУФ. Заказы покупателям отправляются полностью укомплектованными.



Старые здания первого завода КНАУФ в Перле бережно сохраняются, но эксплуатируются по назначению. Завод и заводоуправление переоборудованы по последнему слову техники



Завод в Ипхофене с вращающейся печью, 1949 г.



Второе рождение

Вторая Мировая война практически уничтожила бизнес семьи Кнауф. Заводы, не разрушенные в результате военных действий, были переданы в управление уполномоченным от оккупационных зон...

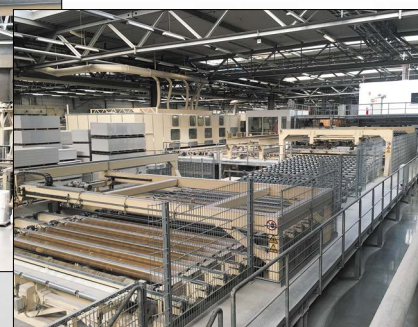
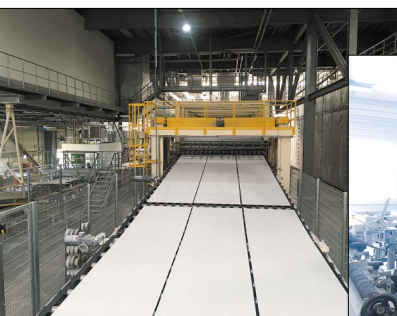
Чтобы выжить, вытеснить с рынка конкурентов и получить назад свои предприятия братья Кнауф зарегистрировали в 1947 г. в г. Ипхофене новую фирму «Френкише Гипсверке ГмбХ», а в 1949 г. запустили новый завод с вращающейся печью мощностью 200 т в сутки. Это был настоящий прорыв не только в технологии и бизнесе, но и психологический. Уже к 1950 г. братья Кнауф вернули себе часть заводов, а общий оборот компании достиг довоенного уровня. В 1951 г. в лоно семьи были возвращены заводы в Сааре. Затем началось расширение завода в Ипхофене, выпуск новых видов продукции – потолочных панелей на основе перлита, стяжки для пола на основе ангидрита и песка...

Завод в г. Ипхофене и в настоящее время остается флагманом промышленных предприятий КНАУФ. Его мощность составляет до 60 млн м² ГКЛ в год. В зависимости от загрузки завод работает в 2–3 смены по 5–6 дней в неделю. Ассортимент ГКЛ включает листы толщиной от 6 до 30 мм. Это единственное предприятие, где выпускают антирентгеновские плиты.

Недавно завод вновь был модернизирован. По словам его руководителя господина Армина Рамминга, инвестиции в обновление производственных линий составили 150 млн евро. В частности, увеличена скорость конвейера ГКЛ, установлена уникальная 12-ярусная сушилка.

Также особенностью предприятия в Ипхофене является сырьевая база. В производстве ГКЛ применяется около 30% природного гипса и до 70% синтетического гипса (REA-гипса), получаемого в результате обессеривания отходящих газов при сжигании бурных углей на электростанциях Германии. История этого экологического проекта, у истоков которого стояли братья Кнауф, достойна отдельного повествования. Достаточно сказать, что к началу 2000-х гг. в Германии перерабатывалось до 6,5 млн т REA-гипса, из которых 3,8 млн т – на 25 гипсовых фабриках Кнауф.

Однако в недалеком будущем компании предстоит вновь обратиться к разработке природных месторождений гипса, так как согласно природоохранной политике Германии все электростанции предполагается перевести с бурого угля на газ.





Важным этапом развития компании, повышения лояльности клиентов является создание компьютеризированного логистического центра. В нем собираются все продукты КНАУФ, выпускаемые разными предприятиями, а также комплектующие, поставляемые предприятиями-партнерами. Затем формируются заказы, которые отправляются клиентам. На стройке остается только распаковать посылку и собрать конструктор.



Успехи компании КНАУФ в значительной степени обусловлены постоянным совершенствованием производства на основе последних научных достижений. В настоящее время у компании есть современный хорошо оснащенный Центр исследований и разработок (также созданы исследовательские центры в России, г. Красногорск, Польше, Франции, Турции, Швеции).

На встрече с журналистами директор направления исследований и разработок доктор Маркус Библ рассказал, что в центре работают около ста специалистов, половина из них имеют научную степень. Техническое оснащение центра позволяет проводить исследования в области химии, минералогии, физики, экологии и других областях науки. Лаборатории центра обладают уникальным экспериментальным оборудованием, например камерой испытания противопожарных перегородок размером 7×3 м, установкой для исследования фасадов на климатические воздействия, в которой может создаваться скорость «ветра» до 360 км/ч, установкой для испытаний на сейсмостойкость и др.

Здесь же в Ипхофене располагается завод **КНАУФ-ПФТ (Knauf-PFT)** по производству оборудования для механизации штукатурных работ, который, конечно, посетили российские журналисты. В рамках одной статьи невозможно рассказать обо всех крупных достижениях братьев Кнауф на пути создания их гипсовой империи. Отметим лишь, что добившись широкого применения гипсовой штукатурки во внутренних работах, они всерьез озаботились повышением производительности труда штукатуров. Настоящим прорывом в данном вопросе стало изобретение смесительной и подающей штукатурной машины. Выпуск машин, изначально называвшихся ГИПСОМАТ, был налажен компанией «Путцмейстер». Кнауф же получили право на монопольный сбыт в течение 10 лет.

Немногом позже была разработана специальная смесь для машинного нанесения МП 75. Так ее назвали более 50 лет назад разработчики, так она называется до настоящего времени во всех странах мира. В названии этом нет тайного смысла или нумерологической символики, только немецкий прагматизм. Это было простым указанием на то, что при использовании машинного нанесения производительность возрастает на 75%.

Фирма «ПФТ – Путц унд Фердертехник ГмБХ & Ко. КГ» более 50 лет верой и правдой служила развитию механизированного применения сухих смесей. Специалисты и руководство компании тесно сотрудничали с компанией братьев Кнауф. Поэтому после перехода компании под юрисдикцию КНАУФ было принято решение сохранить название ПФТ. За 52 года выпущено более 150 тыс. машин, работающих в более чем 100 странах. Агрегаты ПФТ отличаются высокой надежностью и поистине фантастическим сроком службы – 30–40 лет. В Россию за 23 года было продано около 5 тыс. машин.

Руководитель завода КНАУФ-ПФТ Йорг Фалькенберг (слева) рассказал об истории и производственной программе предприятия. Он отметил, что, как и раньше, одной из главных задач компании (кроме выпуска высокопроизводительного и надежного оборудования для механизации штукатурных работ) является построение долговременных и доверительных отношений с клиентами. Качество продукции этому способствует. Как пример, в компании хранится машина PFT G4, выкупленная у владельца через 34 года эксплуатации. «Старушка» вполне работоспособна, хоть и потеряла жизнь



Руководитель завода КНАУФ-ПФТ Йорг Фалькенберг (слева) рассказал об истории и производственной программе предприятия. Он отметил, что, как и раньше, одной из главных задач компании (кроме выпуска высокопроизводительного и надежного оборудования для механизации штукатурных работ) является построение долговременных и доверительных отношений с клиентами. Качество продукции этому способствует. Как пример, в компании хранится машина PFT G4, выкупленная у владельца через 34 года эксплуатации. «Старушка» вполне работоспособна, хоть и потеряла жизнь





Центральный офис Международной группы КНАУФ растет и развивается вместе с компанией. В 1997 г., когда автор впервые посетила предприятия и учебный центр КНАУФ в Германии, строители только готовили в сдаче новое здание в Ипхофене. Спустя 21 год «новое» здание уже снова реконструировано и расширено. Тем не менее, рядом вновь кипит стройка – развивающийся бизнес КНАУФ требует новых помещений. В фойе гостей «встречают» первый шахтер и кристалл гипса – человек и горная порода, обеспечившие процветание компании

Здесь в центре управления, состоялась встреча журналистов российских федеральных и отраслевых СМИ с управляющим компаньоном Международной группы КНАУФ господином Манфредом Грундке.

Он отметил, что в 2017 г. оборот компании составил около 7 млрд евро, произведено примерно 1,4 млрд м² гипсовых строительных плит (ГКЛ), 7,1 млн т сухих строительных смесей, 960 млн п. м. металлического профиля. На предприятиях КНАУФ во всем мире работает 28,6 тыс. сотрудников.



На российском рынке, по мнению М. Грундке, ситуация стабилизируется – за 1-е полугодие 2018 г. оборот вырос на 7,8%, но негативное развитие курса рубля не позволяет говорить о существенной прибыли компании. В настоящее время инвестиции КНАУФ в России составили примерно 1,6 млрд евро.

Важными направлениями работы в России на ближайшую перспективу М. Грундке назвал

локализацию собственного производства (в целом производство продукции КНАУФ в России локализовано на 90%), увеличение закупок сырья и других необходимых компонентов у российских производителей. Например, мешков для упаковки сухих строительных смесей.

Будет продолжена модернизация картоноделательной машины на предприятии ПЕТРОБОРД в г. Коммунарке под Санкт-Петербургом. Объем инвестиций в этот проект составит 3,5 млрд р. Частично эти деньги направлены на увеличение мощности непосредственно картоноделательной машины, часть средств потрачена на модернизацию очистных сооружений на этом предприятии, которая уже завершена.

Около 6 млн евро направляются на создание производства для модульного жилищного строительства. Для реализации этого проекта

в г. Красногорске создано дочернее предприятие «Новый дом». Образец одноквартирного дома уже построен, весной 2019 г. будет готов образец многоквартирного дома.

В завершение поездки мы посетили выставку предметов из берлинской коллекции Г. Шлимана «Троя», экспонирующуюся в Музее КНАУФ. История этого социально-культурного проекта братьев Кнауф также заслуживает отдельного рассказа. Вкратце история такова. С 1967 г. компания КНАУФ владела особняком конца XVII в., выходящим на Рыночную площадь (Marktplatz), где размещался ее офис. И вот однажды, когда неразлучные братья Кнауф проводили отпуск в Египте, им пришла в голову идея создать музей гипсовых копий различных археологических артефактов, имеющих мировое культурное значение, и выставить их в одном месте. Для изготовления таких копий они даже разработали оригинальную методику. Кроме того, было необходимо официально договориться о копировании памятников древности с правообладателями.

В 1983 г. офис компании переехал в новое здание, а во дворце на Рыночной площади открылся музей. В 2010 г. к зданию была сделана современная пристройка, оснащенная по последнему слову музейной техники и безопасности, для временных экспозиций уже оригинальных произведений искусства и археологических находок, таких как «Троя».

Музей КНАУФ теперь посещают не только жители Ипхофена и близлежащих городков, но и гости со всей Европы.



Е.И. Юмашева

Фото автора и Д. Ромашкова

Династия

В конце 1980-х гг. управление компанией перешло к детям братьев Альфонса и Карла Кнауф. У руля встали Николаус и Балдвин Кнауф, их братья также занимали высокие руководящие посты в компании еще при жизни отцов-основателей.

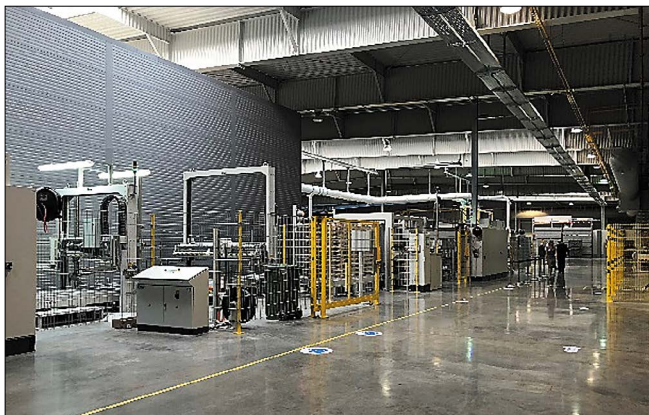
На долю второго поколения семьи выпало расширение границ «королевства» до масштабов «империи». В настоящее время в Международную группу КНАУФ входит более 130 заводов, и проще сказать, где их нет – в Австралии.

В компании работает уже третье поколение Кнауф...

Вот такая уникальная семья Кнауф, чей успех зиждется на семейных традициях, любознательности, образовании, трудолюбии и жизнелюбии.

KNAUF Запущен четвертый в мире завод по производству цементных плит АКВАПАНЕЛЬ®

1 октября 2018 г. в г. Новомосковске (Тульская область) состоялось официальное открытие завода КНАУФ АКВАПАНЕЛЬ®. Инвестиции в проект составили 1,6 млрд р. Производственная мощность завода – 10–12 млн м²/г, что полностью обеспечит потребности рынка России и СНГ в этом материале: продукт будет экспортироваться в Белоруссию, Украину, Казахстан, Азербайджан, Киргизию и другие страны ближнего зарубежья. Ранее плиты АКВАПАНЕЛЬ® импортировались в Россию из Германии и Греции.



В торжественной церемонии открытия приняли участие губернатор Тульской области А.Г. Дюмин, управляющий партнер группы КНАУФ Манфред Грундке (Manfred Grundke) и генеральный директор Knauf Aquapanel GmbH & Co. KG Томас Козловски (Thomas Koslowski).

Основной причиной строительства завода по производству плит АКВАПАНЕЛЬ® в России стала их растущая популярность и репутация высококачественного и высокоэкономичного материала. Это привело к повышению спроса на продукт среди российских архитекторов, проектировщиков, строителей и дистрибьюторов. В настоящее время эти плиты применяются в 74 странах мира. В России они использовались в том числе для возведения олимпийских объектов и объектов для Чемпионата мира по футболу.

Завод в Новомосковске – современное предприятие, оснащенное новейшим оборудованием, с максимальной автоматизацией технологических процессов и высококвалифицированным персоналом. Установка оборудования и пусконаладочные работы были успешно завершены в конце 2017 г. Фаза запуска для всех видов цементных плит АКВАПАНЕЛЬ® была завершена в первой половине 2018 г.

На момент запуска штат предприятия насчитывал 37 специалистов. В перспективе количество рабочих мест может расшириться до пятидесяти пяти. Генеральный директор завода А.Г. Смирнов работает в КНАУФ России уже несколько лет и является экспертом в своей области.



Цементная плита АКВАПАНЕЛЬ® – материал высокой прочности. Она имеет прямоугольную форму и состоит из сердечника на основе портландцемента и легкого минерального наполнителя. Поверхности плиты (тыльная и лицевая) армированы стеклосеткой. Торцевые кромки дополнительно армированы стекловолокном (технология EasyEdge®). Благодаря армирующей стеклосетке АКВАПАНЕЛЬ® может гнуться в сухом виде без предварительного увлажнения с радиусом кривизны от 1 м, что позволяет применять материал на криволинейных поверхностях. Плиты полностью влагостойки и

устойчивы к поражению плесенью и грибом, воздействию высокой и низкой температуры, негорючи и ударопрочны.

Системные решения с плитами АКВАПАНЕЛЬ® позволяют создавать завершённые конструкции стен и потолков. По сравнению с традиционными материалами – кирпичом и бетонными блоками, комплектные системы АКВАПАНЕЛЬ® имеют значительно меньший вес и толщину. Это позволяет увеличить внутреннее пространство помещения и сократить сроки монтажа при сопоставимых с традиционными материалами показателях энергоэффективности.

Г.С. СЛАВЧЕВА, д-р техн. наук (gslavcheva@yandex.ru),

Т.В. МАКАРОВА, канд. техн. наук (today25@inbox.ru)

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

Пенобетоны для теплоизоляционных слоев наружных стен, возводимых методом 3D-печати

Применительно к технологии строительной 3D-печати обоснованы требования к условиям получения материала для теплоизоляционных слоев наружных стен. Обоснована рациональность применения неавтоклавных цементных пенобетонов, так как строительно-технологический процесс их получения может быть интегрирован с процессом 3D-печати зданий. На основании анализа конструктивных вариантов наружных стен и теплотехнических расчетов показано, что для возведения эффективных ограждающих конструкций с заданным термическим сопротивлением эффективным является применение ультралегковесных пенобетонов. Представлены результаты исследований по получению пенобетонов средней плотности 200–400 кг/м³. Установлено, что получение устойчивых к оседанию пенобетонов данной средней плотности обеспечивается при использовании ультрадисперсных наполнителей с удельной площадью поверхности более 200 м²/кг. Самые низкие значения плотности обеспечиваются при массовом соотношении цемента к наполнителю в диапазоне 1:1 – 1:1,5. При повышении массовой доли наполнителей происходит резкое увеличение плотности, характерное для всех рассмотренных видов пенобетонов. С учетом наличия конкурирующих требований к плотности и устойчивости к оседанию обоснованы рациональные составы пенобетонов на основе различных видов природных и техногенных сырьевых компонентов. Для полученных разновидностей пенобетона статистически достоверно определена марка по средней плотности и коэффициент теплопроводности в сухом состоянии и в состоянии естественной влажности.

Ключевые слова: строительная 3D-печать, конструкции наружных стен, термическое сопротивление, теплоизоляционный пенобетон, ультрадисперсные наполнители.

Работа выполнена по проекту 7.10781.2018/11.12 по государственному заданию «Выполнение проектов для получения первичных научных результатов, обеспечивающих расширение участия подведомственных образовательных организаций в реализации Национальной технологической инициативы».

Для цитирования: Славчева Г.С., Макарова Т.В. Пенобетоны для теплоизоляционных слоев наружных стен, возводимых методом 3D-печати // *Строительные материалы*. 2018. № 10. С. 30–35. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-764-10-30-35>

G.S. SLAVCHEVA, Doctor of Sciences (Engineering) (gslavcheva@yandex.ru), T.V. MAKAROVA, Candidate of Sciences (Engineering) (today25@inbox.ru) Voronezh State University of Architecture and civil Engineering (84, 20-letiya Otktyabrya Street, 394006, Voronezh, Russian Federation)

Foam Concretes for Heat Insulation Layers of External Walls Constructed by the Method of 3D Printing

Requirements for conditions of obtaining the material for heat insulation layers of external walls are substantiated with regard to the technology of building 3D printing. The rationality of the use of non-autoclaved cement foam concretes is justified, since the construction and technological process of their production can be integrated with the process of 3D printing of buildings. On the basis of the analysis of structural variants of external walls and thermo-technical calculations, it is shown that the use of ultra-lightweight foam concretes is effective for the construction of effective enclosing structures with a given thermal resistance. The results of studies to obtain foam concretes of average density of 200–400 kg/m³ are presented. It is established that the production of resistant to settling foam concretes of this average density is provided by the use of ultra-disperse fillers with a specific surface area of over 200 m²/kg. The lowest density values are provided at a mass ratio of cement to the filler in the range of 1:1 – 1:1.5. With an increase in the mass fraction of fillers there is a sharp increase in density characteristic for all the considered types of foam concrete. Taking into account the presence of competing requirements for density and resistance to subsidence, rational compositions of foam concrete based on various types of natural and anthropogenic raw materials are justified. To obtain various types of foam concrete, the grade of the average density and the coefficient of thermal conductivity in the dry state and in the state of natural humidity are statistically reliably determined.

Keywords: building 3D printing, structures of external walls, thermal resistance, heat insulation foam concrete, ultradisperse fillers.

Work is performed under the project 7.10781.2018/11.12 of the State task “The implementation of projects to obtain primary research results ensuring the increased participation of subordinate educational institutions in the realization of the National technology initiative».

For citation: Slavchev G.S., Makarova T.V. Foam concretes for heat insulation layers of external walls constructed by the method of 3D printing. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 10, pp. 30–35. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-764-10-30-35> (In Russian).

В рамках актуальной в настоящее время тенденции цифровизации экономики перспективным направлением в строительстве являются 3D-аддитивные методы создания малых архитектурных форм, отдельных конструктивных элементов зданий и малоэтажных домов, готовых к отделке [1]. Процесс реализуется через создание цифровой 3D-модели объекта; «разрезание» ее на 2D-слои с использованием соответствующего программного обеспечения, программирование работы строительного принтера для последовательного нанесения слоев материала в соответствии с 3D-моделью объекта. В настоящее время в строительстве апробированы и развиваются 3D-аддитивные технологии, отличающиеся

принципами формирования структуры объекта [2–4], такие как *3D-печать* (объект создается при послойном экструдировании вязкопластичной смеси), *D-Shape* (объект создается при послойном нанесении наполнителя и жидкого связующего), *Slipforming* (объект создается при экструдировании смеси в момент ее схватывания).

Наиболее приемлемой для практики строительства оказалась 3D-печать, что определяется максимальной адаптацией метода к существующей строительной технике. Процессы приготовления и транспортировки смеси реализуются с использованием традиционного оборудования. Инновационной является только завер-

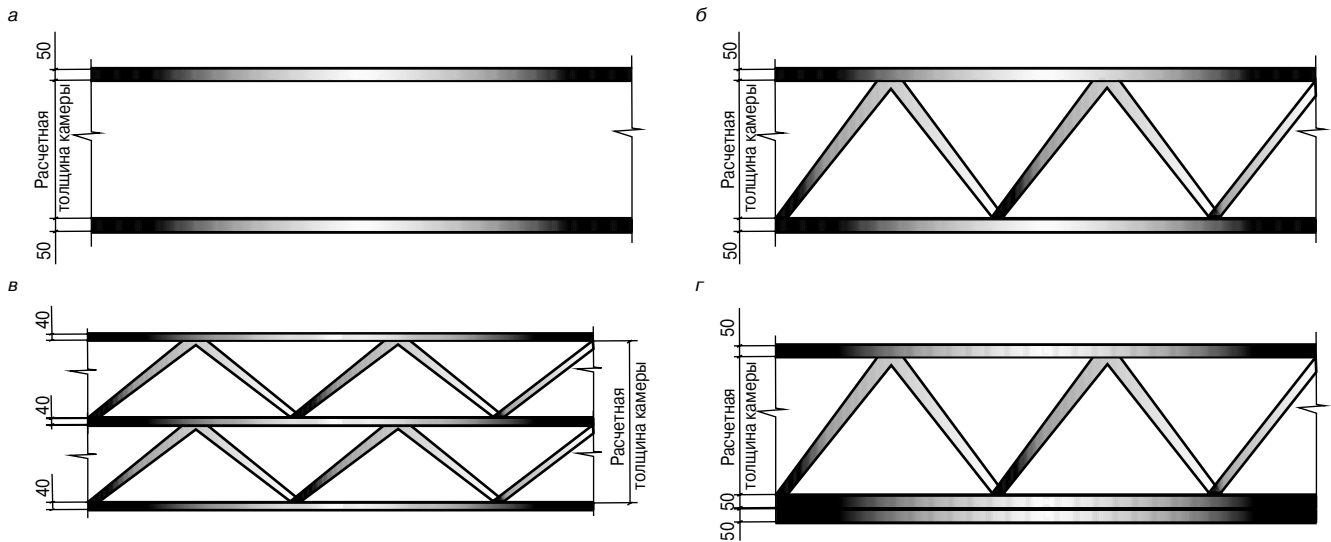


Рис. 1. Конструктивные решения стен, возводимых методом 3D-печати (вид в плане): а – однокамерная стена с двумя несущими слоями оболочки-опалубки; б – однокамерная стена с двумя несущими слоями оболочки-опалубки и зигзагообразным ребром жесткости; в – двухкамерная стена с тремя несущими слоями оболочки-опалубки и зигзагообразными ребрами жесткости; г – однокамерная стена с тремя несущими слоями оболочки-опалубки и зигзагообразным ребром жесткости

шающая стадия процесса – печать строительных объектов по заданной траектории в соответствии с цифровой моделью. Сегодня аппаратное оформление данного способа доведено до промышленного выпуска комплектов оборудования рядом российских и зарубежных фирм.

Постановка задачи

Для реализации возможностей 3D-печати в различных сферах строительства одной из наиболее сложных и комплексных является проблема создания смесей, функциональные свойства которых должны соответствовать их назначению и области применения. Несмотря на активное развитие исследований и большой объем накопленной экспериментальной информации [5–16], следует отметить, что внимание ученых сконцентрировано на проблемах создания смесей конструкционного назначения. В результате в настоящее время для промышленного производства и применения апробирована и используется довольно ограниченная номенклатура смесей, позволяющая получить методом 3D-печати именно высокоплотные, прочные материалы. Однако в России контролируемые являются требования к термическому сопротивлению ограждающих конструкций. Для обеспечения нормативных требований к его значениям необходимо сочетание материалов пониженной средней плотности для теплоизоляционных слоев и высокопрочных композитов для несущих слоев конструкций.

Таким образом, актуальной является проблема обоснования требований и исследование условий получения и оценки свойств эффективных теплоизоляционных материалов, строительного-технологического процесс получения которых может быть адаптирован к процессу 3D-печати зданий.

Обоснование требований к технологии получения и свойствам материалов для теплоизоляционных слоев наружных стен, возводимых методом 3D-печати

При обосновании выбора теплоизоляционных материалов целесообразно учитывать два фактора. Во-первых, должны быть близки по номенклатуре и иметь сходные характеристики сырьевые компоненты для получения и теплоизоляционных материалов, и ком-

позитов для несущих 3D-слоев. Поэтому при обосновании требований к теплоизоляционным материалам необходимо исходить из того, что в номенклатуре составов смесей конструкционного назначения, разработанных в настоящее время для 3D-печати [5–16], преимущественно используются цемент, щелочные и кислотные наполнители разной дисперсности (микрорекремнезем, золы-уноса, молотые шлаки, известняковая мука, кварцевый песок и т. д.), различные виды волокон.

Во-вторых, экономически и технически целесообразно, чтобы условия реализации строительного-технологического процесса обеспечивали возможность интеграции технологического оборудования получения теплоизоляционных материалов в комплекс строительной 3D-печати. В настоящее время на промышленно производимых комплексах реализуются такие стадии строительного-технологического процесса возведения строительного объекта, как приготовление смеси, транспортирование ее из смесителя в экструдер, экструдирование, послойная печать по заданной траектории в соответствии с 3D-моделью объекта, твердение смеси в конструкциях напечатанного строительного объекта.

Таким способом применительно к жилищному строительству обеспечивается возможность печати конструктивных слоев несущих и самонесущих стен и перегородок, опалубочных слоев фундаментов. При этом для обеспечения несущих функций применяются стеновые конструкции различной конфигурации (рис. 1). Очевидно, что для обеспечения термического сопротивления наружных стен необходимо заполнение напечатанной несущей оболочки-опалубки теплоизолирующим материалом.

Эффективным в этих условиях представляется использование неавтоклавных цементных пенобетонов, так как технология их изготовления наиболее близка к рассмотренным условиям реализации строительного-технологического процесса 3D-печати. Возможность интеграции ее в процесс 3D-печати зданий обусловлена использованием в производстве сырьевых компонентов, аналогичных перечисленным компонентам конструктивных смесей, наличием промышленно производимых мобильных комплексов, обеспечивающих получение пенобетонной смеси в построчных условиях и заливку ее в напечатанную несущую опалубку.

Таблица 1

Основные параметры теплотехнических расчетов

Город	Температура воздуха наиболее холодной пятидневки, °С, обеспеченностью 0,92	Продолжительность, сут, периода со среднесуточной температурой воздуха ≤8°С	Средняя температура воздуха, °С, периода со среднесуточной температурой воздуха ≤8°С	Условия эксплуатации ограждающей конструкции
Краснодар	-14	145	2,5	А
Москва	-25	205	-2,2	Б
Новосибирск	-37	221	-8,1	А

Таблица 2

Расчетные значения толщины теплоизоляционного слоя

Город	Расчетные условия эксплуатации	Требуемая величина толщины теплоизоляционного слоя пеннобетона различной средней плотности, см		
		Для $\rho=200 \text{ кг/м}^3$, $\lambda=0,06^* (0,08^{**}) \text{ Вт/(м}\cdot\text{°С)}$	Для $\rho=300 \text{ кг/м}^3$, $\lambda=0,11^* (0,13^{**}) \text{ Вт/(м}\cdot\text{°С)}$	Для $\rho=400 \text{ кг/м}^3$, $\lambda=0,14^* (0,15^{**}) \text{ Вт/(м}\cdot\text{°С)}$
Краснодар	А	14,0	25,7	32,8
Москва	Б	25,3	41,1	47,4
Новосибирск	А	22,0	42,1	53,6

Примечание. * Значение коэффициента теплопроводности для условий эксплуатации А; ** значение коэффициента теплопроводности для условий эксплуатации Б.

Помимо вышеуказанного эффективность применения пенобетона определяется его теплозащитными свойствами, влияющими на суммарную толщину стеновой конструкции. Расчет требуемой толщины теплоизоляционного слоя пенобетона различной средней плотности произведен для южных, центральных и северных климатических регионов России с учетом их климатических параметров согласно СП 131.13330.2012 «Актуализированная версия СНиП 23-01-99* Строительная климатология»; параметры микроклимата принимались как для жилых помещений при нормальной влажности воздуха (табл. 1). В табл. 2 представлены результаты теплотехнических расчетов, проведенных в соответствии с СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003»; СП 23-101-2004 «Проектирование тепловой защиты зданий», произведенные для варианта однокамерного стенового ограждения в виде трехслойной печатной опалубки с зигзагообразным ребром жесткости (рис. 1, б) с учетом коэффициента теплотехнической неоднородности 0,85.

На основании расчетов для рассмотренных вариантов наружных стен определено, что однокамерная стена с тремя несущими слоями оболочки-опалубки и зигзагообразным ребром жесткости (рис. 1, г) является наиболее эффективной конфигурацией несущего ограждающей конструкции. Для данного варианта обеспечивается необходимая несущая способность и одновременно возможность эксплуатации основной толщи стены в зимний период при положительной температуре без риска образования конденсата. Пример графика распределения температуры по сечению стены при использовании в теплоизолирующем слое пенобетона $\rho = 300 \text{ кг/м}^3$ для климатических условий Центрального федерального округа представлен на рис. 2.

Таким образом, для теплоизоляционных слоев наружных стен, возводимых методом 3D-печати, эффективным и целесообразным может оказаться применение ультралегковесных неавтоклавных пенобетонов $\rho < 400 \text{ кг/м}^3$. Однако в настоящее время не производятся пенобетоны средней плотности ниже 600 кг/м^3 , что обусловлено их низкой прочностью и высокой усадоч-

ностью. В конструкции напечатанной оболочки стен для пенобетона исключены несущие функции, необходимо обеспечение только сохранности формы и предотвращения оседания пенобетонной смеси в процессе схватывания и твердения. Поэтому целесообразным является решение задачи оптимизации составов смесей для получения цементных пенобетонов средней плотности $200\text{--}400 \text{ кг/м}^3$ и оценки свойств полученных разновидностей пенобетонов.

Методика экспериментальных исследований

На первом этапе осуществления программы исследований выполнена оптимизация составов пенобетонов. При проведении испытаний получены цементные пенобетоны на основе вяжущего и наполнителей, ана-

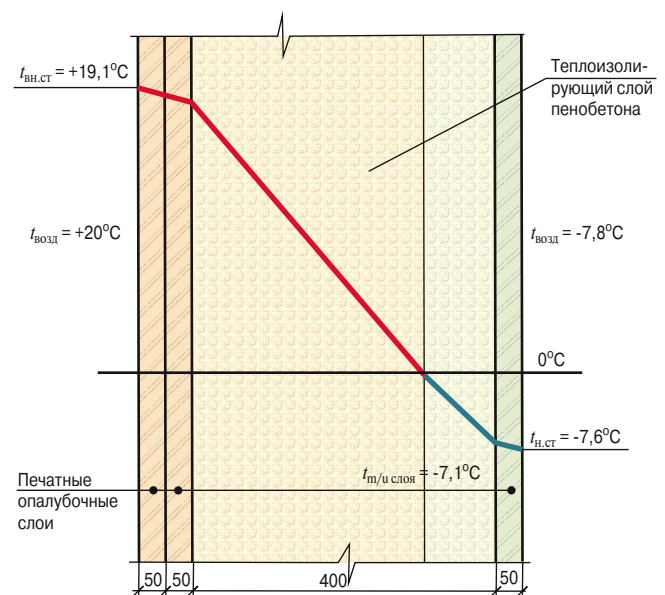


Рис. 2. График распределения температуры по сечению наружной стены для климатических условий Центрального федерального округа (разрез по вертикали)

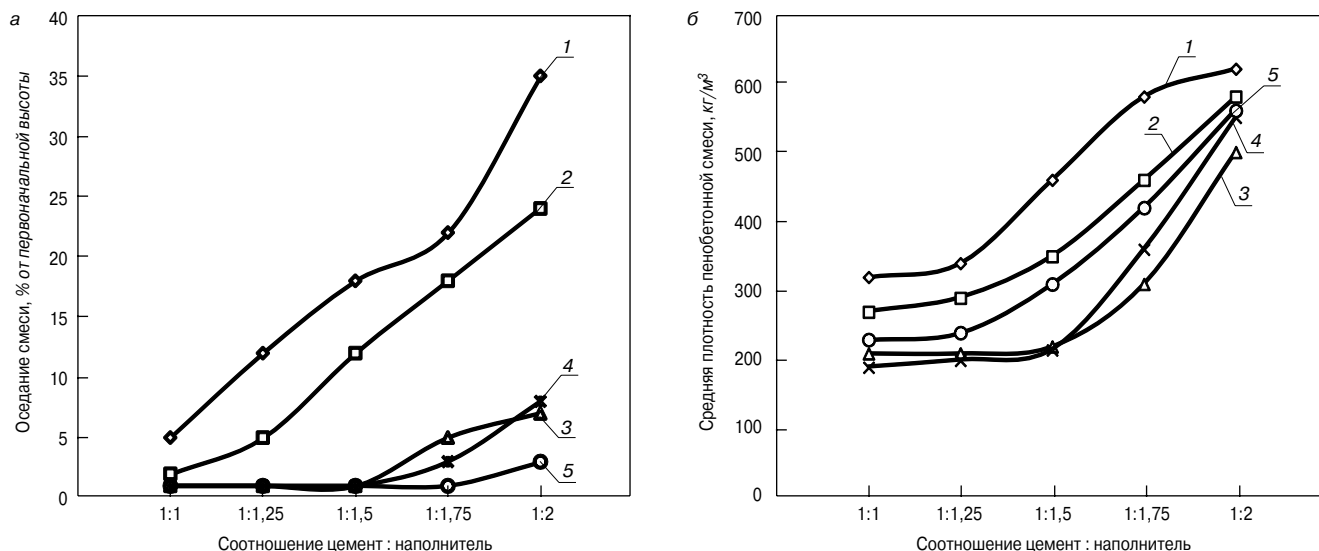


Рис. 3. Зависимость свойств пенобетонной смеси от массового соотношения цемента и заполнителя в ее составе: 1 – наполнитель молотый песок, $S_{уд} = 100 \text{ м}^2/\text{кг}$; 2 – наполнитель молотый песок, $S_{уд} = 150 \text{ м}^2/\text{кг}$; 3 – наполнитель молотый песок, $S_{уд} = 200 \text{ м}^2/\text{кг}$; 4 – наполнитель зола-уноса, $S_{уд} = 300 \text{ м}^2/\text{кг}$; 5 – наполнитель пыль-уноса, $S_{уд} = 180 \text{ м}^2/\text{кг}$

Таблица 3

Характеристики составов пенобетонных смесей

Характеристика наполнителя			Соотношение компонентов		
Наполнитель	Удельная площадь поверхности, $\text{м}^2/\text{кг}$	Интегральная оценка по $K_{осн}$	Диапазон соотношений цемент: наполнитель	В/Т	Диапазон дозировок воздухововлекающей добавки, % от массы сухих компонентов
Молотый кварцевый песок	100	0,01 – кислое сырье	1:1–1:2	0,5	0,2–0,3
	150			0,5	0,2–0,3
	200			0,55	0,2–0,3
Карбонаткальцевая пыль-уноса цементного производства	180	3,32 – ультраосновное сырье	1:1–1:2	1	0,2–0,3
Зола-уноса ТЭЦ	300	-0,17 – ультракислое сырье	1:1–1:2	0,8	0,2–0,3

Таблица 4

Характеристики свойств теплоизоляционных пенобетонов

Вид пенобетона	Марка по средней плотности	Коэффициент теплопроводности, $\text{Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$	
		В сухом состоянии	В состоянии естественной влажности (~5%)
На молотом песке	D300	0,072	0,078
	D400	0,102	0,121
На карбонаткальцевой пыли-уноса цементного производства	D250	0,059	0,064
	D300	0,075	0,086
На золе-уноса ТЭЦ	D200	0,046	0,055
	D300	0,074	0,13

логичные по химическому и дисперсному составу компонентам смесей для 3D-печати (табл. 3).

В опытах применялся цемент ЦЕМ I 42,5Н; диапазон варьирования соотношения в смеси вяжущего и наполнителя принимался на основании результатов многолетних комплексных исследований по вопросам материаловедения и технологии пенобетонов, осуществленных авторским коллективом под руководством академика Е.М. Чернышова [17, 18]. Обеспече-

ние требуемой средней плотности бетонной смеси достигалось изменением дозировки воздухововлекающей добавки «Пеностром» в пределах 0,2–0,3% от массы твердой фазы при 10% концентрации ее раствора. В/Т отношение подбиралось исходя из обеспечения консистенции, необходимой для поризации смеси. Получение пенобетонной смеси велось одностадийным способом в смесителе турбинного типа со скоростью перемешивания 15 с^{-1} при продолжительности

процесса 4 мин. Непосредственно после приготовления контролировалась средняя плотность, устойчивость к оседанию пенобетонной смеси. Для ее оценки формовались серии образцов-кубов размером $100 \times 100 \times 100$ мм по четыре образца в серии, на протяжении 28 сут твердения в формах контролировалось изменение высоты образцов.

На втором этапе исследований для пенобетонов оптимизированных составов определялись марка по средней плотности и коэффициент теплопроводности согласно стандартным методикам. При определении марки по средней плотности согласно ГОСТ 27005–2014 «Бетоны легкие и ячеистые. Правила контроля средней плотности» для обеспечения статистической достоверности результатов изготавливались серии образцов-кубов размером $100 \times 100 \times 100$ мм, 24 образца для каждой средней плотности. До проведения испытаний образцы твердели в нормальных условиях в течение 28 сут. Определение коэффициента теплопроводности производилось для образцов пенобетона в состоянии естественной влажности и в высушенном до постоянной массы состоянии на приборе ИТП-МГ4«100» согласно ГОСТ 7076–99 «Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме». Для проведения испытаний образцы-пластины размером $100 \times 100 \times 100$ мм отбирались от каждой серии образцов-кубов, изготовленных для контроля плотности.

Результаты экспериментальных исследований

При изучении условий получения ультралегковесных пенобетонов в рассмотренном диапазоне рецептурно-технологических факторов установлено, что влияние массовой доли наполнителей на плотность пенобетонной смеси оценивается сходными зависимостями (рис. 3). Самые низкие значения плотности обеспечиваются при соотношении Ц:Н в диапазоне 1:1 – 1:1,5. При повышении массовой доли наполнителей происходит резкое увеличение плотности, характерное для всех рассмотренных видов пенобетонов.

Пенобетон, получаемый на основе молотого песка с удельной площадью поверхности $S_{уд} = 100; 150 \text{ м}^2/\text{кг}$, не обладает удовлетворительной способностью сохранять форму и не оседать в период схватывания и твердения (рис. 3). Это, вероятно, обусловлено тем, что в рассмотренном диапазоне компонентных составов при достигаемой высокой степени поризации диаметр зернистых включений оказывается слишком большим для формирования устойчивой структуры межпоровой перегородки. Применение наполнителей такой степени дисперсности не позволяет получить пенобетон устойчивой к оседанию структуры в диапазоне средней плотности $200\text{--}400 \text{ кг}/\text{м}^3$.

Получение пенобетонов средней плотности $200\text{--}400 \text{ кг}/\text{м}^3$ обеспечивается при применении молотого песка с удельной площадью поверхности $S_{уд} = 200 \text{ м}^2/\text{кг}$, а также карбонатно-кальциевой пыли-уноса и золы-уноса. При этом для сохранения устойчивости пенобетона на молотом песке и золе-уноса диапазон соотношений Ц:Н составляет 1:1 – 1:1,5, а для пенобетона на пыли-уноса – 1:1 – 1:1,75. В диапазоне средней плотности $200\text{--}300 \text{ кг}/\text{м}^3$ повышенной устойчивостью к оседанию характеризуется пенобетон на карбонатно-кальциевой пыли-уноса и золе-уноса. Это может быть связано со структурообразующей ролью их частиц как подложки для ориентированной кристаллизации новообразований на их поверхности, способствующей уплотнению и упрочнению структуры межпоровой перегородки.

Таким образом, получение пенобетонов средней плотности $200\text{--}400 \text{ кг}/\text{м}^3$ возможно при использовании наполнителей различного химико-минералогического состава с дисперсностью $S_{уд} \geq 200 \text{ м}^2/\text{кг}$. С учетом наличия конкурирующих требований к плотности и устойчивости к оседанию обоснованы рациональные составы пенобетона, отличающиеся по соотношению Ц:Н и дозировке воздухововлекающей добавки в зависимости от вида наполнителя.

Для полученных разновидностей пенобетона статистически достоверно определена марка по средней плотности и коэффициент теплопроводности в сухом состоянии и в состоянии естественной влажности (табл. 4).

Полученные разновидности теплоизоляционных пенобетонов по величине коэффициента теплопроводности полностью удовлетворяют требованиям СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02–2003»; СП 23-101–2004 «Проектирование тепловой защиты зданий».

Заключение

Проблема обеспечения нормируемого термического сопротивления наружных стен зданий, возводимых методом 3D-печати, может быть эффективно решена при использовании для создания теплоизолирующего слоя монолитного неавтоклавного пенобетона. Эффективность и рациональность его использования обусловлена сходной номенклатурой и характеристиками сырьевых компонентов для получения пенобетонов и композитов для несущих 3D-слоев. Одновременно условия реализации строительного-технологического процесса обеспечивают возможность интеграции технологического оборудования получения монолитных пенобетонов в комплекс строительной 3D-печати.

Анализ конструктивных вариантов наружных стен и теплотехнические расчеты показывают, что для возведения эффективных ограждающих конструкций с заданным термическим сопротивлением эффективным является применение ультралегковесных пенобетонов средней плотности $200\text{--}400 \text{ кг}/\text{м}^3$.

При использовании ультрадисперсных наполнителей ($S_{уд} \geq 200 \text{ м}^2/\text{кг}$) различного химико-минералогического состава возможно получение цементных пенобетонов марок по средней плотности D250, D300, D400, устойчивых к оседанию при твердении в замкнутом объеме напечатанной оболочки-опалубки.

Список литературы / References

1. Panda B., Paul S. C., Hui L. J. et al. Additive manufacturing of geopolymer for sustainable built environment. *Journal of Cleaner Production*. 2017. Vol. 167, pp. 281–288.
2. Lim S., Buswell R.A., Le T.T., et al. Developments in construction-scale additive manufacturing processes. *Automation in Construction*. 2012. No. 21 (1), pp. 262–268.
3. Gebler M., Schoot Uiterkamp A.J.M., Visser C. A global sustainability perspective on 3D printing technologies. *Energy Policy*. 2014. No. 74, pp. 158–167.
4. Tay Y.W., Panda B., Paul S.C., et al. Processing and Properties of Construction Materials for 3D Printing. *Materials Science Forum*. 2016. Vol. 61, pp. 177–181.
5. Duballeta R., Baverela O., Dirrenberger J. Classification of building systems for concrete 3D printing. *Automation in Construction*. 2017. No. 83, pp. 247–258.
6. Kazemian A., Yuan X., Cochran E., Khoshnevis B. Cementitious materials for construction-scale 3D printing: Laboratory testing of fresh printing mixture. *Construction and Building Materials*. 2017. No. 145, pp. 639–647.

7. Hambach M., Volkmer D. Properties of 3D-printed fiber-reinforced Portland cement paste. *Cement and Concrete Composites*. 2017. No. 79, pp. 62–70.
8. Feng P., Meng X., Ye L., et al. Mechanical properties of structures 3D printed with cementitious powders. *Construction and Building Materials*. 2015. No. 93, pp. 486–497.
9. Ma G., Li Z., Wanga L. Printable properties of cementitious material containing copper tailings for extrusion based 3D printing. *Construction and Building Materials*. 2018. No. 162, pp. 613–627.
10. Shakor P., Sanjayan J., Nazari A., et al. Modified 3D printed powder to cement-based material and mechanical properties of cement scaffold used in 3D printing. *Construction and Building Materials*. 2017. No. 138, pp. 398–409.
11. Paul S.C., Tay Y.W.D., Panda B., et al. Fresh and hardened properties of 3D printable cementitious materials for building and construction. *Archives of civil and mechanical engineering*. 2018. No. 18, pp. 311–319.
12. Le T.T., Austin S.A., Lim S., et al. Mix design and fresh properties for high-performance printing concrete. *Materials and Structures*. 2012. No. 45, pp. 1221–1232.
13. Le T.T., Austin S.A., Lim S., et al. Hardened properties of high-performance printing concrete. *Cement and Concrete Research*. 2012. No. 42, pp. 558–566.
14. Malaeb Z., Hachem H., Tourbah A., et al. 3D concrete printing: machine and mix design. *International Journal of Civil Engineering and Technology*. 2015. No. 6 (6), pp. 14–22.
15. Panda B., Paul S.C., Tan M.J. Anisotropic mechanical performance of 3D printed fiber reinforced sustainable construction material. *Materials Letters*. 2017. No. 209, pp. 146–149.
16. Perrot A., Rangedard D., Pierre A. Structural built-up of cement-based materials used for 3D printing extrusion techniques. *Materials and Structures*. 2016. No. 49, pp. 1213–1220.
17. Славчева Г.С., Чернышов Е.М. Алгоритм конструирования структуры цементных пенобетонов по комплексу задаваемых свойств // *Строительные материалы*. 2016. № 9. С. 58–64.
17. Slavcheva G.S., Chernyshov E.M. An algorithm of designing of cement foam concretes structure according to the complex of preset properties. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2016. No. 9, pp. 58–64. (In Russian).
18. Славчева Г.С., Чернышов Е.М., Новиков М.В. Теплоэффективные пенобетоны нового поколения для малоэтажного строительства // *Строительные материалы*. 2017. № 7. С. 20–24. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2017-750-7-20-24>.
18. Slavcheva G.S., Chernyshov E.M., Novikov M.V. Heat-effective foam concrete of new generation for low-rise construction. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 7, pp. 20–24. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2017-750-7-20-24>. (In Russian).

14-й Международный конгресс по прикладной минералогии ICAM-2019

23–27 сентября 2019 г., Белгород,

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Девиз конгресса – «Прикладная минералогия: будущее рождается сегодня»

НАУЧНАЯ ПРОГРАММА ICAM-2019

- Геометаллургия, технологическая минералогия и процессы переработки минерального сырья.
- Индустриальные минералы, драгоценные камни, руды и добыча полезных ископаемых.
- Нефтяные и газовые коллекторы, в том числе газовые гидраты.
- Аналитические методы, приборы и автоматизация.
- Перспективные материалы с улучшенными характеристиками, в том числе техническая керамика и стекло.
- Биомиметические материалы на минеральной основе, биоминералогия.
- Окружающая среда и энергетические ресурсы.
- Культурное наследие, артефакты и их сохранность.



Впервые в программу конгресса включено направление
СТРОИТЕЛЬНОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Для молодых ученых оргкомитет предусматривает проведение дискуссионного клуба.

ПОЛЕВЫЕ ЭКСКУРСИИ

Лебединский ГОК Стойленский ГОК (г. Старый Оскол)

КОНТРОЛЬНЫЕ СРОКИ

Начало приема докладов 1 июня 2018 г.

Окончание приема докладов 1 ноября 2018 г.

Рецензирование докладов до 1 декабря 2018 г.

ОРГАНИЗАТОРЫ ICAM-2019



ФАНО России
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО
НАУЧНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ



Национальный оргкомитет, председатель **Евгений Савченко**

Национальный программный комитет, председатель **Леонид Вайсберг**

Совет ICAM, президент **Саверио Фиоре**

При поддержке IMA-CAM, председатель **Маартен А.Т.М. Брёкманс**

Сайт конгресса **www.geo.komisc.ru/icam2019**

Оргкомитет: **icam2019@gmail.com**

секретарь Национального программного комитета **О.Б. Котова kotova@geo.komisc.ru**

В.В. РУСИНА¹, канд. техн. наук (rusina07@bk.ru); Е.И. ЧЕРНОВ², инженер (ev7080@yandex.ru)

¹ Костромская государственная сельскохозяйственная академия (156530, п. Караваево, Учебный городок, Караваевская с/а, 34)

² «Мостоотряд-6» Ярославская территориальная фирма, филиал ПАО «МОСТОТРЕСТ» (150033, г. Ярославль, Тутаевское ш., 93)

Особенности подбора состава органоминеральных бетонов на основе техногенного сырья

Рассмотрена возможность использования методов математического моделирования для оптимизации компонентного состава сырьевой смеси органоминерального бетона, более подверженного влиянию не только технологических факторов производства, но и компонентного состава. В качестве основных составляющих сырьевой смеси использованы техногенные материалы: древесные опилки, молотый ваграночный шлак, зола, образующаяся при сжигании торфа на ТЭЦ, жидкое стекло, получаемое из микрокремнезема. Особенность исследований заключается в использовании метода математического планирования посредством трехфакторного трехуровневого математического плана В-3, в котором способ задания состава бетона в натуральных единицах заменен соотношением компонентов по массе. Применяя математические модели, выражающие зависимость свойств легкого бетона от различных факторов, представляется возможным получить оптимальные сочетания составляющих и свойств легкого бетона. Получены сочетания составляющих органоминеральных бетонов, которые могут быть рекомендованы для практического использования, в том числе указана зависимость прочности бетона от влажности древесного заполнителя, объяснен механизм взаимодействия. Представлена возможность расширения сырьевой базы органоминеральных бетонов путем замены металлургических шлаков и топливных зол от сжигания угля на золы, образующиеся при сжигании торфа.

Ключевые слова: органоминеральный бетон, оптимизация состава, древесные заполнители, опилки, шлак, зола, жидкое стекло.

Для цитирования: Русина В.В., Чернов Е.И. Особенности подбора состава органоминеральных бетонов на основе техногенного сырья // *Строительные материалы*. 2018. № 10. С. 36–39. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-764-10-36-39>

V.V. RUSINA¹, Candidate of Sciences (Engineering) (rusina07@bk.ru); E.I. CHERNOV², Engineer (ev7080@yandex.ru)

¹ Kostroma State Agricultural Academy (34, Karavaevskaya Village, Campus, Kostroma District, Kostroma Region, 156530, Russian Federation)

² «Mostootryad-6» Yaroslavl territorial firm, branch of PJSC «Mostotrest» (93, Tutayevskoye Highway, Yaroslavl, 150033, Russian Federation)

Peculiarities of Selection of the Compositon of Organic-Mineral Concretes on the Basis of Anthropogenic Raw Material

The possibility of using methods of mathematical modeling to optimize the component composition of the raw mixture of organic-mineral concrete, which is more susceptible to the influence of not only technological factors of production, but also the component composition is considered. Man-made materials as sawdust, ground cupola slag, ash from the combustion of peat in CHP plants, liquid glass obtained from the micro-silica are used as the main components of the raw mix. The peculiarity of the research is to use the method of mathematical planning by means of a three-factor three-level mathematical plan B-3, in which the method of specifying the composition of concrete in natural units is replaced by the ratio of components by weight. Applying mathematical models that express the dependence of the properties of lightweight concrete on a variety of conditions, it is possible to obtain the optimum combination of components and properties of light concrete. The combinations of components of organic-mineral concretes, which can be recommended for practical use have been obtained; the dependence of the strength of concrete on the moisture content of wood filler was specified and the mechanism of interaction was explained. The possibility of expanding the raw material base of organic-mineral concretes by replacement of the smelter slag and ashes from coal combustion with ash from the combustion of peat is presented.

Keywords: organic-mineral concrete, optimization of composition, wood fillers, sawdust, slag, ash, liquid glass.

For citation: Rusina V.V., Chernov E.I. Peculiarities of selection of the compositon of organic-mineral concretes on the basis of anthropogenic raw material. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 10, pp. 36–39. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-764-10-39-39> (In Russian).

Как показывают современные исследования экологов и эргономов, наиболее комфортно человек ощущает себя в малоэтажных зданиях. В связи с этим становится понятным увеличение объемов малоэтажного строительства. Однако при осуществлении строительства малоэтажных сооружений в каждом отдельном климатическом районе прежде всего встает вопрос о рациональном использовании местных строительных материалов, дающих возможность создания надежных и долговечных конструкций наиболее доступным способом с наименьшими финансовыми и временными затратами.

В условиях Сибири, Костромской и многих других областей Российской Федерации реальные возможности крупномасштабного производства экологически эффективных стеновых материалов открываются при получении их на основе наиболее распространенных отходов лесозаготовок, лесопиления и деревообработки в виде опилок, коры, щепы и т. п. [1–3].

Органоминеральные бетоны, полученные на основе древесных заполнителей и шлако- или золощелочных вяжущих (ШЩВ и ЗЩВ), удачно совмещают прочностные свойства вяжущего с небольшой плотностью и

хорошей теплоизолирующей способностью древесины [4–7]. Отечественные и зарубежные исследователи неоднократно подтверждали рациональность использования органических добавок в качестве компонентов не только легких, но и высокопрочных бетонов. Благодаря своему химическому составу такие добавки способны значительно увеличивать прочностные характеристики бетонов, образуя прочные системы в составе вяжущего [8].

Между тем проектирование состава любого легкого бетона представляет сложную задачу, поскольку необходимо, чтобы состав удовлетворял ряду важнейших требований, предъявляемых к ограждающим конструкциям зданий. Существующие традиционные методы подбора состава легкого бетона позволяют определить состав, но являются трудоемкими и не всегда дают возможность получить составы, обладающие оптимальными свойствами.

Современные способы проектирования составов теплоизоляционно-конструкционного бетона требуют применения математических методов оптимизации. Применяя математические модели, выражающие зави-

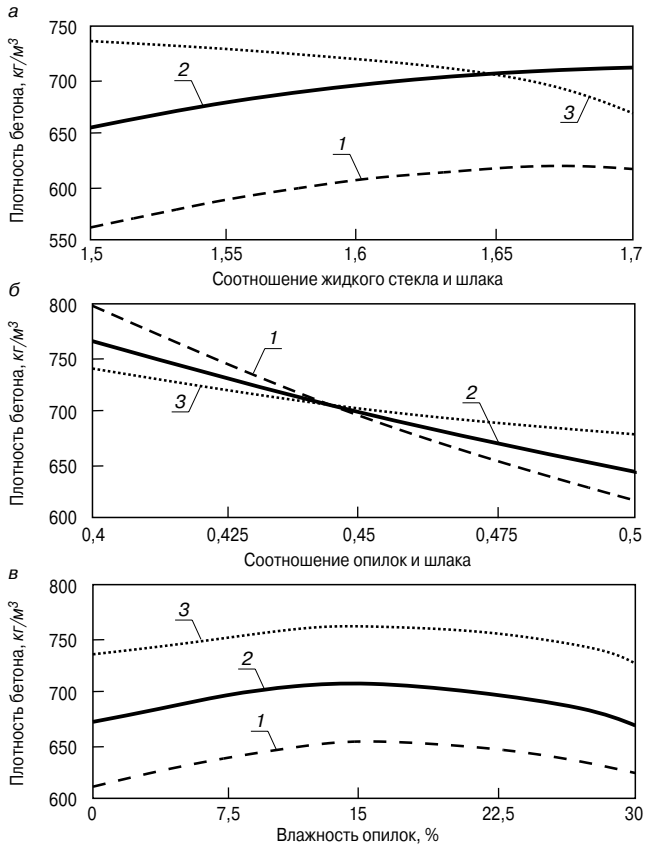


Рис. 1. Зависимость плотности бетона на ШЩВ от факторов: а – соотношение жидкого стекла и шлака (по массе); б – соотношение опилок и шлака (по массе); в – влажность опилок

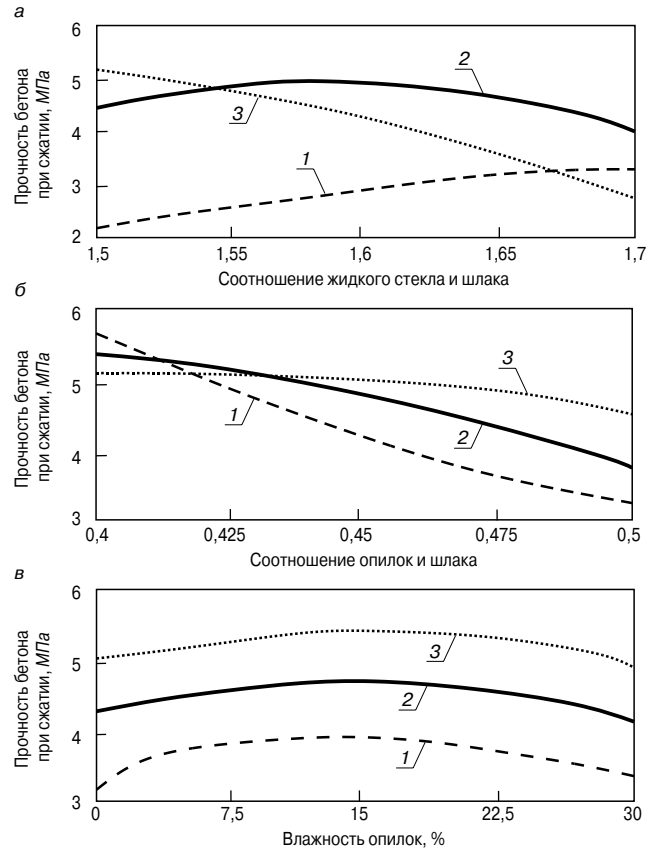


Рис. 2. Зависимость прочности при сжатии бетона на ШЩВ от факторов: а – соотношение жидкого стекла и шлака (по массе); б – соотношение опилок и шлака (по массе); в – влажность опилок

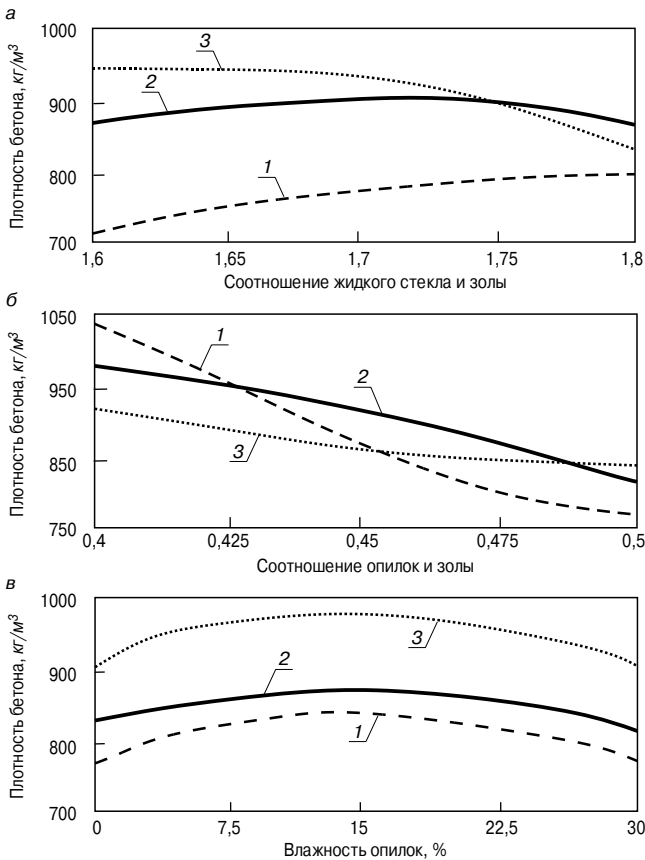


Рис. 3. Зависимость плотности бетона на ЗЩВ от факторов: а – соотношение жидкого стекла и золы (по массе); б – соотношение опилок и золы (по массе); в – влажность опилок

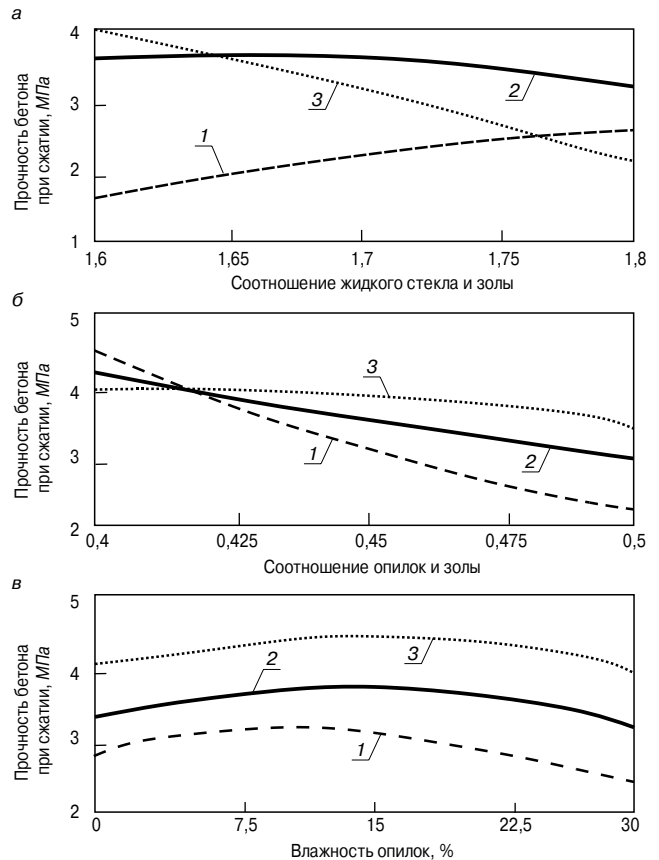


Рис. 4. Зависимость прочности при сжатии бетона на ЗЩВ от факторов: а – соотношение жидкого стекла и золы (по массе); б – соотношение опилок и золы (по массе); в – влажность опилок

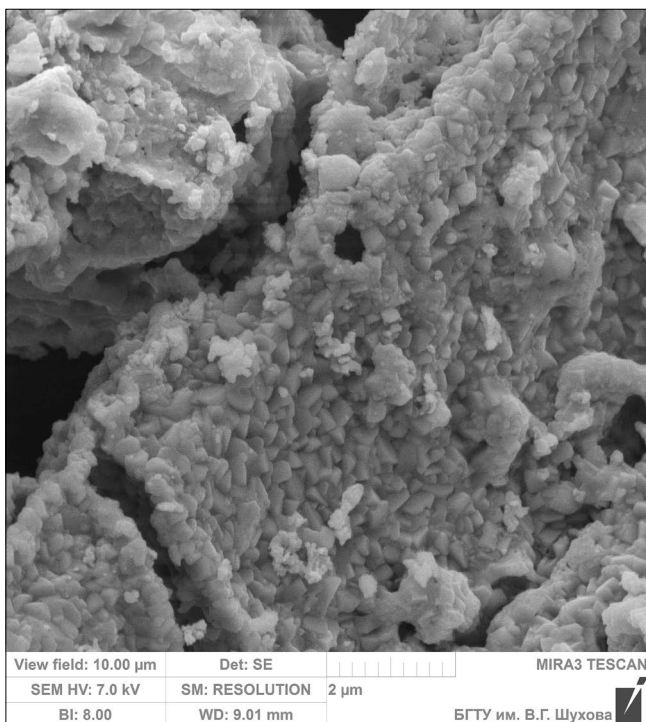


Рис. 5. Микрофотография поверхности частиц торфяной золы

симось свойств легкого бетона от различных факторов, представляется возможным получить оптимальные сочетания составляющих и свойств легкого бетона. Однако предприятиям, выпускающим изделия из легкого бетона на основе древесного заполнителя, например стеновые блоки, недостаточно иметь только оптимальные составы, так как свойства отходов древесины могут изменяться в широких пределах. В связи с этим возникает необходимость в постоянной корректировке составов бетона. Чаще всего необходимо изменить расход одной из составляющих органоминеральной бетонной смеси. Это, естественно, не может не сказаться на конечных свойствах бетона. Чтобы избежать брака, необходимо иметь данные, позволяющие оперативно корректировать составы материала в производственных условиях.

Поскольку соотношение компонентов по массе является единственно постоянными величинами, которые не изменяются, предлагается использовать метод математического планирования, в котором способом задания состава бетона в натуральных единицах ($\text{кг}/\text{м}^3$) заменяется соотношением компонентов по массе.

В исследованиях использованы ШЩВ и ЗЩВ, состоящие соответственно из молотого гранулированного ваграночного шлака ПО «Сибтепломаш» (г. Братск) или золы-уноса ТЭЦ-7 «Иркутскэнерго» (г. Братск) и жидкого стекла, получаемого из микрокремнезема Братского ферросплавного завода. Заполнителем служили древесные опилки с насыпной плотностью $200 \text{ кг}/\text{м}^3$ и размерами частиц до $2,5 \text{ мм}$ [4].

Эксперименты проводились в соответствии с трехфакторным трехуровневым математическим планом В-3. В качестве независимых переменных выбраны следующие факторы: X_1 — отношение жидкого стекла к шлаку или золе (по массе); X_2 — отношение древесных опилок к шлаку или золе (по массе); X_3 — влажность опилок (%). В качестве функций отклика рассматривались средняя плотность бетона (Y_1), $\text{кг}/\text{м}^3$, и прочность при сжатии бетона (Y_2), МПа.

Обработка экспериментальных данных проводилась с использованием статистического пакета «Стадия».

Проверка значимости коэффициентов проводилась по критерию Стьюдента с доверительной вероятностью 0,95.

Полученные зависимости использовались для построения соответствующих графиков (рис. 1–4), которые позволяют оперативно корректировать составы бетона при изменении свойств исходных материалов с целью получения требуемых физико-механических характеристик.

Анализ графического материала свидетельствует, что в рассматриваемых интервалах существенное влияние на свойства органоминерального бетона оказывает соотношение между щелочным и алюмосиликатным компонентами вяжущих. Так, при максимальных значениях X_2 и X_3 с увеличением доли жидкого стекла наблюдается рост плотности и прочности материала. Повидимому, в системе с высоким содержанием опилок жидкое стекло выполняет не только роль одного из компонентов вяжущего, но и выступает в качестве самостоятельного вяжущего вещества. Что касается минимальных значений X_2 и X_3 , то здесь отмечается обратная зависимость, т. е. в системе, где преобладает золо-шлаковая составляющая, жидкое стекло — это только щелочной компонент вяжущего. Вполне очевидно, что увеличение содержания жидкой фазы (жидкого стекла) приводит к росту пористости искусственных шлако- и золощелочных камней, что влечет за собой снижение плотности и прочности бетона.

Полученные данные позволяют заключить, что плотность исследуемого органоминерального бетона снижается с увеличением расхода опилок — наиболее легкого компонента бетона. При этом минимальная плотность материала достигается при максимальных значениях X_1 и X_2 . Естественно, что со снижением плотности, вызванным увеличением доли опилок, снижается прочность бетона.

Характер установленных зависимостей показывает значительное влияние влажности опилок на свойства исследуемых бетонов. Так, максимальные значения плотности и прочности имеют композиции при влажности опилок 15%. Вероятно, при влажности менее 15%, т. е. ниже точки насыщения волокна, опилки интенсивно впитывают в себя жидкое стекло. Вследствие этого алюмосиликатным компонентам вяжущих для их полной гидратации не хватает щелочного компонента. Результат — невысокие плотность и прочность бетона. При влажности опилок 15% насыщения опилок жидким стеклом не происходит и щелочной компонент полностью взаимодействует с золой или шлаком с образованием плотного и прочного цементного камня. Дальнейшее увеличение влажности опилок до 30% приводит к тому, что лишняя влага уменьшает плотность жидкого стекла, изменяя тем самым концентрацию щелочи в системе. Кроме того, повышенная влажность опилок способствует росту пористости искусственных камней, что влечет за собой уменьшение плотности и прочности бетона.

Выводы.

С помощью математического планирования и статистической обработки данных получены сочетания составляющих органоминеральных бетонов, которые могут быть рекомендованы для практического использования. Однако при этом следует отметить, что в регионах, богатых лесными ресурсами, но в которых отсутствуют металлургические шлаки и топливные золы от сжигания угля, органоминеральные бетоны могут быть получены на другом алюмосиликатном сырье [9–15]. Так, в Костромской области актуальным является использование золы, образующейся при сжигании на ТЭЦ торфа. Щелочным компонентом ЗЩВ служит жидкое стекло из силикат-глыбы или из микрокремнезема Новолипецкого металлургического комбината [4]. Между тем

исследованиями, проводимыми в Костромской государственной сельскохозяйственной академии, установлено, что торфяная зола характеризуется повышенной водопотребностью, обусловленной высокоразвитой поверхностью частиц (рис. 5).

Поэтому из-за особенностей структуры торфяной золы ЗЩВ бетоны на его основе отличаются повышенным расходом жидкого стекла, что приводит к заметному ухудшению их прочностных показателей.

Список литературы

1. Лукаш А.А., Лукутцова Н.П. Новые строительные материалы и изделия из древесины. М.: АСВ, 2015. 288 с.
2. Лукаш А.А., Лукутцова Н.П. Эффективные строительные материалы и изделия из техногенных отходов для жилищного строительства // *Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Материалы. Конструкции. Технологии.* 2017. № 2. С. 26–37.
3. Баракхтенко В.В., Бурдонов А.Е., Зелинская Е.В., Толмачева Н.А., Головнина А.В., Самороков В.Э. Исследование свойств современных строительных материалов на основе промышленных отходов // *Фундаментальные исследования.* 2013. № 10–12. С. 2599–2603.
4. Русина В.В., Дубровина Ю.Ю., Чернов Е.И. Бетоны для ограждающих конструкций на основе отходов механической переработки древесины // *Строительные материалы.* 2017. № 9. С. 32–35.
5. Рахимбаев Ш.И., Тольпина Н.М. Обоснование выбора типа вяжущего для агрессивных сред органического происхождения на основе теории гетерогенных физико-химических процессов // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова.* 2016. № 9. С. 159–163.
6. Килышева Н.В., Данилов В.Е., Айзенштадт А.М. Теплоизоляционный материал из коры сосны и ее экстракта // *Строительные материалы.* 2016. № 11. С. 48–51.
7. Шешуков А.П., Лычагин Д.В., Макаров Е.Я. Исследование процессов формирования структуры арболита при химической активации древесины // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета.* 2014. № 3 (44). С. 145–152.
8. Khuram Rashid, Madiha Ahmadm Muhammad Akram Tahir. Influence of organic agents to compressive strength of cement mortar // *Construction and Building Materials.* 2018. Vol. 175, pp. 434–438.
9. Мингалеева Г.Р., Шамсутдинов Э.В., Афанасьева О.В., Федотов А.И., Ермолаев Д.В. Современные тенденции переработки и использования золошлаковых отходов ТЭС и котельных // *Современные проблемы науки и образования.* 2014. № 6. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=16475> (дата обращения: 17.02.2018).
10. Яценко Е.А., Грушко И.С., Гольцман Б.М. Опыт создания строительных материалов на основе зол и шлаков тепловых электростанций // *Научное обозрение.* 2014. № 9–2. С. 443–448.
11. Панибратов Ю.П., Староверов В.Д. К вопросу применения зол ТЭС в бетонах // *Технологии бетонов.* 2012. № 1–2 С. 43–47.
12. Пашков И.А. Использование шлакощелочных бетонов в строительстве и промышленности // *Цемент.* 1985. № 11. С. 35–37.
13. Ходаков Г.С. Тонкое измельчение строительных материалов // *Цемент и его применение.* 2002. № 5. С. 21–22.
14. Саталкин А.В. Технология изделий из силикатных бетонов. М.: Стройиздат, 1972. 344 с.
15. Румшицкий Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента. М.: Наука, 1971. 171 с.

Частичная замена торфяной золы на молотый топливный шлак, образующийся на ТЭЦ Костромской области при сжигании каменного угля, позволяет значительно снизить расход жидкого стекла и тем самым улучшить основные физико-механические характеристики органоминерального бетона. Причем при корректировке состава такого бетона также используется способ задания состава через соотношение компонентов по массе.

References

1. Lukash A.A., Lukuttsova N.P. Novye stroitel'nye materialy i izdeliya iz drevesiny [New construction materials and products from wood]. Moscow: ACB. 2015. 288 p.
2. Lukash A.A., Lukutsova N.P. Effective building materials and products from industrial waste for housing construction. *Bulletin of the Volga State University of Technology. Series: Materials. Constructions. Technology.* 2017. No. 2, pp. 26–37. (In Russian).
3. Barakhtenko V.V., Burdonov A.E., Zelinskaya E.V., Tolmacheva N.A., Golovkina A.V., Samorokov V.E. Research of properties of modern construction materials on the basis of industrial wastes. *Fundamental'nye issledovaniya.* 2013. No. 10–12, pp. 2599–2603. (In Russian).
4. Rusina V.V., Dubrovina Yu.Yu., Chernov E.I. Concretes for enclosing structures on the basis of waste of wood machining. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 9, pp. 32–35. (In Russian).
5. Rakhimbaev Sh.I., Tolykina N.M. Justification of the choice of type of the organic origin knitting for hostile environment on the basis of the theory of heterogeneous physical and chemical processes. *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova.* 2016. No. 9, pp. 159–163. (In Russian).
6. Kilyusheva N.V., Danilov V.E., Aizenshtadt A.M. Heat-insulating material from bark of a pine and its extract. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2016. No. 11, pp. 48–51. (In Russian).
7. Sheshukov A.P., Lychagin D.V., Makarov E.Ya. Research of processes of formation of structure of wood concrete at chemical activation of wood. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta.* 2014. No. 3 (44), pp. 145–152. (In Russian).
8. Khuram Rashid, Madiha Ahmadm Muhammad Akram Tahir. Influence of organic agents to compressive strength of cement mortar. *Construction and Building Materials.* 2018. Vol. 175, pp. 434–438.
9. Mingaleeva G.R., Shamsutdinov E.V., Afanas'eva O.V., Fedotov A.I., Ermolaev D.V. Current trends of processing and use of cindery and slag waste of thermal power plant and boiler rooms. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya.* 2014. No. 6. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=16475> (Date of access 17.02.2018). (In Russian).
10. Yatsenko E.A., Grushko I.S., Gol'tsman B.M. Experience of creation of construction materials on the basis of the evils and slags of thermal power plants. *Nauchnoe obozrenie.* 2014. No. 9–2, pp. 443–448. (In Russian).
11. Panibratov Yu.P., Staroverov V.D. To a question of use of the evils of thermal power plant in concrete. *Tekhnologii betonov.* 2012. No. 1–2, pp. 43–47. (In Russian).
12. Pashkov I.A. Using ash-alkaline concretes in building and production. *Cement.* 1985. No. 11, pp. 35–37. (In Russian).
13. Hodakov G.S. Fine grinding of building materials. *Cement i ego primenenie.* 2002. No. 5, pp. 21–22. (In Russian).
14. Satalkin A.V. Tehnologiya izdelij iz silikatnyh betonov [Technology products from silicate concretes] Moscow: Stroyizdat. 1972. 344 p.
15. Rumshickiy L.Z. Matematicheskaja obrabotka rezul'taty jeksperimenta [Mathematical processing of the results of the experiment] Moscow: Nauka. 1971. 344 p.

Н.С. СОКОЛОВ^{1,2}, канд. техн. наук, директор (ns_sokolov@mail.ru);
С.Н. СОКОЛОВ¹, зам. директора, А.Н. СОКОЛОВ¹, зам. директора (forstnrf@mail.ru)

¹ ООО НПФ «ФОРСТ» (428000, Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул. Калинина, 109 а)

² Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова (428015, Чувашская Республика, г. Чебоксары, Московский пр., 15)

Случай из геотехнической практики предотвращения аварийной ситуации объекта

Эксплуатационная надежность любого возведенного объекта в первую очередь зависит от качественно выполненных заглубленных железобетонных конструкций. При использовании забивных или задавливаемых свай особое внимание должно быть уделено службами технического надзора обеспечению достижения проектных отметок их нижних концов. К тому же их несущую способность следует определять с помощью статических нагрузок, доказывая принятую проектную несущую способность. В противном случае принимается решение о перепроектировании свайного поля. Для случаев с основаниями, сложенными просадочными грунтами, обеспечение надежности свайного основания приобретает особое внимание. Эти грунты, обладая специфическими свойствами, имеющими в естественном состоянии твердую консистенцию, а в водонасыщенном состоянии – пластичную, часто вводят проектировщиков и строителей в заблуждение. Приведен случай усиления готового свайного основания из призматических свай в просадочных грунтах первого типа с помощью буроналивных свай, выполненных по разрядно-импульсной технологии (свай ЭРТ).

Ключевые слова: несущая способность, просадочность, основание, призматические сваи, электроразрядная технология, буроналивные сваи ЭРТ.

Для цитирования: Н.С. Соколов, С.Н. Соколов, А.Н. Соколов. Случай из геотехнической практики предотвращения аварийной ситуации объекта // *Строительные материалы*. 2018. № 10. С. 40–48. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-764-10-40-48>

N.S. SOKOLOV^{1,2}, Candidate of Sciences (Engineering), Director (ns_sokolov@mail.ru); S.N. SOKOLOV¹, Deputy Director;

A.N. SOKOLOV², Deputy Director (forstnrf@mail.ru)

¹ ООО НПФ «ФОРСТ» (109a, Kalinina Street, Cheboksary, Chuvash Republic, 428000, Russian Federation)

² I.N. Ulianov Chuvash State University (15, Moskovsky Avenue, Cheboksary, Chuvash Republic, 428015, Russian Federation)

The Case from Geotechnical Practice: Prevention of Emergency Situation at the Facility

The operational reliability of any constructed facility primarily depends on the quality of the buried reinforced concrete structures. When using driven or pressed piles, special attention should be paid by the technical supervision services to ensure that their lower ends reach the design levels. In addition, their bearing capacity should be determined by static loads, proving the accepted design bearing capacity. Otherwise, it is decided to redesign the pile field. For cases with the bases consisting of subsidence soils ensuring reliability of the pile basis gets special attention. These soils, having specific properties, with solid consistency in the natural state, and plastic consistency in the water – saturated state often mislead designers and builders. The case of strengthening of the finished pile foundation made of prismatic piles in collapsing soils of the first type with the help of bored-injected piles made by pulse-discharge technology (piles ERT) is presented.

Keywords: bearing capacity, subsidence, base, prismatic piles, pulse-discharge technology, bored-injected piles (piles ERT).

For citation: Sokolov N.S., Sokolov S.N., Sokolov A.N. The case from geotechnical practice: prevention of emergency situation at the facility. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 10, pp. 40–48. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-764-10-40-48> (In Russian).

В настоящее время наиболее востребованными заглубленными конструкциями являются железобетонные сваи. Единственным их недостатком является невозможность контроля достижения их нижних концов до проектных отметок.

Статья рассматривает одну из распространенных ошибок в практике геотехнического строительства на одном из объектов многоэтажного строительства при производстве работ по погружению при возведении заглубленных железобетонных конструкций – недостижение нижних концов до проектных отметок. В конкретном случае погружение забивных железобетонных призматических свай согласно проекту производилось в сложных инженерно-геологических условиях с прохождением их через толщу просадочных суглинков (ИГЭ № 3) мощностью до 9 м с заделкой нижних концов в песок пылеватый P_{3t} (рис. 1). В результате производства работ по погружению сваи обнаружилась невозможность достижения до проектной отметки. При этом в 80% случаев сваи оставались в просадочном слое. Величины недогружений составляли до 5 м (рис. 2, 3).

Верхняя толщина четвертичных отложений представлена суглинками легкими переходящими в супесь

(ИГЭ № 3) желто-коричневыми лессовидными (рпIII) твердой и полутвердой консистенции. На данном участке имеют повсеместное распространение, залегают плащеобразно в пределах древней погребенной долины р. Шупашкарка (Республика Чувашия).

Суглинки просадочные мощностью до 9 м, с коэффициентом водонасыщения 0,46–0,8. По результатам компрессионных испытаний по схеме двух кривых с замачиванием при вертикальных нагрузках 0,2 МПа величина относительной просадочности меняется от 0,01–0,046. Начальное просадочное давление составляет 0,03–0,05 МПа.

Нижняя граница просадочных грунтов совпадает с инженерно-геологической границей ИГЭ № 4 или соответствует кровле ИГЭ № 5.

Модуль деформации (E₀) при естественной влажности принят по результатам компрессионных испытаний (E_к=3,8–5,3 МПа) с корректировочным коэффициентом m_к=4,25 (СП 22.13330.2011 «Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01–83»). В расчетах использован максимальный коэффициент пористости e=0,698 (с учетом поправки на уплотнение при отборе грунтонасосом

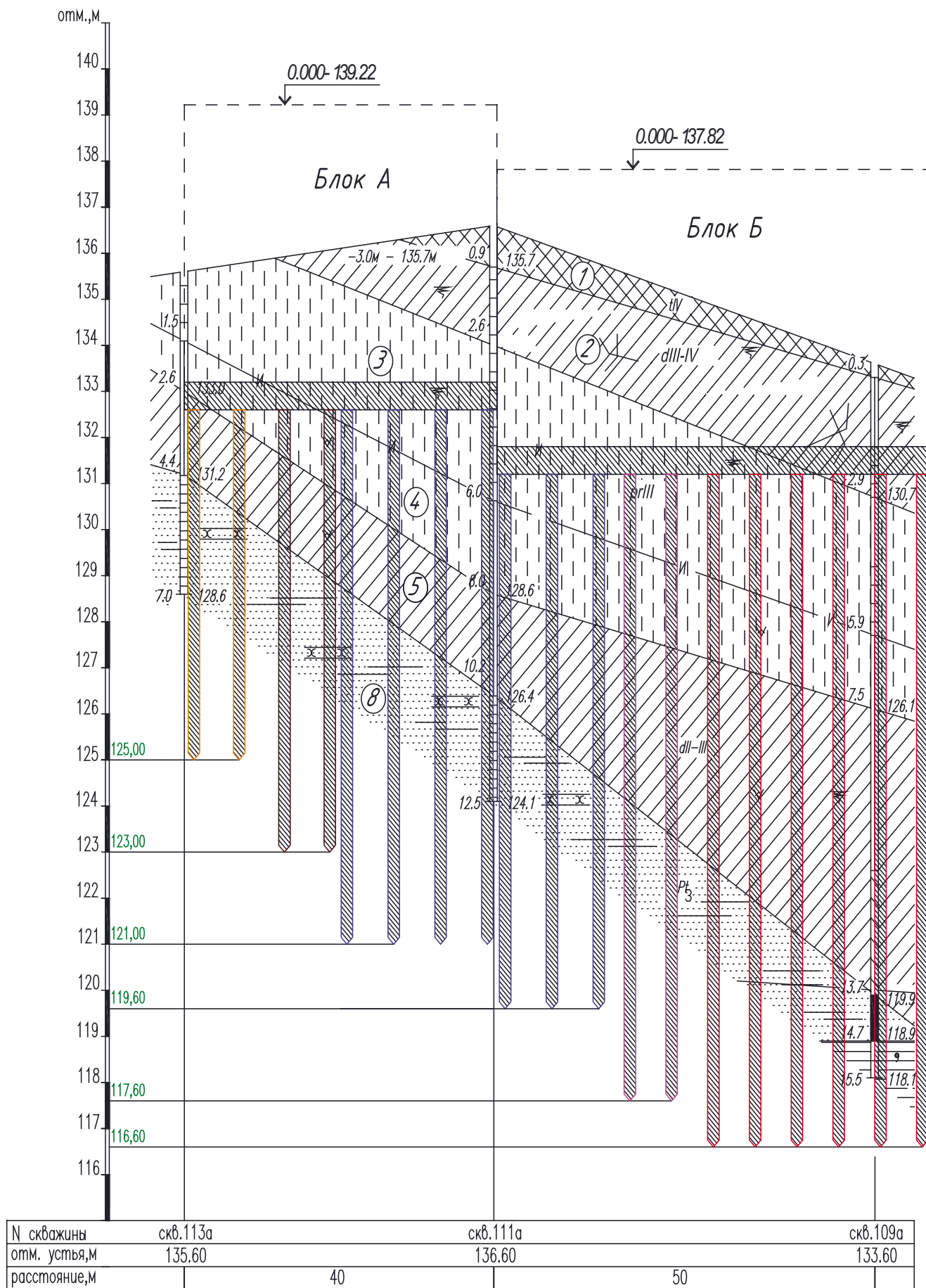


Рис. 1. Инженерно-геологический разрез с вертикальной привязкой призматических забивных свай

Таблица 1

Физико-механические характеристики грунтов основания площадки строительства

ИГЭ	Состояние грунта	Нормативные				Рассчитанные при $\alpha=0,85/0,95$			
		ρ , г/см ³	с, кПа	ϕ , град	E_0 , МПа	ρ , г/см ³	с, кПа	ϕ , град	E_0 , МПа
ИГЭ № 1 Техногенный грунт (tIV)	Природное состояние	1,9	17	19	8	1,9	17/11	19/16	8
ИГЭ № 2 Суглинок полутвердый (dIII-IV)	Природное состояние	1,98	17	19	8	1,97/1,96	16/16	17/15	8
ИГЭ № 3* Суглинок полутвердый просадочный (prIII)	Природное состояние	1,91	23	21	16	1,9/1,89	23/15	21/18	16
	Водонас. состояние	2,04	15	17	4	2,04	13/12	16/15	4
ИГЭ № 4 Суглинок мягкопластичный (prII)	Природное состояние	1,96	10	11	4	1,96/1,95	9/8	9/9	4
	Водонас. состояние	2				2			
ИГЭ № 5 Суглинок тугопластичный (pd, dII-III)	Природное состояние	1,98	14	16	10	1,98/1,97	13/13	15/14	10
	Водонас. состояние	2,01			8	2,01			8
ИГЭ № 6 Глина твердая (P _{3t})	Природное состояние	1,88	38	19	17	1,86/1,86	38/25	19/17	17
	Водонас. состояние	1,98	36	23		1,98	33/31	21/19	
ИГЭ № 7 Алеврит твердый (P _{3t})	Природное состояние	1,91	23	25	18	1,89/1,88	22/21	24/23	18
	Водонас. состояние	1,97				1,97			
ИГЭ № 8 Песок пылеватый (P _{3t})	Природное состояние	1,91	5	30	18	1,89/1,88	3/2	29/28	18

Таблица 2

Физико-механические характеристики просадочных грунтов PrIII

Наименование показателей	Ед. измерения	Значения характеристик грунтов			
		По лабораторным исследованиям	При статическом зондировании	Согласно СП 22.13330.2011	Принятое нормативное значение
Пластичность	%	26	-	-	26
влажность на границе текучести W_L		18	-	-	18
влажность на границе раскатывания W_p		8	-	-	8
число пластичности I_p					
Природная влажность W_e	%	15	-	-	15 23*
Показатель текучести I_L	-	<0	-	-	<0 0,63*
Плотность ρ	г/см ³	1,91	-	-	1,91 2,04*
Плотность сухого грунта ρ_d	г/см ³	1,66	-	-	1,66
Пористость n	%	39	-	-	39
Коэффициент пористости e	д. ед	0,629	-	-	0,629
Сцепление C (природная влажность)	кПа	-	23	25	23
Сцепление C (при водонасыщении)	кПа	15	14	20	15
Угол внутреннего трения ϕ (при естественной влажности)	град	-	21	23	21
Угол внутреннего трения ϕ (при естественном водонасыщении)	град	17	16	16	17
Модуль общей деформации E_0 (при естественной влажности)	МПа	$E_k=3,8$	17	17	16
Модуль общей деформации E_0 (при водонасыщенном состоянии)	МПа	$E_k=1,3$	4	12	4
Коэффициент относительной просадочности	д. ед	-	0,018	-	0,018

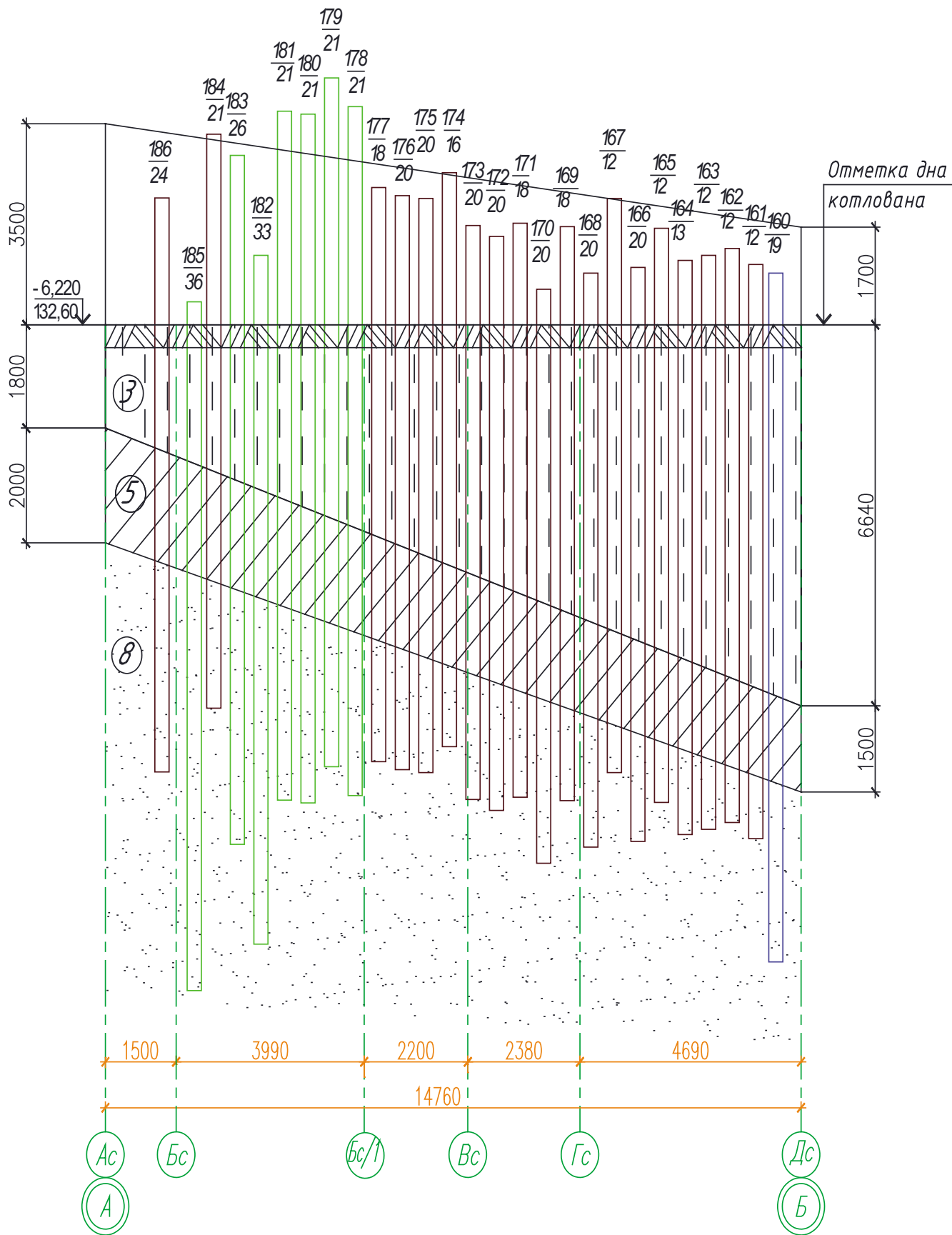


Рис. 2. Исполнительная схема забивки призматических свай в осях АС–ДС. Поз. 160–186 – номера погружаемых свай

и бурении ударно-канатным способом) и минимальный компрессионный модуль. Модуль деформации при естественной влажности равен 16 МПа.

Модуль деформации при водонасыщении по результатам компрессионных испытаний ($E_k=1,3-1,8$ МПа) с корректировочным коэффициентом $m_k=4,25$ (СП 22.13330.2011) равен 5,5 МПа. В расчетах также использован максимальный коэффициент пористости $e=0,698$ и минимальный компрессионный модуль $E_k=1,5$ МПа.

В табл. 1 приведены нормативные и расчетные значения физико-механических свойств грунтов основания, а в табл. 2 – нормативные величины просадочного инженерно-геологического элемента (ИГЭ № 3).

На объекте строительства многоэтажного жилого дома запроектированы призматические забивные сваи от 10 до 15 м с заделкой в пески пылеватые P_{3t} (ИГЭ № 8) (табл. 3 на рис. 4).

Несущая способность недогруженных свай с учетом негативного трения определялась по формуле (9.2)

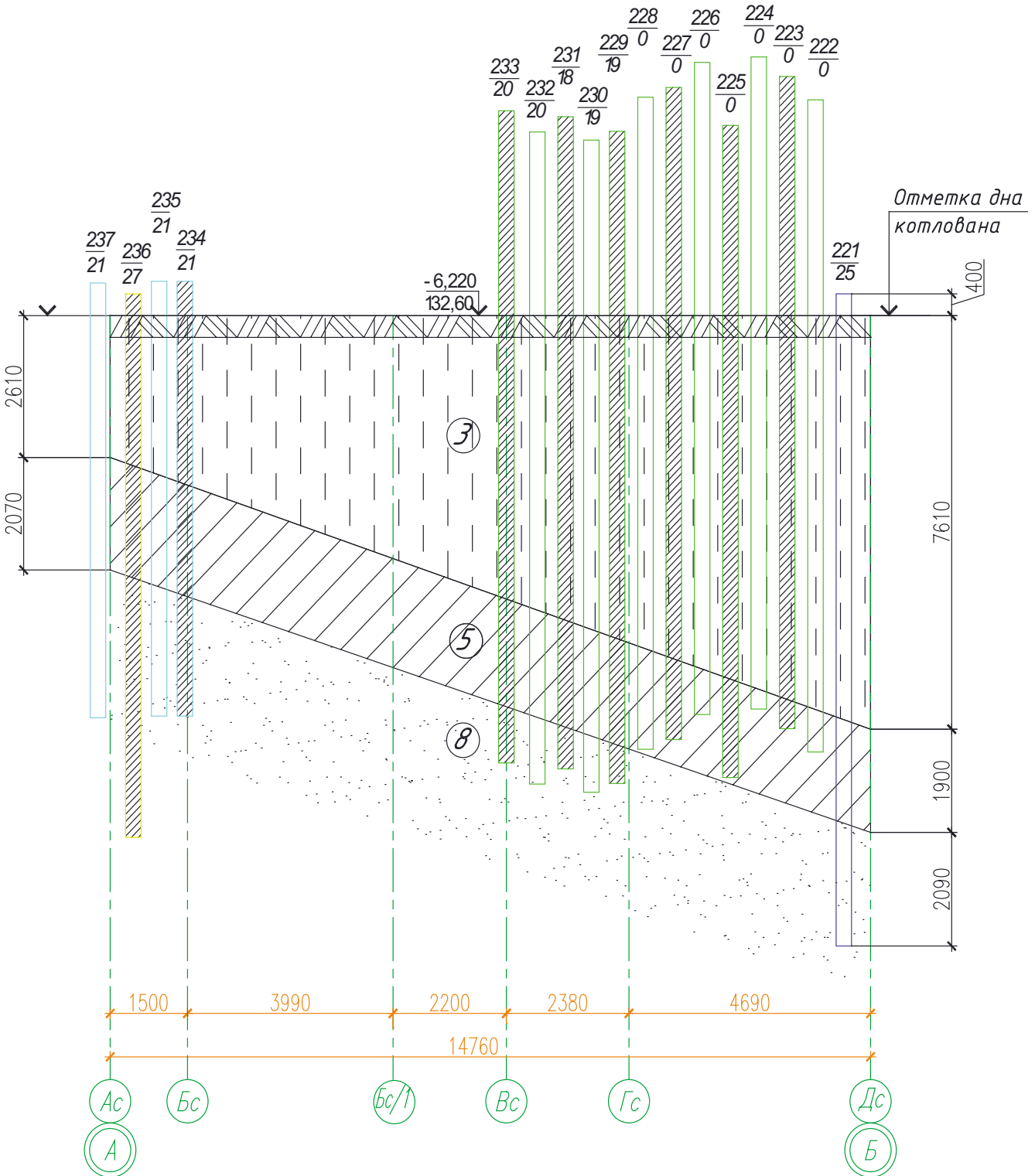


Рис. 3. Фрагмент исполнительной схемы забивных призматических свай в осях Вс–Дс. В числителе номер сваи в свайном поле; в знаменателе – расчетная нагрузка с учетом негативного трения

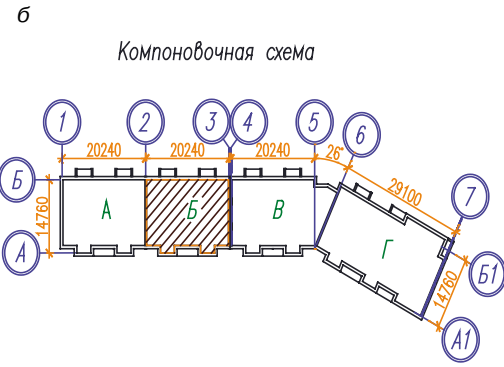
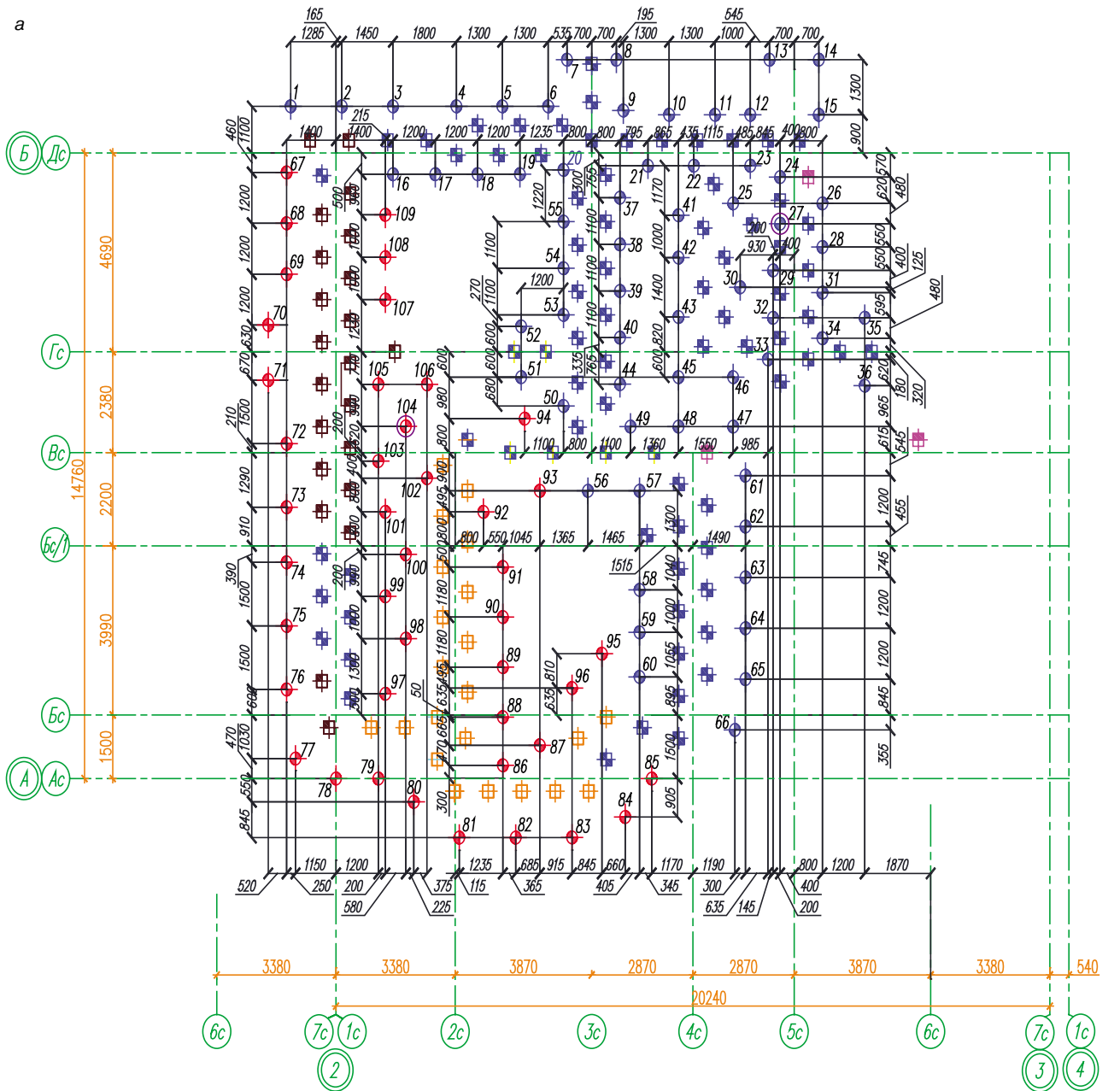


Таблица 3

Условн. обозн.	Маркировка	Номер сваи	Длина сваи, м	Сечение сваи, м	Кол.
⊕	Ср-18-30	1-66	18	∅300	66
◆	Ср-17-30	67-109	17	∅300	43
⊕	Свая с 100.30-10.1	239,240,161-177, 184, 186, 189	10	300x300	22
⊕	Свая с 80.30-10.1	190,191,195-208, 215-217,234, 235,237	8	300x300	22
⊕	Свая с 140.30-св.В/1	250,274,289,302, 327,331	14	300x300	6
⊕	Свая с 120.30-10.1	178-183,185,187, 188,192-194,209-214, 218-233,241-249, 251-267,275-283,317, 318,332-337	12	300x300	80

Рис. 4. Схема усиления свайного основания с помощью буринъекционных свай ЭРТ: а – план усиленного свайного основания; б – компоновочная схема жилого дома; в – таблица забивных свай и свай ЭРТ усиления основания

Таблица 4

Спецификация каркасов свай

Марка изделия	Позиция	Наименование	Количество	Масса, ед., кг	Масса изд., кг
К-1	1	∅18 А500 l = 3900	6	7,8	46,8
	2	∅10 А240 l = 19000	1	12,2783	12,2783
	3	Полоса b = 20 мм; t = 4 мм; L = 200 мм	18	0,1256	2,2608
	4	Труба ∅159 мм; t = 4,5 мм; L = 70 мм	3	1,2005	3,6015
К-2	1	∅18 А500 l = 3900	6	4,67532	28,0519
	2	∅10 А240 l = 19000	1	6,4785	6,4785
	3	Полоса b = 20 мм; t = 4 мм L = 200 мм	12	0,1256	1,5072
	4	Труба ∅159 мм; t = 4,5 мм; L = 70 мм	2	1,2005	2,401

Таблица 5

Спецификация свай ЭРТ

Позиция	Обозначение	Наименование	Количество	Масса, ед., кг	Масса изд., кг
		Свая Ср-18-30	66	363,1416	23967,35
Сборочные единицы:					
К-1	См. рис. 4	Каркас К-1	5	64,9406	363,1416
К-2	См. рис. 4	Каркас К-2	1	38,4386	
Материалы					
		Инъекционный бетон кл. В25, м ³		1,7804	117,51
		Свая Ср-17-30	43	321,926	13842,82
Сборочные единицы:					
К-1	См. рис. 4	Каркас К-1	5	64,9406	324,703
Материалы					
		Инъекционный бетон кл. В25, м ³		1,681	72,28

Таблица 6

Ведомость расхода стали

Марка элемента	Изделия металлические								Всего, кг
	Арматура класса				ВСм3				
	А240		А500с		Труба		Полоса		
	ГОСТ 5781-82		ГОСТ 5781-82		ГОСТ 10704-91		ГОСТ 103-76*		
	∅10	Итого	∅18	Итого	∅159×4,5 мм	Итого	20×4 мм	Итого	
Свая Ср-18-30 (66 шт.)	4479,42	4479,42	17295,425	17295,43	1346,96	1346,96	845,539	845,54	23967,34
Свая Ср-17-30 (43 шт.)	2520,445	2520,45	10062	10062	774,323	774,32	486,072	486,07	13842,84
Итого +5%		7349,86		28725,3		2227,35		1398,19	32350,83

СП 24.13330.2011. На рис. 2 и 3 в знаменателе приведены расчетные значения N конкретных свай (в числителе – номер сваи).

С учетом реальных значений несущей способности свай и расчетных внешних нагрузок в конкретных сечениях выявлены величины недостающих значений несущей способности свайного основания. С учетом этой гипотезы запроектированы буроинъекционные сваи ЭРТ расчетной длины. Следует отметить, что буроинъекционные сваи, изготовленные по электроразрядным технологиям (сваи ЭРТ), в геотехнической практике играют существенную роль [1–11]. Они позволяют значительно увеличить несущую способность любого свайного основания. Количество свай ЭРТ определялось с учетом расчетной нагрузки свайного основания.

Для сложных инженерно-геологических условий с перемежающимися слоями рассматриваемый тип свай ЭРТ наиболее экономически обоснован и технически целесообразен. Благодаря специфическим особенностям эти сваи способствуют увеличению надежности оснований. Для рассматриваемого случая усиления свайного основания они незаменимы.

На рис. 4 приведена схема усиления свайного основания с помощью свай ЭРТ, а в табл. 4 и 5 – спецификации каркасов и свай ЭРТ.

При конструировании вновь сооружаемых фундаментов из свай ЭРТ следует руководствоваться правилами и требованиями, предъявляемыми к конструированию фундаментов из буровых и набивных свай и изложенными в СП 24.13330.2011 «Актуализированная редакция СНиП 2.02.03–85 «Свайные фундаменты».

Армирование микросвай производится из расчета несущей способности поперечного сечения сваи (по формуле 14.6 «ТР 50-180–06 «Технические рекомендации по проектированию и устройству свайных фундаментов, выполняемых с использованием разрядно-импульсной технологии для зданий повышенной этажности»). В качестве расчетной арматуры использовались одиночные стержни, сварные каркасы, жесткая арматура в виде проката из черных металлов или стальные трубы.

На рис. 5 приведен пример армирования буроинъекционной сваи ЭРТ СР 18-30 длиной 18 м и диаметром 30 см с двумя уширениями вдоль ствола и уширением по пяте. Диаметры уширений составляют: верхнее – 415 мм;

нижнее – 395 мм, а по пяте – 410 мм. Продольное армирование запроектировано из пространственных каркасов КП-1 и КП-2. Соединение каркасов, состоящих из шести стержней диаметром 18 А 500, производится вязальной проволокой с нахлестом не менее 40 диаметров – 800 мм (узел 1, рис. 5). Возможен вариант сварного соединения. При этом размер нахлеста составляет не менее 20 диаметров – 400 мм. Для создания защитного слоя бетона использована стальная полоса (фиксатор каркаса – узел 3, рис. 1) шириной $b=20$ мм и толщиной $t=4$ мм.

Список литературы

1. Ильичев В.А., Мангушев Р.А., Никифорова Н.С. Опыт освоения подземного пространства российских мегаполисов // *Основания, фундаменты и механика грунтов*. 2012. № 2. С. 17–20.
2. Улицкий В.М., Шашкин А.Г., Шашкин К.Г. Геотехническое сопровождение развития городов. СПб.: Геореконструкция, 2010. 551 с.
3. Разводовский Д.Е., Чепурнова А.А. Оценка влияния усиления фундаментов зданий по технологии струйной цементации на их осадку // *Промышленное и гражданское строительство*. 2016. № 10. С. 64–72.
4. Соколов Н.С., Соколов С.Н., Соколов А.Н. Мелкозернистый бетон как конструкционный строительный материал буроналивных свай-ЭРТ // *Строительные материалы*. 2017. № 5. С. 16–20.
5. Улицкий В.М., Шашкин А.Г., Шашкин К.Г. Гид по геотехнике: Путеводитель по основаниям, фундаментам и подземным сооружениям. СПб., 2012. 284 с.
6. Sokolov N.S. One of the geotechnical technologies to strengthen the foundation base in constraint environment in the addition of 4 floors. *18 international multidisciplinary scientific GeoConference SGEM 2018 Albena Resort SPA Bulgaria*. 2018.
7. Sokolov N.S. Ground anchor produced by electric discharge technology, as reinforced concrete structure // *Key Engineering Materials*. 2018. Vol. 771, pp. 75–81.
8. Sokolov N.S. Use of the piles of effective type in geotechnical construction // *Key Engineering Materials*. 2018. Vol. 771, pp. 70–74.
9. Sokolov N.S. One of geotechnological technologies for ensuring the stability of the boiler of the pit // *Key Engineering Materials*. 2018. Vol. 771, pp. 56–69.
10. Соколов Н.С. Один из подходов решения проблемы по увеличению несущей способности буровых свай // *Строительные материалы*. 2018. № 5. С. 44–48. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-759-5-44-47>
11. Соколов Н.С., Соколов С.Н., Соколов А.Н., Рябинов В.М. О буроналивных сваях с регулируемой несущей способностью по грунту // *Жилищное строительство*. 2017. № 8. С. 34–38.
12. Соколов Н.С., Никонорова И.В. Строительство и территориальное освоение оползневых склонов Чебоксарского водохранилища // *Жилищное строительство*. 2017. № 9. С. 13–20.
13. Соколов Н.С. Фундамент повышенной несущей способности с использованием буроналивных свай ЭРТ с местными уширениями // *Жилищное строительство*. 2017. № 9. С. 25–29.
14. Соколов Н.С. Электроимпульсная установка для изготовления буроналивных свай // *Жилищное строительство*. 2018. № 1–2. С. 62–66.
15. Соколов Н.С., Викторова С.С., Смирнова Г.М., Федосеева И.П. Буроналивная свая-ЭРТ как заглубленная железобетонная конструкция // *Строительные материалы*. 2017. № 9. С. 47–50.

Выводы.

Надежность свайного основания в просадочных грунтах зависит прежде всего от достижения нижних концов свай до проектных отметок в несущий инженерно-геологический элемент.

В геотехническом строительстве часты случаи недопущения нижних концов погружаемых свай до проектных отметок. Для обеспечения несущей способности свайного основания буроналивные сваи ЭРТ служат как дополнительные заглубленные конструкции.

References

1. Ilyichev V.A., Mangushev R.A., Nikiforova N.S. Experience in the development of the underground space of Russian megacities. *Osnovaniya, fundamentey i mekhanika gruntov*. 2012. No. 2, pp. 17–20. (In Russian).
2. Ulitsky V.M., Shashkin A.G., Shashkin K.G. Geotechnical support of urban development [Geotechnical support of urban development]. Saint Petersburg: Georekonstrukciya. 2010. 551 p.
3. Razvodovsky D.E., Chepurnova A.A. Evaluation of the effect of strengthening the foundations of buildings on the technology of jet cementation on their sediment. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitelstvo*. 2016. No. 10, pp. 64–72. (In Russian).
4. Sokolov N.S., Sokolov S.N., Sokolov A.N. Fine concrete as a structural building material of bored-injection piles EDT. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 5, pp. 16–20. (In Russian).
5. Ulitsky V.M., Shashkin A.G., Shashkin K.G. Gid po geotekhnike [Geotechnical guide] (guide to bases, foundations and underground structures). Saint Petersburg: Georekonstrukciya. 2012. 284 p.
6. Sokolov N.S. One of the geotechnical technologies to strengthen the foundation base in constraint environment in the addition of 4 floors. *18 international multidisciplinary scientific GeoConference SGEM 2018 Albena Resort SPA Bulgaria*. 2018.
7. Sokolov N.S. Ground anchor produced by electric discharge technology, as reinforced concrete structure. *Key Engineering Materials*. 2018. Vol. 771, pp. 75–81.
8. Sokolov N.S. Use of the piles of effective type in geotechnical construction. *Key Engineering Materials*. 2018. Vol. 771, pp. 70–74.
9. Sokolov N.S. One of geotechnological technologies for ensuring the stability of the boiler of the pit. *Key Engineering Materials*. 2018. Vol. 771, pp. 56–69.
10. Sokolov N.S. One of the approaches to solving the problem of increasing the bearing capacity of drilling piles. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 5, pp. 44–48. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-759-5-44-47>
11. Sokolov N.S., Sokolov S.N., Sokolov A.N., Ryabinov V.M. About bored-injection piles with regulated bearing capacity by soil. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2017. No. 8, pp. 34–38. (In Russian).
12. Sokolov N.S., Nikonorova I.V. Construction and territorial development of landslide slopes of the Cheboksary water reservoir. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2017. No. 9, pp. 13–20. (In Russian).
13. Sokolov N.S. The foundation of the increased load-bearing capacity with the use of flight augering piles-ERT with multiplies broadening. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2017. No. 9, pp. 25–29. (In Russian).
14. Sokolov N.S. Electroimpulse installation for the production of flight augering piles. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2018. No. 1–2, pp. 62–66. (In Russian).
15. Sokolov N.S., Viktorova S.S., Smirnova G.M., Fedoseeva I.P. Flight augering piles-EDT as a buried reinforced concrete structure. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 9, pp. 47–50. (In Russian).

Л.И. МАЛЯНОВА, канд. техн. наук (malyanova.00@mail.ru)

Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова (428015, Чувашская Республика, г. Чебоксары, Московский пр., 15)

Модифицированный битум с кубовыми остатками при производстве анилина (АСД)

Проведено исследование по приготовлению и разработке модифицированного вяжущего на основе использования кубовых остатков (АСД) при производстве анилина, разработана технология изготовления модифицированного битума, а также рассмотрена возможность использования модифицированного битума для изготовления горячего щебеночного асфальтобетона типа Б с отходами дробления известняков (ОДИ) из местных месторождений Чувашской Республики путем замены минерального порошка, дробленого песка на ОДИ. Проведены предварительные испытания. Рассмотрены количественные и качественные показатели в лабораторных и производственных условиях асфальтобетонов типа Б, которые полностью соответствуют требованиям действующего ГОСТ 9128–13 “Смеси асфальтобетонные, полимерасфальтобетонные, асфальтобетон, полимерасфальтобетон для автомобильных дорог и аэродромов”. Применение конструкционного материала для покрытия дорожной одежды лесовозных автомобильных дорог и дорог общего назначения обеспечивает уменьшение расхода вяжущего и снижение себестоимости асфальтобетонной смеси.

Ключевые слова: битум, кубовые остатки (АСД) при производстве анилина, гидрофобность, гидрофильность, гидратация, коагуляция, дисперсность, разрядно-импульсная технология, сваи ЭРТ.

Для цитирования: ФИО. Модифицированный битум с кубовыми остатками при производстве анилина (АСД) // *Строительные материалы*. 2018. № 10. С. 49–52. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-764-10-49-52>

L.I. MALYANOVA, Candidate of Sciences (Engineering) (malyanova.00@mail.ru)

I.N. Ulianov Chuvash State University (15 Moskovsky Prospekt, Cheboksary, 428015, Chuvash Republic, Russian Federation)

Modified Bitumen with Stillage Bottoms When Producing Aniline (ASD)

A study of the preparation and development of a modified binder on the basis of the use of stillage bottoms (ASD) in the production of aniline was conducted, the technology of modified bitumen manufacturing was developed, the possibility of using modified bitumen for the manufacture of hot crushed asphalt concrete of B type with waste of limestone crushing (ODI) from the local deposits of the Chuvash Republic by replacement of mineral powder, crushed sand by ODI is also considered. Preliminary tests have been carried out. The quantitative and qualitative indicators of the asphalt concrete of B type under laboratory and production conditions, which fully meet the requirements of the current GOST 9128–13 “Mixtures of asphalt concrete, polymer asphalt concrete, asphalt concrete, polymer asphalt concrete for roads and airfields.” are considered. The use of structural material to cover the pavement of logging roads and general-purpose roads provides the reduction in consumption of the binder and in the cost price of asphalt concrete mix.

Keywords: bitumen, stillage bottoms of aniline, hydrophobicity, hydrophilicity, hydration, coagulation, dispersion, discharge-impulse technology, ERT-piles.

For citation: Malyanova L.I. Modified bitumen with stillage bottoms when producing aniline (ASD). *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 10, pp. 49–52. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-764-10-49-52> (In Russian).

Асфальтобетоны, применяемые для строительства покрытий автомобильных дорог, в том числе расположенных в зонах интенсивного перемещения лесоматериалов лесовозными автопоездами, имеют сравнительно высокую себестоимость, которая постоянно растет. С целью удешевления разработаны асфальтобетоны, в которых взамен минерального порошка и некоторой части мелкого заполнителя используются отходы дробления известняков (ОДИ). При этом наблюдается возрастание требуемого расхода битума для их приготовления. Известно, что одним из эффективных путей для уменьшения расхода битума и улучшения физико-механических свойств асфальтобетонов (АБ) является введение в них небольшого количества различных поверхностно-активных веществ (ПАВ). В ходе предварительных исследований выявлено, что введение кубовых остатков (АСД) при производстве анилина (в количестве 0,5–1% по массе) оказывает положительное влияние на физико-механические свойства битумов: увеличиваются значения сцепления с поверхностью минеральных материалов, пенетрации, растяжимости, сопротивляемости старению при высоких температурах, температура размягчения. Температура хрупкости также увеличивается при отрицательной температуре. Поэтому в настоящее время поиск недорогих веществ из числа местных источников, в частности среди отходов и побочных продуктов местной промышленности, пригодных для применения в качестве активизирующих,

является актуальной задачей. Известно, что на Ново-чебоксарском химическом заводе Чувашской Республики вырабатываются кубовые остатки при производстве анилина, которые могут быть применены в качестве модифицирующей добавки в асфальтобетоны с отходами дробления известняков.

Цель исследований – изучение влияния добавок АСД на физико-механические свойства битума нефтяного дорожного марки БНД 90/130 (ОАО «ЛУКОЙЛ», «Нижегороднефтеоргсинтез»). Взятые к изучению составы образцов и результаты испытаний приведены в табл. 1. Образцы битума испытывались по стандартным методикам ГОСТ 11501–78 «Битумы нефтяные. Метод определения глубины проникания иглы. Методы испытаний»; ГОСТ 11505–75 «Битумы нефтяные. Метод определения растяжимости. Методы испытаний»; ГОСТ 11506–73 «Битумы нефтяные. Метод определения температуры размягчения по кольцу и шару. Методы испытаний»; ГОСТ 11507–78 «Битумы нефтяные. Метод определения температуры хрупкости по Фраасу. Методы испытаний»; ГОСТ 22245–90 «Битумы нефтяные дорожные вязкие. Технические условия».

Анализируя результаты исследований, приведенных в табл. 1, можно сделать вывод, что небольшое количество добавки АСД существенно влияет на физико-механические характеристики битума БНД 90/130. Результаты испытаний показывают, что при введении АСД вязкость битума уменьшается. Однако в то же время

Таблица 1

Результаты испытания образцов битума при добавлении АсД

Наименование показателей битума	Битум вязкий БНД 90/130 (100% от массы минеральной части) при добавлении АсД, % от массы битума							
	ГОСТ 22245-90	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3
Глубина проникания иглы, 0,1 мм, при температуре, °С: +25 ±0	91-130 не менее 28	102 31	106 30	111 31	116 31	117 30	123 28	129 28
Растяжимость при температуре, °С: +25 ±0	65 4	74 4,2	72 4,3	70 4,3	70 4,3	69 4,2	67 4,1	66 4
Температура размягчения, °С	Не ниже 43	46	46	47,2	47	46	45	43
Температура хрупкости, °С	Не выше -17	-17	-18	-19	-19	-18	-17	-16
Температура вспышки, °С	Не ниже +230	275	270	275	275	265	265	268
Изменение температуры размягчения после прогрева, °С	Не более 5	4,5	4,5	4,3	4,3	4,5	4,7	4,8
Индекс пенетрации	От -1 до +1	-0,5	-0,3	+0,2	+0,2	0	-0,1	-0,6

Таблица 2

Технологическая схема приготовления модифицированного вяжущего на основе кубовых остатков анилина (АсД)

Рабочая операция	Ед. изм.	Источник обоснования	Объем работ	Производительность	Необходимое количество машино-смен			Время работы, ч
					расч.	прин.	К _и	
Подготовка установки к пуску								
Разогрев вязкого битума марки БНД 90/130 в котлах битумных стационарных емкостью 15 тыс. л	т	ГЭСН 27 - 10- 003-1	15	14,88	1	2	0,5	4
Приготовление модифицированного вяжущего (ГОСТ 22245-90)	т	ГЭСН 27 - 10- 003-1	15	32,19	0,37	1	0,37	2,96

при содержании добавки в количестве 1% происходит увеличение температуры размягчения на один градус и понижение температуры хрупкости на два градуса. В абсолютных значениях это соответствует температуре размягчения $T_p = +47,2^\circ\text{C}$ и температуре хрупкости $t = -19^\circ\text{C}$.

Одним из перспективных направлений применения модифицированного битума с использованием кубовых остатков при производстве анилина является применение их в асфальтобетонных смесях для верхних слоев дорожных покрытий.

В состав работ по приготовлению модифицированного вяжущего с использованием кубовых остатков при производстве анилина входят следующие операции (табл. 2): предварительный подогрев вязкого битума; введение добавки анилина и битума в установку по приготовлению модифицированного вяжущего; приготовление модифицированного вяжущего [1-9].

Расчеты к технологической карте по приготовлению модифицированного вяжущего с использованием кубовых остатков при производстве анилина приведены ниже. Подготовка установки к пуску представлена в виде алгоритма.

1. Определение производительности битумных котлов емкостью 15 тыс. л.

Производительность котла определяем согласно ГЭСН 27-10-003-1 «Государственные элементные сметные нормы»:

$$P_{б.у} = \frac{T_{см} \cdot I}{H_{вр}} = \frac{8 \cdot 100}{53,76} = 14,88 \text{ т/см.} \quad (1)$$

Количество машино-смен равно:

$$M_{см} = \frac{Q}{\Pi} = \frac{15}{14,88} = 1 \text{ м/см,} \quad (2)$$

где Q – объем работ; Π – производительность котла: $M_{пр} = 1$; $K_i = M_{см} / M_{пр} = 1$.

Время работы на захватке составляет:

$$T_{зах} = T_{приг} \cdot K_i = 8 \cdot 1 = 8 \text{ ч.} \quad (3)$$

2. Приготовление модифицированного вяжущего в установке.

Производительность установки (ГЭСН 27-10-003-1 «Государственные элементные сметные нормы»):

$$P_{уст} = \frac{T_{см} \cdot I}{H_{вр}} = \frac{8 \cdot 100}{24,85} = 32,19 \text{ т/см,} \quad (4)$$

где $T_{см}$ – время работы в смену; $H_{вр}$ – норма времени.

Количество машино-смен равно:

$$M_{см} = \frac{Q}{\Pi} = \frac{15}{32,19} = 0,37 \text{ м/см;} \quad (5)$$

$$M_{пр} = 1; K_i = M_{см} / M_{пр} = 0,37. \quad (6)$$

Время работы на захватке составляет:

$$T_{\text{зах}} = T_{\text{приг}} \cdot K_{\text{и}} = 8 \cdot 0,37 = 2,96 \text{ ч}, \quad (7)$$

где $T_{\text{приг}}$ — время работы; $K_{\text{и}} = M_{\text{см}} / M_{\text{пр}}$.

Следует особо обратить внимание на тот факт, что безопасность дорожной одежды является комплексным фактором, включающим качество дорожной одежды и надежность основания. Надежность основания предполагает его деформативность в пределах допустимых величин. В геотехнической практике очень часты случаи, когда при качественной запроектированной и построенной дорожной одежде происходят прогибы и провалы дорожного полотна.

Для предотвращения возможных деформаций оснований их следует армировать. Наиболее приспособленными для этого являются буровые сваи, изготавливаемые по электроразрядным технологиям (сваи ЭРТ) [10–16].

Список литературы

1. Патент РФ 2503633. *Способ получения горячей щебеночной асфальтобетонной смеси с отсевами дробления известняков марки 400* / Салихов М.Г., Малянова Л.И., Илванов В.Ю. Заявл. 18.11.2011. Опубл. 10.01.2014. Бюл. № 1.
2. Патент РФ 2654954. *Способ определения скорости и интенсивности старения асфальтобетонов* / Салихов М.Г., Веюков Е.В., Сабиров Л.Р., Малянова Л.И. Заявл. 13.02.2017. Опубл. 23.05.2018.
3. Малянова Л.И. Изучение возможности использования модифицирования дорожных битумов отходами местной химической промышленности Чувашии. *Материалы международной научно-практической конференции «Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе» Пермского национального исследовательского политехнического университета (ПНИПУ) и Российской академии транспорта (РАТ). 2013. Пермь: ПНИПУ, 2013. С. 267–272.*
4. Малянова Л.И., Салихов М.Г. Модифицированные битумы и экспериментальные исследования их физико-механических свойств. В кн.: *Дорожно-транспортный комплекс: состояние, проблемы и перспективы развития*. Чебоксары: ВФ МАДИ, 2016. С. 155–161.
5. Малянова Л.И. Модифицированный асфальтобетон с отходами дробления известняков в дорожных одеждах // *Строительные материалы*. 2018. № 7. С. 24–27. DOI: 10.31659/0585-430X-2018-761-7-24-27.
6. Салихов М.Г., Малянова Л.И. Изучение влияния модифицированной добавки на некоторые свойства асфальтобетона с отсевами дробления известняков для покрытий лесовозных дорог // *Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер. Лес. Экология. Природопользование*. 2013. № 1 (17). С. 64–71.
7. Салихов М.Г., Малянова Л.И. Изучение долговечности модифицированных мелкощебенистых асфальтобетонов в условиях воздействия агрессивных сред. *Материалы 7-й Всероссийской научно-практической конференции: Развитие дорожно-транспортного комплекса и строительной инфраструктуры на основе рационального природопользования*. Омск: СибАДИ, 2012. С. 438–442.
8. Салихов М.Г., Малянова Л.И. Влияние добавок кубовых остатков при производстве анилина на температурную устойчивость вязких дорожных битумов и асфальтобетонов с отходами дробления известняков // *Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер. Лес. Экология. Природопользование*. 2016. № 2 (30). С. 74–81. DOI: 10.15350/2306-2827.2016.2.74

Выводы

Результаты исследований свидетельствуют о том, что введение кубовых остатков при производстве анилина и замена дорогостоящего минерального порошка и песка на отходы дробления известняков из местных карьеров способствуют снижению расхода дорогостоящего вяжущего и в то же время увеличению прочностных характеристик в сравнении с ГОСТ 9128–2013 «Смеси асфальтобетонные, полимерасфальтобетонные, асфальтобетон, полимерасфальтобетон для автомобильных дорог и аэродромов», а также удешевлению нового состава асфальтобетона [1–8].

2. Использование буроинъекционных свай ЭРТ способствует надежной эксплуатации оснований конструкций дорожной одежды.

References

1. Patent RF 2503633. *Sposob polucheniya goryachej shchenochnoj asfal'tobetonnoj smesi s otevami drobleniya izvestnyakov marki 400* [Way of receiving hot crushed-stone asphalt concrete mix with eliminations of crushing of limestones of brand 400]. Salikhov M.G., Malyanova L.I., Ilvanov V.Yu. Declared 18.11.2011. Published 10.01.2014. Bulletin No. 1. (In Russian).
2. Patentes RF 2654954. *Way of determination of speed and intensity of aging of asphalt concrete* [Sposob opredeleniya skorosti i intensivnosti stareniya asfal'tobetonov]. Salikhov M.G., Veyukov E.V., Sabirov L.R., Milyanova L.I. Declared 13.02.2017. Published 23.05.2018. (In Russian).
3. Malyanova L.I. Studying the possibility of using the modification of road bitumen with the waste of the local chemical industry of Chuvashia. *Materials of the international scientific-practical conference "Modernization and research in the transport complex" of the Perm National Research Polytechnic University (PNRPU) and the Russian Academy of Transport (PAT). 2013. Perm: PNRPU, 2013, pp. 267–272. (In Russian).*
4. Malyanova L.I., Salikhov V.F. *Modificirovannye bitumy i ehksperimental'nye issledovaniya ih fiziko-mekhanicheskikh svoystv. V kn.: Dorozhno-transportnyj kompleks: sostoyanie, problemy i perspektivy razvitiya* [Research in Transport a Complex: state, problems and prospects of development]. Cheboksary: VF MADI. 2016, pp. 155–161. (In Russian).
5. Malyanova L.I. Modified asphalt concrete with limestone crushing waste in road pavement. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018, No. 7, pp. 24–27. DOI: 10.31659/0585-430X-2018-761-7-24-27. (In Russian).
6. Salikhov M.G., Malyanova L.I. Research of the modified additive impact onto certain properties of bitumen concrete waste products with limestone fragmentation used in timber road construction. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopolzovanie*. 2013. No. 1 (17), pp. 64–71. (In Russian).
7. Salikhov M.G., Malyanova L.I. Studying of durability of the modified melkoshchenisty asphalt concrete in the conditions of influence of hostile environment. *Materials of the 7th All-Russian scientific and practical conference: Development road transport complex and construction infrastructure on the basis of rational environmental management*. Omsk: SibADI. 2012, pp. 438–442. (In Russian).
8. Salikhov M.G., Malyanova L.I. The impact of stillage residues gained as a result of aniline production on the thermal stability of bitumen petroleum viscous and bitumen concrete with waste products of limestone fragmentation. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopolzovanie*. 2016. No. 2 (30), pp. 74–81. DOI: 10.15350/2306-2827.2016.2.74. (In Russian).

9. Colwill D.M. Et alii modified binders for asphalts // *Proceeding of the institution of civil engineering*. 1988. Vol. 84, No. 2, pp. 177–180.
10. Соколов Н.С., Викторова С.С., Смирнова Г.М., Федосеева И.П. Буроинъекционная свая ЭРТ как заглубленная железобетонная конструкция // *Строительные материалы*. 2017. № 9. С. 47–49.
11. Соколов Н.С., Соколов С.Н., Соколов А.Н., Федоров П.Ю. Использование буроинъекционных свай ЭРТ в качестве оснований фундаментов повышенной несущей способности // *Промышленное и гражданское строительство*. 2017. № 9. С. 66–70.
12. Соколов Н.С. Технология обеспечения устойчивости ограждения котлована // *Строительные материалы*. 2018. № 1–2. С. 81–91.
13. Соколов Н.С., Соколов А.Н., Соколов С.Н., Глушков В.Е., Глушков А.В. Расчет буроинъекционных свай ЭРТ повышенной несущей способности // *Жилищное строительство*. 2017. № 11. С. 20–25.
14. Соколов Н.С., Алексеева Г.Н., Викторова С.С., Смирнова Г.М., Федосеева И.П. Исследование и разработка установки для электрогидравлической обработки бетона буровых свай // *Вестник Чувашского университета*. 2018. № 1. С. 69–79.
15. Соколов Н.С., Никонорова И.В. Строительство и территориальное освоение оползневых склонов Чебоксарского водохранилища // *Жилищное строительство*. 2017. № 9. С. 13–20.
16. Соколов Н.С., Соколов С.Н., Соколов А.Н. Мелкозернистый бетон как конструкционный строительный материал буроинъекционных свай-ЭРТ // *Строительные материалы*. 2017. № 5. С. 16–19.
9. Colwill D.M. Et alii modified binders for asphalts. *Proceeding of the institution of civil engineering*. 1988. Vol. 84, No. 2, pp. 177–180.
10. Sokolov N.S., Viktorova S.S., Smirnova G.M., Fedoseeva I.P. Bored-injection pile-ERT as a buried reinforced concrete structure. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 9, pp. 47–49. (In Russian).
11. Sokolov N.S., Sokolov S.N., Sokolov A.N., Fedorov P.Yu. Use the Boredinjection pile-ERT as foundations of the bases of the increased bearing ability. *Promyshlennoe I Gragshdanskoe stroitelstvo*. 2017. No. 9, pp. 66–70. (In Russian).
12. Sokolov N.S. Technology for ensuring the stability of excavation shoring. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 1–2, pp. 81–90. (In Russian).
13. Sokolov N.S., Sokolov A.N., Sokolov S.N., Glushkov V.E., Glushkov A.V. Calculation of bored-injection piles of improved bearing capacity. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2017. No. 11, pp. 20–25. (In Russian).
14. Sokolov N.S., Alekseeva G.N., Viktorova S.S., Smirnova G.M., Fedoseyeva I.P. Installation research and development for electrohydraulic processing of concrete of boring piles. *Vestnik Chuvashskogo Universiteta*. 2018. No. 1, pp. 69–79. (In Russian).
15. Sokolov N.S., Nikonorova I.V. Foundation of increased bearing capacity constructed with use of bored-injection edt-piles with multiple enlargements. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2017. No. 9, pp. 25–28. (In Russian).
16. Sokolov N.S., Sokolov S.N., Sokolov A.N. Fine Concrete as a structural building material of bored-injection piles EDT. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 5, pp. 16–19. (In Russian).

Актуальные направления развития строительного материаловедения

22 ноября 2018 г., АСИ УГНТУ, Уфа, ул. Менделеева, 195

Тематика конференции

- Общие тенденции строительного материаловедения на современном этапе
- Перспективные направления научных исследований в области строительных материалов различного назначения (современные бетоны, гипсовые материалы, строительная керамика, силикатные изделия и АГБ, нанотехнологии, материалы для дорожного строительства и др.)
- Внедрение результатов научных разработок в реальное производство строительных материалов и строительство
- Опыт внедрения научных разработок в строительство Республики Башкортостан

Мастер-класс по подготовке рукописей статей для публикации в журналах международного уровня на примере требований журнала «Строительные материалы»®

К участию в конференции приглашаются ученые, преподаватели, магистранты и аспиранты высших учебных заведений, представители промышленности строительных материалов, строители и все заинтересованные лица.

Организаторы конференции:



Научно-технический журнал
«Строительные материалы»®



Архитектурно-строительный институт Уфимского
государственного нефтяного технического университета

Заявки для участия принимаются по эл. почте mail@rifsm.ru, svetlana6363@mail.ru
Менеджер проекта – зам. гл. редактора журнала «Строительные материалы»®

Светлана Юрьевна Горегляд, м.т. +7 916 123 9829

Тел./факс: (499) 976-22-08, 976-20-36

www.journal-cm.ru www.rifsm.ru



К 75-летию Анатолия Петровича Пичугина

Анатолий Петрович Пичугин — доктор технических наук, профессор Новосибирского государственного аграрного университета. Родился 22 октября 1943 г. в городе Уссурийске Приморского края. В 1968 г. после успешного окончания инженерно-строительного факультета Дальневосточного политехнического института им. В.В. Куйбышева остался в нем для научно-исследовательской и преподавательской работы. В 1969 г. А.П. Пичугин поступил в аспирантуру на кафедру полимерных материалов Московского инженерно-строительного института и через три года успешно защитил диссертационную работу по теме «Полимербетонные покрытия для полов сельскохозяйственных и производственных помещений».

В 1978 г. А.П. Пичугин переехал в Новосибирск и возглавил кафедру строительного дела Новосибирского сельскохозяйственного института. Под его руководством была развернута большая работа по организации студенческих строительных отрядов, обучению бойцов ССО строительным профессиям. В 1984—1986 гг. Пичугин А.П. работал проректором института по строительству. В настоящее время заведует кафедрой теоретической и прикладной физики НГАУ.

На протяжении сорока лет работы в НГАУ Анатолий Петрович постоянно занимается научно-исследовательской работой. Основное направление научных исследований было продиктовано жизнью: низкая коррозионная стойкость используемых материалов для полов и ограждающих конструкций животноводческих помещений требовали поиска новых нетрадиционных технических и технологических решений. Поэтому А.П. Пичугиным были разработаны научные основы и критерии оценки материалов по их диффузионным характеристикам и проницаемости. Это позволило создать целую гамму эффективных материалов на основе местного сырья и отходов производства, модифицированных полимерами, а также ряд проектных и конструктивных разработок по полам сельскохозяйственных производственных зданий, увеличив сроки службы с полутора-двух до пятнадцати — двадцати лет. Данные рекомендации внедрены в более ста двадцати организациях России и стран СНГ. Профессором Пичугиным организована научно-исследовательская лаборатория строительных материалов, в которой за прошедшие годы подготовлено двадцать две кандидатские и три докторские диссертации. В настоящее время Анатолий Петрович руководит научной работой четырех аспирантов и соискателей, а также двух докторантов.

А.П. Пичугин — автор более восьмисот научных трудов (в том числе тридцати трех книг и учебных пособий), тридцати авторских свидетельств и патентов на изобретение.

За большой вклад в науку, подготовку кадров и активную общественную деятельность доктор технических наук, профессор Пичугин Анатолий Петрович Указом Президента Российской Федерации удостоен почетного звания «Заслуженный работник высшей школы Российской Федерации». Кроме того, он имеет отраслевые звания — почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации, почетный работник агропромышленного комплекса Российской Федерации; является членом Союза писателей, членом Союза журналистов России.

Коллектив редакции и редакционного совета журнала «Строительные материалы»[®] поздравляет Анатолия Петровича Пичугина с юбилеем и желает крепкого здоровья, неиссякаемого оптимизма, семейного благополучия и успехов в его многогранной научной и творческой деятельности.

УДК 666.968:69.057

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-764-10-53-58>

А.Г. МИШИН, инженер, А.П. ПИЧУГИН, д-р техн. наук (gmunsau@mail.ru),
В.Ф. ХРИТАНКОВ, д-р техн. наук, А.С. ДЕНИСОВ, д-р техн. наук, А.Ю. КУДРЯШОВ, канд. техн. наук
Новосибирский государственный аграрный университет (630039, г. Новосибирск, ул. Добролюбова, 160)

Особенности устройства и технической эксплуатации мембранных кровель в Сибири

Рассмотрен опыт устройства и технической эксплуатации в суровых климатических условиях Сибири современного и высокотехнологичного вида кровли с применением ПВХ мембран, являющихся инновационным гидроизоляционным кровельным материалом, изготовленным на основе поливинилхлорида (PVC). Рассмотрены способы получения кровельных ковров сваркой рулонного материала специальным оборудованием. Опробовано три способа укладки ковров-мембран на крыши зданий. Выполнены работы по приведению к единообразию качественных показателей кровельных материалов по результатам ускоренных климатических испытаний. С учетом разработок ЦНИИпромзданий предложено принять эталонную предельную нагрузку, отражающую возможные реально действующие нагрузки на кровлю. Выполнены лабораторные испытания образцов вырезанных их кровельных ПВХ-мембран, примененных при устройстве кровельных покрытий после их эксплуатации в течение пяти и десяти лет. Приведен анализ результатов испытаний, показавших высокую эксплуатационную надежность ПВХ мембранных кровельных покрытий в условиях Сибири. С 2006 г. выполнено более 1 млн м² мембранных кровель в различных регионах Сибири.

Ключевые слова: кровля, гидроизоляция, ПВХ-мембрана, физико-механические показатели, дефекты кровельных материалов, долговечность, эксплуатационная надежность.

Для цитирования: Мишин А.Г., Пичугин А.П., Хританков В.Ф., Денисов А.С., Кудряшов А.Ю. Особенности устройства и технической эксплуатации мембранных кровель в Сибири // *Строительные материалы*. 2018. № 10. С. 53–58. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-764-10-53-58>

A.G. MISHIN, Engineer, A.P. PICHUGIN, Doctor of Sciences (Engineering) (gmunsau@mail.ru), V.F. KHRITANKOV, Doctor of Sciences (Engineering), A.S. DENISOV, Doctor of Sciences (Engineering), A.Yu. KUDRYASHOV, Candidate of Sciences (Engineering)
Novosibirsk State Agrarian University (160, Dobrolyubova Street, Novosibirsk, 630039, Russian Federation)

Features of Construction and Technical Operation of Membrane Roofs in Siberia

The experience in the construction and technical operation under the harsh climatic conditions of Siberia of the modern and high-tech type of roofing with the use of PVC membrane, which is an innovative water-proof roofing material produced on the basis of polyvinylchloride (PVC), is considered. Methods for producing roofing covers by welding of rolled material with special equipment are also considered. Three methods for laying membrane-carpets on the buildings roofs have been tested. The works on the harmonization of quality indicators of roofing materials with due regard for the results of accelerated climatic tests were carried out. Taking into account the developments of TSNIIpromzdany, it is proposed to accept the etalon ultimate load reflecting possible really acting loads on the roof. Laboratory tests of the samples cut out from their roofing PVC membranes applied when making roofing covers after their operation within five and ten years were executed. The analysis of the test results showing the high operational reliability of PVC membrane roofing under the Siberian conditions is presented. Since 2006, more than 1 million m² of membrane roofs have been made in various regions of Siberia.

Keywords: roof, waterproofing, PVC-membranes, physical and mechanical indicators, defects of roofing materials, durability, operational reliability.

For citation: Mishin A.G., Pichugin A.P., Khritankov V.F., Denisov A.S., Kudryashov A.Yu. Features of construction and technical operation of membrane roofs in Siberia. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 10, pp. 53–58. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-764-10-53-58> (In Russian).

Кровля – важнейший структурный элемент здания. От того, насколько качественно она сделана, зависит, будут ли условия внутри его достаточно комфортными, а использованные материалы, изделия и конструкции кровли долго служить в работоспособном состоянии. Поэтому при строительстве или ремонте необходимо особенно тщательно подходить к выбору материала для гидроизоляции крыш. Современные однослойные рулонные полимерные гидроизоляционные материалы стали широко применяться за рубежом с середины 1960-х гг., прежде всего для гидроизоляции крыш. Рулонные материалы сваривают внахлест с образованием больших полотнищ – ковров, позволяющих производить быструю укладку на крышу при выполнении ее гидроизоляции. Данные материалы в практике зарубежного и отечественного строительства получили название «кровельные гидроизоляционные мембраны». Их доля в общем объеме европейского рынка рулонных кровельных гидроизоляционных материалов постоянно увеличивается и составляет в настоящее время более 30%. Технологии производства полимерных мембран и устройства кровель с их применением постоянно развиваются, появляются новые материалы и конструктивные решения. Опыт применения, простота и технологичность монтажа, а также долговечность и разумная стоимость являются важнейшими преимуществами данного вида кровельных материалов, поэтому они стали интенсивно распространяться в России, в том числе и в Сибири [1–9, 15].

Задача данного исследования – тщательное изучение эксплуатации кровель с применением мембран, совершенствование технологии их производства и устройства кровли с помощью ПВХ-мембран с учетом сурового сибирского климата. В Европе полимерными мембранами гидроизолировано около 80% крыш, показавшими явное преимущество перед другими видами кровельных материалов. Мембранные кровли успешно применяются в сибирских регионах РФ [4–8, 15]. Такие мембраны обычно классифицируют по химическому составу применяемого материала и методу его производства. В зависимости от полимерной основы их разделяют на несколько типов, но три наиболее известных из них: ЭПДМ, ТПО и ПВХ [5–11].

ЭПДМ (международное обозначение этилен-пропилен-диен-мономера) мембраны на его основе – самый «старый» из полимерных кровельных материалов. Первые кровли, выполненные из него в США и Канаде, эксплуатируются уже более 40 лет [7–12].

ТПО-мембраны – это следующий по качеству за ПВХ-мембранами материал. Разработан и производится в США и Западной Европе с 1990 г., а в России стал применяться в конце 1990-х гг. Изготавливается на основе полипропилена или полиэтилена, более прочен и стоек к агрессивным средам. В качестве основы данного

типа мембран используют термопластичные полиолефины, армированные сеткой из полиэстера или стекловолокну [9–15].

Кровельные ПВХ-мембраны изготавливают из высококачественного эластичного поливинилхлорида – PVC; в России до 2000 г. он не получал такого распространения, как в западных странах, поскольку для его монтажа требуется специальное сварочное оборудование. Секретом долголетия такой мембранной кровли является наличие стабилизаторов в верхнем ее слое, защищающих от агрессивного воздействия окружающей среды, особенно от ультрафиолетового облучения, поэтому производители мембран снабжают их слоем специальных абсорберов, создающих барьер, препятствующий проникновению ультрафиолетовых лучей и разрушению материала. Преимуществом применения ПВХ-мембран является возможность производить работы практически в любое время года, что ускоряет процесс монтажа кровли. Выпускают ПВХ материал шириной 0,8–2 м, толщиной 1,2–2 мм и скатывают в рулоны. Гибкость на брусе радиусом 5 мм составляет не выше –50°C, группа горючести Г2. Рулонный материал сваривают с получением полимерного ковра – мембраны, которые укладывают на гидроизолируемую крышу. Средний прогнозируемый срок службы этого типа мембран составляет 25–30 лет, однако многие технологи и строители гарантируют эксплуатацию в течение 50 лет. В настоящее время кровлям из ПВХ-мембран отдается наибольшее предпочтение ввиду их экономической и технологической доступности [12–17].

В качестве достоинств можно отметить следующие преимущества мембран по сравнению с другими кровельными материалами [2–8]:

- простота монтажа и высокие темпы укладки;
- долговечность (устойчивы к агрессивной внешней среде);
- выдерживаемая температура до –50 – –60°C;
- высокая прочность покрытия с сохранением эластичности;
- паропроницаемость, исключающая появление влаги и скопление конденсата;
- возможность укладки на неровные поверхности, в том числе на старую кровлю;
- огнестойкость: мембраны из ПВХ являются негорючим материалом и отвечают нормам пожарной безопасности (группа горючести Г1).

Кроме очевидных преимуществ кровельные мембраны имеют и отрицательные свойства. Главным минусом является цена, превышающая стоимость других видов кровель, а также недостаточная прочность при точечном механическом воздействии [2–9].

Исследование российского рынка кровельных гидроизоляционных полимерных мембран, которые используют при ремонте, реконструкции и устройстве новых

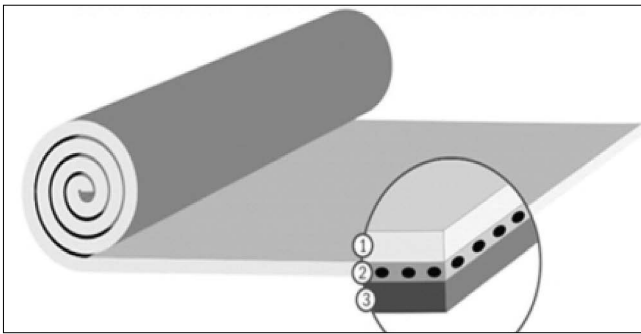


Рис. 1. Состав ПВХ-мембраны: 1 – армирующая сетка; 2 – нижний ПВХ-компонент; 3 – верхний слой ПВХ компонента



Рис. 2. Работа сварочного аппарата горячего воздуха Leister Varimat V2 (Варимат), используемого для сварки внахлест кровельных покрытий из ПВХ-мембран при движении «на себя»

кровель зданий, вызвано наметившимся ростом объема их применения, долговечностью таких кровель, высокой надежностью, стойкостью к перепадам температуры а также возможностью широкого спектра цветовых решений предлагаемых мембран. Объем рынка полимерных мембран в России в 2016 г. составил около 9 млрд р., что свидетельствует о популярности данного вида кровельного материала. В структуре объема рынка полимерных мембран в натуральном выражении основную долю занимают ПВХ-мембраны – более 75%. Это – однослойная кровля, производится из эластичного поливинилхлорида, а отдельные полотнища, свариваемые горячим воздухом, закрепляют любым доступным способом (рис. 1, 2).

Устройство кровель из полимерных мембран технологично, доступно и просто. Современные технологии позволяют создавать также и эксплуатируемые кровли (рис. 3, 4). Отработано три способа устройства кровли из полимерных мембран: механически закрепляемая система, полностью приклеенная и балластная системы [4–8].

В первом случае устройство кровли из полимерных мембран применяется, когда полностью исключается возможность использования балластной системы (скатная кровля, невозможность дополнительной нагрузки на несущие конструкции, неорганизованные сливы, отсутствие парапетов и т. д.). Такая система позволяет использовать широкие полотнища мембран, свободно укладываемые поверх соответствующего основания, и требует дополнительно повышать прочность швов [4–8].

Способ полностью приклеенной мембранной кровли рационален на кровлях со сложными очертаниями, большим уклоном, ограниченной несущей способностью, при высоких значениях ветровых нагрузок. Мембраны крепятся к основанию с помощью монтажного клея. При этом качество зависит от вида клея, состояния и подготовки основания под кровлю [5–9].

Балластная система для плоских кровель является самой экономичной и универсальной. В этом случае



Рис. 3. Устройство теплоизоляции по подкладочному слою перед настлом полимерного кровельного покрытия из ПВХ-мембран (г. Барнаул, ТЦ «Европа»; площадь поверхности 13500 м²)



Рис. 4. Производство кровельных работ по устройству покрытия из ПВХ-мембраны в период монтажа (г. Омск, торговый центр; площадь поверхности 17200 м²)

сваренное по стыкам мембранное покрытие закрепляют только по периметру и местам примыканий, а на поверхности основания оно удерживается с помощью балласта: гальки, гравия, бетонных блоков или тротуарной плитки, например для террас и балконов. Балластная система является предпочтительным техническим решением для бетонных оснований и при ремонте старых кровель без съема старого кровельного покрытия [4–8].

Авторами было использовано три способа закрепления полимерной мембранной кровли, однако во всех случаях для сваривания покрытия в стыках мембранных полотнищ применяли сварочные аппараты горячего воздуха швейцарской компании Лейстер (Leister) (рис. 2), которая в настоящее время является лидером в области оборудования, предназначенного для сварки пластика и ПВХ-мембран с использованием подачи горячего воздуха. Наиболее известные виды сварочного оборудования: Триак, Гибли, Униплан, Weldmax (Велдмакс), Варимат, Weldplast (Велдпласт). Ассортимент производителя предлагает выбор оборудования от универсальных ручных инструментов (фен Leister) до промышленных аппаратов для сварки и систем промышленного сваривания. Все оборудование для сварки этой фирмы отличается высокой производительностью, надежностью и безотказной многолетней эксплуатацией. Используемые авторами сварочные аппараты горячего воздуха компании Лейстер (Leister) позволяли в автоматическом режиме благодаря терморегулирующей системе поддерживать оптимальную температуру для нагрева полимерных полотнищ в соответствии с климатическими условиями на время работы (скорость ветра, показатели температуры, влажность и т. п.). Контактный шов свариваемых мембран варьировали в пределах 40–45 мм



Рис. 5. Внешний вид эксплуатируемой кровли из ПВХ-мембраны (г. Новосибирск, торговый центр «Лента»; площадь поверхности 11000 м²)

при температуре теплоносителя 450–550°С и средней скорости движения агрегата 3–6 м/мин в зависимости от параметров материала и условий выполнения работ. Производительность около 1000–1200 м² покрытия в смену. Удлиненная сварочная насадка и увеличенный расход воздуха позволяют повысить производительность автомата почти в два раза по сравнению с ранее выпускаемыми агрегатами (рис. 2). Для удобства и контроля на дисплее аппарата дополнительно отображаются параметры проведения работ с показателями заданных и реальных значений скорости и температуры сварки, напряжения в сети и длины сваренного шва.

Рядом проектных и научных организаций приняты меры по приведению к однообразию качественных показателей кровельных материалов с учетом использования результатов ускоренных климатических испытаний, проведенных в ЦНИИПромзданий для большинства импортируемых и выпускаемых в России кровельных материалов, в том числе и на основе полимеров. Предлагается принять в качестве эталонной средней предельной нагрузки 5000 Н/м (5 кг/см²) как постоянную величину, отражающую возможные реально действующие на кровлю нагрузки. Указанное обосновывается усилием на разрыв 1 см четырехслой-

Таблица 1
Сравнительные характеристики рулонных кровельных материалов

Механические показатели	Полимер-битумный	ПВХ-мембрана
Прочность фактическая, МПа, по ГОСТ 30547–97	1,75–2,15	6–10
Толщина, мм	1,5–2,5	1,2–1,8
Условная прочность, МПа	3,83–8,21	6–11,5
Относительное удлинение, %	230–290	200–350
Гибкость по ГОСТ 30547–97	R = 15 мм, t = +10°С	R = 5 мм, t = -60°С
Расчетный срок службы, лет	10–20	35–40

ного рубероидного кровельного ковра. Идентичность определяющих физико-механических показателей свойств рулонных кровельных материалов позволяет сравнить качество разных групп таких материалов. Из табл. 1 видно преимущество полимерного кровельного материала мембраны по сравнению с полимербитумным. Учитывая, что стоимость работ и наплавляемых полимербитумных материалов сегодня сравнимы, показатель цена–качество явно предполагает приоритет выбора полимерных кровельных материалов, так как увеличенный срок службы кровли на их основе является значительным преимуществом [14–17].

В соответствии с принятыми рекомендациями были проведены лабораторные испытания образцов, вырезанных из ПВХ-мембран, использованных при возведении и реконструкции различных зданий и сооружений в сибирских регионах – Новосибирской, Кемеровской, Омской областей и в Алтайском крае. С 2006 г. накоплен богатый опыт в тонкостях технологии кровельных строительных процессов работы с ПВХ-мембранами и устройства кровель на их основе, выполнено более 1 млн м² мембранных кровель, качество которых соответствует требованиям системы международного менеджмента качества и ГОСТ Р ИСО 9001–2008. Как основные объекты были представлены жилые здания, торговые комплексы, здания аэровокзалов (новое строительство, реконструкция и ремонт), складские комплексы различного назначения и другие объекты (рис. 3–5).

Таблица 2
Изменение средних значений параметров ПВХ-мембран в ходе эксплуатации

Показатели	Контрольные образцы	После 5 лет эксплуатации	После 10 лет эксплуатации
Толщина, мм	1,51–1,53	1,46–1,49	1,38–1,44
Масса, кг/м ²	1,61–1,63	1,60–1,61	1,54–1,57
Теплостойкость, °С	80–85	80–83	78–80
Водопоглощение за 24 ч, мас. %	0,08–0,1	0,09–0,12	0,14–0,23
Водонепроницаемость, ч	Не менее 72	Не менее 72	Не менее 72
Максимальное разрушающее напряжение, МПа	12,3–17,2	11,6–16,5	9,1–14,4
Условная прочность при растяжении, МПа	7,7–9,6	6,8–7,4	5,6–6,9
Ударная прочность по ГОСТ 131897–2011, мм	830–850	820–840	760–780
Относительное удлинение, %	325–345	305–325	295–312
Удлинение при разрыве, %	170–188	162–174	130–138
Гибкость – отсутствие трещин на брусе r-5 мм при t, °С	-59 – -62	-57 – -59	-53 – -56
Группа горючести	Г2	Г2	Г2

В Европе за десятки лет применения «тонких» полимерных мембран на кровле пришли к пониманию, что оптимальная толщина этих материалов должна быть 1,2–1,5 мм. Более 80% продаваемых в Европе мембран из ПВХ имеет толщину 1,5 мм и выше (по данным АМІ Consulting за 2011 г.). Мировой опыт в области кровельных материалов считает возможным использовать пятибалльную систему оценки: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «достаточно для эксплуатации» и «неудовлетворительно» [14–17].

Рядом исследователей показано отличие свойств между тонкими и утолщенными кровельными покрытиями из ПВХ. Кровельные покрытия толщиной менее 1,5 мм можно отнести к удовлетворительной (42–44%), достаточной для эксплуатации (45–50%) и неудовлетворительной (6–13%) областям качества. Кровельные покрытия толщиной $\geq 1,5$ мм находятся по большей части в отличной (18–22%), хорошей (37–40%) и удовлетворительной (22–27%) областях качества. Поэтому авторами были максимально использованы мембраны толщиной 1,5–2 мм, отвечающие требованиям повышенной прочности и долговечности. Из каждой партии кровельных материалов отбирали образцы для хранения (контрольные) и для испытания в различных условиях, в том числе и на специальных стендах для натуральных испытаний на старение под действием атмосферных условий [14, 15].

В результате проведенных исследований установлены качественные характеристики ПВХ-мембранных покрытий, эксплуатируемых в течение 5–10 лет в условиях сибирских регионов (табл. 2).

Анализ приведенных результатов испытания мембранной кровли, эксплуатирующейся в течение пяти и десяти лет, показал следующее.

За пять лет эксплуатации толщина мембранного покрытия уменьшилась в среднем на 0,035 мм (интервал значений 0,02–0,07 мм). При этом уменьшение средней массы покрытия составило не более 10–15 г/м². Следует отметить, что абсолютное большинство характеристик ПВХ-мембраны почти не изменилось. Остались на начальном уровне показатели водонепроницаемости, водопоглощения, теплостойкости, прочности и эластичности. Все это свидетельствует о высокой эксплуатационной надежности ПВХ-мембранных кровельных покрытий в условиях Сибири (рис. 4).

Испытания отобранных образцов после эксплуатации в течение десяти лет выявили некоторое снижение качественных характеристик ПВХ-мембран. Заметно снизилась средняя толщина пленки – с 1,51 мм кон-

трольных экземпляров до 1,41 мм для эксплуатируемых покрытий. При этом уменьшилась средняя масса покрытия с 1,62 до 1,56 кг/м², что свидетельствует о некотором износе защитного покрытия. В то же время большинство важных эксплуатационных показателей не претерпело существенных изменений. Так, ударная прочность, определенная по ГОСТ 131897–2011 путем сбрасывания груза сферической формы массой 500 г с определенной высоты (в мм), показала лишь незначительное ее снижение во времени. Отмечены высокие показатели водостойкости и водонепроницаемости, эластичности и сопротивления воздействию отрицательных значений температуры [14–18].

В соответствии с рекомендациями по прогнозированию долговечности полимерных кровельных материалов можно предположить: исследуемые ПВХ-мембранные покрытия, простоявшие под воздействием реальных климатических факторов более десяти лет, имеющие уменьшение толщины материала в среднем в пределах 0,1–0,12 мм и потерю прочности в пределах 10–15% при незначительном снижении эластичности, могут быть надежными в эксплуатации еще как минимум в течение 20–25 лет [14].

Таким образом, на основании десятилетнего опыта устройства и эксплуатации полимерных мембранных кровельных покрытий можно сделать следующие выводы.

Полимерные ПВХ-мембраны можно считать оптимальным вариантом также и для эксплуатируемых кровель в условиях сибирских регионов, что подтверждается незначительным снижением за наблюдаемый период первоначальных показателей водостойкости, водонепроницаемости, эластичности и прочности.

Благодаря современным технологиям, позволяющим применять более качественные гидроизоляционные покрытия, а также обеспечивающим высокое качество монтажных работ по кровле, можно повысить срок ее службы и добиться гарантированной защиты и сохранности зданий от атмосферных осадков.

У ПВХ-мембран группа горючести Г1 или Г2 в зависимости от вида теплоизоляции и основания в отличие от более известных битуминозных материалов, которые относятся к группе Г4 [18].

Полимерные мембраны выгодно использовать при строительстве зданий, рассчитанных на долгий и безремонтный срок службы, затраты на незапланированный ремонт которых будут очень высоки, а также для кровель больших площадей. Для таких объектов и предназначены полимерные мембраны, которые в данном случае будут экономически оправданны.

Список литературы

1. Воронин А.М., Шитов А.А. Кровли из эффективных наплавленных битумно-полимерных материалов // *Промышленное и гражданское строительство*. 1996. № 6. С. 44–45.
2. Левин А.Ф., Серебренникова Н.Д. Полимерные кровельные материалы и кровли // *Строительные материалы*. 2006. № 5. С. 10–11.
3. Лукинский О.А. Плоские кровли: достоинства и недостатки // *Строительные материалы*. 2006. № 5. С. 6–8.
4. Поваляев М.И., Воронин А.М., Андреева Г.Н., Михайлова О.К. Повышение надежности кровель // *Строительные материалы*. 1982. № 5. С. 23–25.
5. Summari. Durability of Derbigum roofs in practice, 1995.
6. Гуца Е.В. Уникальные конструкции кровли с полимерными материалами компании Sika // *Строительные материалы*. 2008. № 6. С. 10–12.
7. Шульженко Ю.П. К вопросу о долговечности кровель // *Строительные материалы*. 2003. № 12. С. 4–6.

References

1. Voronin A.M., Shitov A.A. Roofs of effective deposited bituminous polymer materials. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 1996. No. 6, pp. 44–45. (In Russian).
2. Levin A.F., Serebrennikova N.D. Polymeric roofing materials and roofing. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2006. No. 5, pp. 10–11. (In Russian).
3. Lukinskiy O.A. Flat roofs: the advantages and disadvantages. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2006. No. 5, pp. 6–8. (In Russian).
4. Povalyayev M.I., Voronin A.M., Andreeva G.N., Mikhailova O.K. Improved reliability roofs. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 1982. No. 5, pp. 23–25. (In Russian).
5. Summari. Durability of Derbigum roofs in practice, 1995.
6. Hushcha E.V. Unique roof structures with polymer materials from Sika. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2008. No. 6, pp. 10–12. (In Russian).
7. Shul'zhenko Y.P. To a question about the durability of roofs. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2003. No. 12, pp. 4–6. (In Russian).

8. Зельманович Я.И., Могилевский В.Д. Полифункциональный рулонный материал: дренаж, гидро-, тепло-, звукоизоляция «в одном флаконе» // *Строительные материалы*. 2010. № 5. С. 41–44.
9. Артамонова Т.А., Савченкова Г.А. Герметизация кровли герметиками серии Абрис // *Строительные материалы*. 2008. № 6. С. 13–14.
10. Wolfgang Ernst Dachab dicht ung Dachbe grü n ung. Teil VI. Auflage. 2009. 178 s.
11. ПЛАСТФОИЛ® – надежное и экономичное решение для гидроизоляции кровель // *Строительные материалы*. 2010. № 4. С. 82–83.
12. Зернов А.Е. Надежность плоской кровли // *Строительные материалы*. 2006. № 5. С. 13–14.
13. Яланский Я.В. Сибирская кровля – новое решение проблемы надежности // *Строительные материалы*. 2008. № 9. С. 10–12.
14. Гранев В.В., Воронин А.М., Шитов А.А. Лабораторные испытания полимерных кровельных мембран. М.: ЦНИИпромзданий, 2010. 32 с.
15. Серебренникова Н.Д., Бояринов С.И., Федотов С.И. Влияние воздействия ультрафиолетового облучения и циклических воздействий температуры на долговечность полимерных микропористых материалов для строительства кровельных и стеновых конструкций // *Строительные материалы*. 2014. № 3. С. 53–55.
16. Полозюк В.В. О долговечности кровельных материалов. ЗАО «Поликром» // *Кровля*. 2014. № 3. С. 12–24.
17. Загородникова М.А., Ярцев В.П. Прогнозирование долговечности гидроизоляционных кровельных мембран на основе поливинилхлорида // *Academia. Архитектура и строительство*. 2015. № 3. С. 139–141.
18. Константинова Н.И., Вебер К., Афанасьева Г.В., Норберт Ф. Исследование пожарной безопасности гидроветрозащитных мембран для ограждающих конструкций // *Строительные материалы*. 2014. № 11. С. 21–24.
8. Zelmanovich Ya.I., Mogilevskiy V.D. Multifunctional roll material: drainage, hydro-, heat-, sound proofing in “one bottle”. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2010. No. 5, pp. 41–44. (In Russian).
9. Artamonova T.A., Savchenkova G.A. Sealing roofing sealants series Abris. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2008. No. 6, pp. 13–14. (In Russian).
10. Ernst W. Waterproofing and greening of roofs. Part VI. Edition 2009. 178 p.
11. ПЛАСТФОИЛ® – the reliable and economic decision for waterproofing of roofs. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2010. No. 4, pp. 82–83. (In Russian).
12. Zernov A.E. Reliable flat roof. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2006. No. 5, pp. 13–14. (In Russian).
13. Yalansky Ya.V. Siberian roof – a new solution to the reliability problem. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2008. No. 9, pp. 10–12. (In Russian).
14. Granev V.V., Voronin A.M., Shitov A.A. Laboratornye ispytaniya polimernyh krovel'nyh membran [Laboratory testing of polymeric roofing membranes]. Moscow: TsNIIpromzdany. 2010. 32 p.
15. Serebrennikova N.D., Boyarinov S.I., Fedotov S.I. The impact of exposure to ultraviolet radiation and cyclical influences of temperature on the durability of microporous polymeric materials for construction of roofing and wall structures. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 3, pp. 53–55. (In Russian).
16. Polozyuk V.V. About longevity of roofing materials. ЗАО «Polikrom». *Roofing*. 2014. No. 3, pp. 12–24. (In Russian).
17. Zagorodnikova M.A., Yartsev V.P. Predicting the durability of waterproofing roofing membranes based on polyvinyl chloride. *Academia. Architecture and Construction*. 2015. No. 3, pp. 139–141. (In Russian).
18. Konstantinova N.I., Weber K., Afanasyeva G.V., Norbert F. Research in Fire Safety of Hydro-Windproof Membranes for Enclosing Structures. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 11, pp. 21–24. (In Russian).

22–25 января 2019 | Красноярск

**ПРИГЛАШАЕМ ПРИНЯТЬ УЧАСТИЕ В
XXVII СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ ВЫСТАВКЕ**

СТРОИТЕЛЬСТВО АРХИТЕКТУРА

**ВЕДУЩАЯ СТРОИТЕЛЬНАЯ И ИНТЕРЬЕРНАЯ ВЫСТАВКА
СИБИРИ И ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА**

Совместно с выставкой строительной и складской техники

«ТехСтройЭкспо. Дороги»

Итоги 2018:

5 146 посетителей, **3 320** специалистов отрасли,
1 700 компаний.

175 экспонентов из России, Китая, Южной Кореи,
Беларуси.

Официальная поддержка:



Организатор:



МВДЦ «Сибирь», ул. Авиаторов, 19
тел.: (391) 200-44-00
www.krasfair.ru

0+

РЕКЛАМА

УДК 539.2

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-764-10-59-63>

ВЭЙЛ АЛЬ-РИФАЙЕ¹, профессор гражданского строительства (wnrifaie@yahoo.com);
 ОМАР МАХДИ², научный сотрудник; ВАЛИД К. АХМЕД³, научный сотрудник

¹ Филадельфийский университет (19392, Иордания)

² Инженерный колледж, Университет Тикрита (Тикрит, 042, Ирак)

³ Университет Объединенных Арабских Эмиратов (AD, Al Ain, 15551, ОАЭ)

Нано-ферроцемент в строительстве

В данном исследовании анализируется прочность при изгибе очень тонкого ферро-цементного элемента с использованием нано-цементного раствора, разработанного авторами для замены обычного цементного раствора, используемого в армоцементном строительстве. Ферроцемент (армоцемент) – прекрасный строительный материал благодаря его механическим свойствам и низкой стоимости, он имеет очень высокую прочность на растяжение к весовому соотношению и превосходную трещиностойкость по сравнению с железобетоном. Следовательно, ферроцемент – привлекательный материал для строительства оболочек, складчатых покрытий, ребристых плит и компонентов жилища. В целом были отлиты и испытаны 108 призмобразных образцов 500×50 мм, переменной толщины и с рядом слоев проволочной сетки в качестве армирования. Образцы были подвергнуты лучистому нагреву после 28 дней твердения. Измеренные величины показывают увеличение прочности при изгибе очень тонкого ферро-цементного конструктивного элемента при использовании разработанного нано-цементного раствора. В дополнение предлагаются эмпирические выражения для предсказания прогибов в середине пролета и модули эластичности ферро-цементных (армоцементных) призм.

Ключевые слова: ферро-цемент, нано-материалы, «зеленые» здания, предел прочности при разрыве, строительство, излучатель (источник излучения).

Для цитирования: Вэйл Аль-Рифаие, Омар Махди, Валид К. Ахмед. Нано-ферроцемент в строительстве // *Строительные материалы*. 2018. № 10. С. 59–63. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-764-10-59-63>

WAIL N. AL-RIFAIE¹, Professor of Civil Engineering (wnrifaie@yahoo.com); OMAR M. MAHDI², Research Scholar; WALEED K. AHMED³, Research fellow

¹ Philadelphia University (19392, Jordan)

² College of Engineering, University of Tikrit (Tikrit, 042, Iraq)

³ United Arab Emirates University (AD, Al Ain, 15551, UAE)

Nano Ferrocement in Building System Construction

The present research examined the flexural strength of a very thin ferrocement element by using Nano cement mortar developed by the authors as a replacement to the normal cement mortar usually used in ferrocement construction. Ferrocement is an excellent construction material due to its mechanical properties, and low cost, and has a very high tensile strength to weight ratio and superior cracking behavior in comparison to reinforced concrete. Hence, ferrocement is an attractive material for construction of shell, folded plate, ribbed slab and housing components. A total of 108 prism specimens 500×50 mm, varying thickness of specimens and number of wire mesh layers as reinforcements were cast and tested. The specimens were subjected to a radiant heating after 28 curing days. The measured values demonstrate the increase in flexural strength of a very thin ferrocement structural element using the developed Nano cement mortar. In addition empirical expressions to predict mid-span deflections and modulus of elasticity of ferrocement prisms are proposed.

Keywords: ferrocement, nano-materials, green buildings, modulus of rupture, construction, radiant.

For citation: Wail N. Al-Rifaie, Omar M. Mahdi, Waleed K. Ahmed. Nano ferrocement in building system construction. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 10, pp. 59–63. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-764-10-59-63>

Введение / Introduction

Concrete is one of the essential elements that used in different types of construction, but it has many problems when interacts with environmental such as water, air, temperature, dust and humidity. Concrete made with Portland cement, coarse aggregate, fine aggregate and water which mixed together and admixtures added sometimes to change some of properties. It is a fact that cement industries is an energy intensive process and represents 7% of worldwide energy consumption and 4% of worldwide industrial CO₂ emissions. Concrete has certain characteristics; relatively strong in compression but weak in tension and tends to be brittle. These disadvantages make concrete limited to use in certain conditions. The most common problems appears on concrete are manifested by tearing, cracking, corrosion and spalling, which may lead to some defect in concrete then in the whole construction.

Ferrocement [1–3] is a type of thin reinforced concrete with great potential, made of cement–sand mortar and reinforced with layers of fine wire meshes with skeletal reinforcement. Ferrocement is an excellent construction material due to its mechanical properties, and low cost, and it is considered to possess a high cracking strength. Cement

mortar is a material used in construction of ferrocement which is cement composite material made up of Portland cement, sand, water and sometimes admixtures.

Nowadays, nano material has been used extensively worldwide to improve the properties of the materials due to many advantages that can be achieved.

The present work investigate the use of Nano cement mortar as developed by authors which may lead to improvements in the performance of ferrocement for the construction of green buildings, folded roofs, domes or to be the replacement to the materials needed for example, for strengthening or rehabilitation of pipe lines for pressurized pipes rather than using polymeric composite materials, construct poles for lighting and wind turbine, manufacturing under water turbine blades and even impellers, and anti-bullet protective panels or even anti explosion sheets used in trucks.

Используемые материалы / Experimental

The *materials* used in the present work may be summarized as follows [4]:

- Cement:** Micro Portland cement sulphate resistance, conforming ASTM C150 type II, particle size 45–0.7 μm.
- Sand:** Micro sand 300–75 μm, conforming ASTM C33.

Таблица 1
Table 1

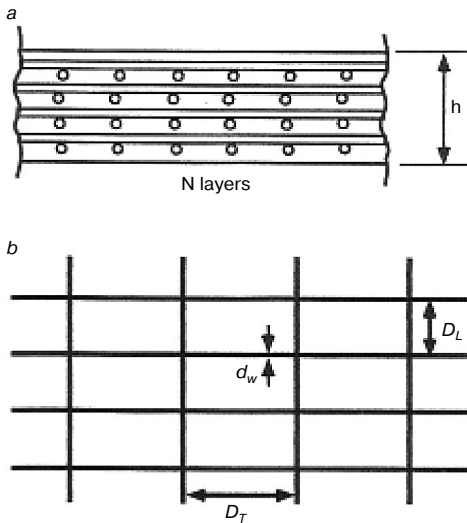


Рис. 1. а – типичная секция ферроцемента; б – размеры, используемые для квадратной / прямоугольной сетки

Fig. 1. a – typical ferrocement section; b – dimensions used for square/rectangular wire mesh

Химические свойства цемента
Chemical properties of cement

Показатель Item	Стандартное значение, max % Standard, max %	Значение для цемента, используемого в данной работе Cement used in the present work
Magnesium oxide (MgO)	6	–
C ₃ A	8	3
Sulfur trioxide (SO ₃)	3.5	1
Loss on ignition	4	0.92
Insoluble Residue	0.75	0.7

Таблица 2
Table 2

Прочность при сжатии и время схватывания цемента
Compressive strength and setting time of cement

Показатель Item	Стандартное значение, max % Standard, max %	Значение для цемента, используемого в данной работе Cement used in the present work
Compressive strength, 3 days, MPa	15	23
Time of setting, not less then	45	55

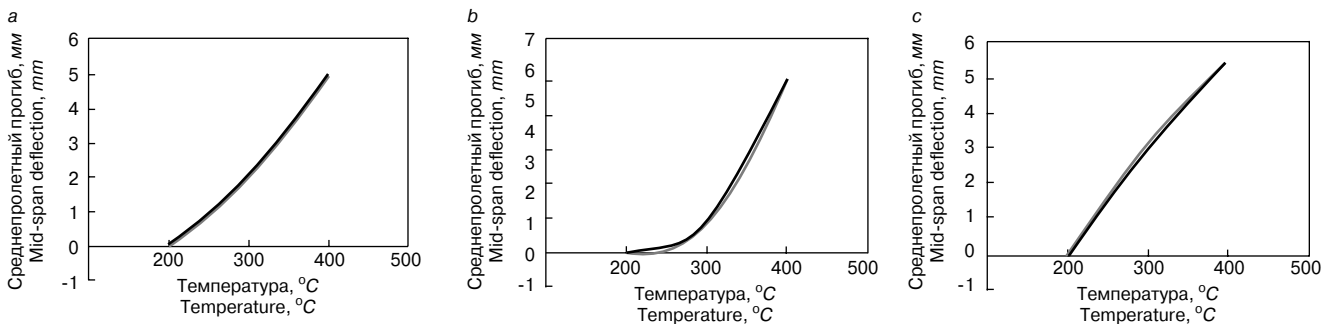


Рис. 2. Зависимость прогиба от температуры: а – балка 500×50×6 мм с четырьмя слоями проволочной сетки; б – балка 500×50×5 мм с четырьмя слоями проволочной сетки; с – балка 500×50×4 мм с двумя слоями проволочной сетки; — — — — измеренные значения; — — — — теоретически рассчитанные значения

Fig. 2. Deflections–Temperature relationship: a – beam (500×50×6 mm), 4-wire mesh layers; b – beam (500×50×5 mm), 4-wire mesh layers; c – beam (500×50×4 mm), 2-wire mesh layers; — — — — measured values; — — — — proposed expression values

- c. **Silica:** Nano silica 500–100 μm, it contents particles less than 40 μm. the chemical composition is given in Table 1.
- d. **Clay:** Developed nano clay 200–3 μm. Table 2 gives the chemical composition obtained by burning the choline clay up to 700°C. The chemical composition is given in Table 3.
- e. **Naphthalene sulphonate** used as super-plasticizers, high rang water reducing according to ASTM C494. Table 4 gives the general specification of this material.
- f. **Wire mesh:** welded square mesh used in the present work had an average wire diameter and aperture of 0.5 mm and 12×12 mm respectively. The yield strength f_y , elastic modulus E_w , and ultimate tensile strength f_u , were obtained using direct tensile tests. The test was conducted on wire mesh according to ACI-Code 549. The average values of modulus of elasticity (E_w), upper yield stress (f_y), and ultimate tensile stress (f_{ult}) of wire mesh are 66100 MPa, 440.7 MPa, and 488.9 MPa respectively. The chemical properties are tabulated in Table 5.
- g. **Water:** Tap water was used in mixing and curing all cement mortar mixture considered in the present investigation. By adding naphthalene sulphonate to the mortar mixture, the water: cement ratio may be reduced

according to ACI-234 which is stated that by adding nano silica fume or nano clay to the Portland sulphate resistance cement, water: cement ratio must not greater than 36%. So that the water was reduced by 6%, hence the water: cement ratio will be 34% and may be noted that water: cement ratio used to the reference mixture was 40%.

The nano cement mortar consists of micro sand/ micro cement ratio 1.5/1, with 18% nano clay as developed by the authors, 10% Nano silica fume, and 1.4% naphthalene sulphonate, with water: cement (w/c) ratio = 0.34. It may be noted that 18% of micro cement is replaced by 18% of the developed nano clay.

Испытания /
Testing procedure

Flexural strength (Modulus of rupture). A total of 108 beam specimens 500×50×6 varying the depth d mm and number of wire mesh layers were cast. The specimens were subjected to a radiant heating after 28 curing days prior to three point testing to determine the flexural strength (f_r) using testing frame coupled to a computer for controlling loading rates with a capacity of 150 kN. The testing span is 400 mm. It may be noted that the volume fraction V_f remain same for all beam

Таблица 3
Table 3

Химический состав нанокремнезема
Chemical composition of nano silica

Химический состав Chemical composition	Содержание, % Contents, %
Silicon dioxide, SiO ₂	94.3
Aluminum oxide, Al ₂ O ₃	0.06
Ferric oxide, Fe ₂ O ₃	0.46
Calcium oxide, CaO	0.51
Titanium	2.31
Loss on ignition	2.25

Таблица 4
Table 4

Chemical composition of the developed nano clay
Химический состав разработанной наноглины

Химический состав Chemical composition	Содержание, % Contents, %
Silicon dioxide, SiO ₂	49.87
Aluminum oxide, Al ₂ O ₃	32.11
Ferric oxide, Fe ₂ O ₃	8.78
Calcium oxide, CaO	0.34
Titanium	1.45
MgO	0.25
K ₂ O	0.81
Na ₂ O	0.77
Loss on ignition	0.66

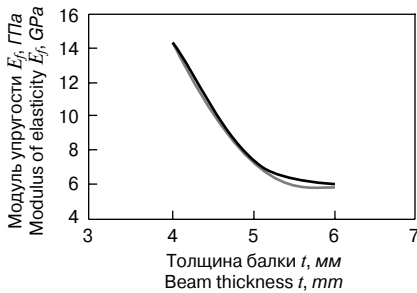


Рис. 3. Зависимость модуля упругости E_f нанопероцемента от толщины образцов: — — измеренные значения; - - - теоретически рассчитанные значения

Fig. 3. Modulus of elasticity E_f - beam thickness relationship: — — measured values; - - - proposed expression values

Таблица 5
Table 5
Химические свойства проволочной сетки
Chemical properties of wire mesh

Элемент Element	Fe	Cr	Cu	Mn	Ni	C	S	Si
Содержание, % Contents, %	99.4429	0.009	0.045	0.385	0.036	0.0536	0.0187	0.0098

Table 6
Таблица 6

Прогибы балок размером 500×50×6 мм с 4-мя слоями проволочной сетки при нагрузке и нагреве
Deflections of beam specimens 500×50×6 mm with 4-layers of wire mesh due to applied loads and heating

Температура, °C Temperature, °C	Напряжение при изгибе, МПа Flexural stress f_r at 1 st cracking load, МПа	Измеренное отклонение, δ мм Measured deflection, δ mm
17*	12.5	25
100	15.2	18
200	15.2	20
300	15.2	22
400	12.5	17
500	Failure	

* Room temperature.

Table 7
Таблица 7

Прогибы балок размером 500×50×5 мм с 4-мя слоями проволочной сетки при нагрузке и нагреве
Deflections of beam 500×50×5 mm with 4-layers of wire mesh due to applied loads and heating

Температура, °C Temperature, °C	Напряжение при изгибе, МПа Flexural stress f_r at 1 st cracking load, МПа	Измеренное отклонение, δ мм Measured deflection, δ mm
17*	12.5	25
100	15.2	19
200	15.2	23
300	15.2	22
400	12.5	15
500	Failure	

* Room temperature.

specimens. The results of (f_r) are given in Tables 6 and 7. It may be noted that each value of flexural strength is the average of 6 specimens.

The moment of elasticity for the nano cement mortar developed in reference [4] is determined using the following expression:

$$E_c = 4.222 (\sqrt{f_{cu}}), \text{ GPa}$$

Hence, $n = E_s / E_c$

By using the same square or rectangular wire mesh throughout the depth of a ferrocement element, the total

volume fraction of reinforcement is calculated from the following equation, Fig. 1, a, b.

$$V_f = \frac{N\pi d_w^2}{4h} \left[\frac{1}{D_L} + \frac{1}{D_T} \right]$$

where: N = number of layers of mesh; π = 3.14; d_w = diameter of mesh wire; D_L = distance center to center between longitudinal wires; D_T = distance center to center between transverse wires; h = thickness of ferrocement element.

Таблица 8
Table 8

Прогибы балок размером 500×50×4 мм с 2-мя слоями проволочной сетки при нагрузке и нагреве
Deflections of beam 500×50×4 mm with 2-layers of wire mesh due to applied loads and heating

Температура, °C Temperature, °C	Напряжение при изгибе, МПа Flexural stress f_r at 1 st cracking load, МПа	Измеренное отклонение, δ мм Measured deflection, δ mm
17*	12.5	25
100	14.33	19
200	14.33	23
300	14.33	22
400	10.98	15
500	Failure	

* Room temperature.

The composite moment of inertia ($I_{com.}$), composite modulus of elasticity ($E_{com.}$), and section modulus (S) of the ferrocement beam cross section are determined from the following expressions:

$$I_{com.} = \frac{bh^3}{12} + (n-1) \sum_{j=1}^N A_{sj} \cdot (d_j)^2, \text{ mm}^4$$

$$E_{com.} = \frac{P \cdot L^3}{48 \cdot \Delta \cdot I}, \text{ GPa}$$

$$S = \frac{I_{com.}}{\left(\frac{h}{2}\right)}$$

where: b – beam width, mm; h – beam thickness, mm; n – modular ratio (E_s/E_c); N – number of wire mesh layers;

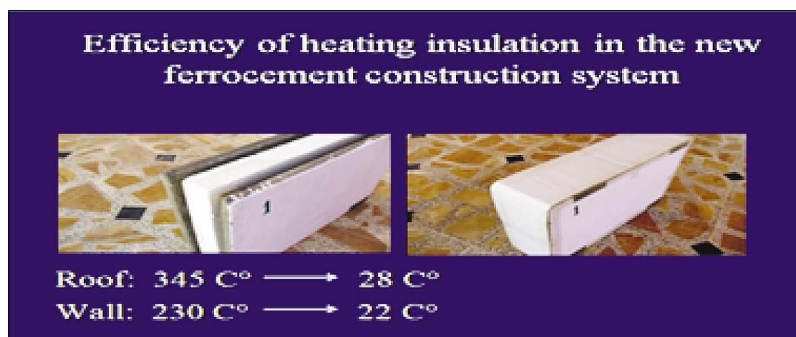


Рис. 4. Пример строительной конструкции из ферроцемента
Fig. 4. Ferrocement construction system

A_{sj} – area of steel mesh layer j , mm²; d_j – distance from neutral axis of the beam cross section to the mesh layer j , mm; P – point load applied at mid span, N ; Δ – measured vertical deflection at mid span due to P , mm.

The cracking moment (M_{cr}) and cracking modulus of rupture (f_{cr}) are determined using the following equations:

$$M_{cr} = P_{cr} \cdot \frac{L}{4}$$

$$f_{r.com.} = \frac{M_{cr}}{S}$$

It may be noted that the volume fraction $V_f=11.225\%$ is same for all beam specimens tested, Hence, number of wire mesh layers depending upon the above value of volume fraction.

Результаты и обсуждение /
Results and discussions

All beam specimens were subjected to a radiant heating after 28 curing days prior to three point testing on the basis of ASTM-C 293-94 to measure the mid span deflections (Δ) using the testing frame coupled to a computer for controlling loading rates with a capacity of 150 kN. The composite modulus of elasticity, $E_{com.}$, and modulus of rupture (flexural strength), $f_{com.}$, may then be determined.

The mid-span deflection, mm vs. heating temperature, C° are plotted in Figs. 2. It may be stated that each value of the results is the average of six measured values. By using regression technique, empirical expressions for estimating the mid span deflection in terms of temperature are proposed.

1. Mid-span deflections of beams due to heating:

- Beam 500×50×6 mm with 4-wire mesh layers (fig. 2, a). The expression for estimating mid-span deflection in mm is: $\delta = 0.00005(T)^2 - 0.005(T) - 1$;
- Beam 500×50×5 mm with 4-wire mesh layers (fig. 2, b). The expression for estimating mid-span deflection in mm is: $\delta = 0.0002(T)^2 - 0.09(T) + 10$;
- Beam 500×50×4 mm with 2-wire mesh layers (fig. 2, c). The expression for estimating mid-span deflection in mm is: $\delta = 7.7648 \ln(T) - 41.148$.

2. Mid-span deflections of beams due to applied loading and heating, Tables 6, 7 and 8.

It may be seen that the deflections of ferrocement beam specimens are not affected by heating below 200°C and complete failure occurred when the temperature exceed 400°C. In Fig. 3, the modulus of elasticity of nano ferrocement specimens vs. specimen's thickness is plotted and an empirical expression is proposed.

The expression for estimating the modulus of elasticity E_f , GPa is: $E_f = 2.7735(t)^2 - 31.903(t) + 97.501$.

The comparison of the testing values of flexural strength, f_r , using Nano ferrocement beams as detailed in present paper with those testing values using normal ferrocement beams (B1, B2, B3, B4) [5] having thickness, t , of 22 mm and reinforced with 4, 6, 8, 10 square wire mesh layers respectively, and with w:c ratio of 1.5 as detailed in reference [5], is made and tabulated in Table 9.

The comparison values are considered at a temperature of 17°C representing room temperature.

It is seen that the measured values of flexural strength of Nano ferrocement prism specimens

Таблица 9
Table 9

Сравнение измеренных значений ферроцементных балок
Comparison of the measured values of ferrocement beam specimens

Ферроцемент (эталон) Ferrocement (reference)				Нано-ферроцемент Nano ferrocement
Group	t , mm	No. of wire mesh layers	Flexural strength, f_r MPa	For all $t = 4, 5, 6$ mm with No. of layers = 4, for all specimens, the flexural strength $f_r = 12.5$ MPa.
1	22	4	5.74	
2	22	6	8.42	
3	22	8	8.48	
4	22	10	10.9	

with a thickness of 4 mm and reinforced with 4 layers are higher than that of normal ferrocement prism specimens with a thickness of 22 mm and reinforced by 10 layers.

Ферроцементные системы для зеленого строительства / Ferrocement green building system

The use of ferrocement in pre-fabricated buildings provides many advantages in terms of lightness of weight (since its thickness is usually between 10 and 50 mm), ease of handling, low labor cost in its production and a durable material requiring little maintenance. This would further lead to an “eco-friendly” low cost housing without any loss of structural integrity. Saving in cost is one of the several reasons for the popularity of ferrocement. It is recognized that the economics of ferrocement is dependent on several factors such as costs of raw materials and labor, and the relative cost of competitive materials.

Besides, building system must not only cope with strengths and flexibility requirements, but the insulation value is of high importance.

The building system proposed by the first author [6] for ferrocement construction based on generic service facilities and insulating these structures involves the application of insulation material by means of cavity wall construction which consists of two leaves (sides) of ferrocement, each with a thickness of 30 mm, separated by a space to form a cavity wall, and insulation material is used through [8–10] as shown in Fig. 4. Test was carried out on ferrocement cavity wall panels with insulation panel placed between the two leaves of the wall panel and the obtained results gives a very good solution for insulation and consequently reducing the demand to electrical energy.

The replacement of ferrocement by Nano ferrocement in producing structural elements of the structural system proposed by the first author tends to:

1. Reducing the amount of materials needed for the construction of building.
2. Reducing the amount of energy required producing the amount of materials needed for the construction.
3. Reducing the emissions of carbon dioxide. The emission of carbon dioxide depends on the fuel source for kWh.

Заключение / Conclusions

On the basis of the experimental studies carried out on both Nano cement mortar and Nano ferrocement by using the developed Nano cement mortar as a replacement to the cement mortar usually used in producing ferrocement elements:

1. The flexural strength of ferrocement prisms using Nano cement mortar with 4 mm thickness and reinforced by 4 layers of wire mesh is higher than that of ferrocement

prisms having 22 mm thickness and using ordinary cement mortar and reinforced by 10 layers of wire mesh.

2. Empirical expressions to predict mid-span deflections of ferrocement beams are proposed.

3. Empirical expression to predict modulus of elasticity of ferrocement element is proposed.

References

1. IFS Committees 10. Ferrocement model code: building code recommendations for the ferrocement (IFS 10-01). Pathumthani: International Ferrocement Society. 2001.
2. ACI Publication SP.61. Ferrocement—Materials and Applications 1979. 195 p.
3. ACI Committee 549. Guide for the design, construction, and repair of ferrocement. *ACI Structural Journal*. 1988. Vol. 85. Iss. 3, pp. 325–351. DOI: 10.14359/3527
4. Wail N. Al-Rifaie, Omar M. Mahdi, Waleed K. Ahmed. Development of nano cement mortar as a construction material. *Advanced Materials Research*. 2013. Vol. 795, pp. 684–691. doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.795.684
5. Al-Samarraie H.Y., Performance of Ferrocement Using Crushed Limestone as Fine Aggregates. M. Sc. *Thesis submitted to the University of Tikrit*. 2012. Iraq.
6. Wail N. Al-Rifaie. Modern housing system using ferrocement as sustainable construction materials. *7-th Municipal Work, Conference & Exhibition*. 24–26 April 2012. Kingdom of Bahrain.
7. Wail N. Al-Rifaie, Ph.D, Ahmed M.A. Sakran, M.Sc. Precast Ferrocement hollow core slab/wall panels. *Proceeding of 14th. International Conference on Sustainable Energy Technologies – SET2015*. 25–27 August 2015. Nottingham. UK.
8. Wail N. Al-Rifaie, Waleed K. Ahmed, Latif E. Ibraheem, Hashim Y. Al-Samarraie. Thermal performance of ferrocement green building system. Chapter 21 of Book: *Renewable Energy: Generation and Applications*, Springer Proceeding in Energy *Proceedings of the 3-rd International Conference on Renewable Energy: Generation and Applications. ICREGA '14*. 2 March 2014, Al – Ain. United Arab Emirates.
9. Wail N. Al-Rifaie, Riyadh Hasoon, Waleed K. Ahmed. Performance of ferrocement eco-housing system under direct fire. *13-th International Conference on Sustainable Energy Technology (SET2014)*. 25–28 August 2014. Geneva.
10. Wail N. Al-Rifaie, Khaled K. Al-Enezi, Waleed K. Ahmed. Thermal response of ferrocement cavity wall under direct fire. *International Journal of Sustainable Building Technology & Urban Development*. 2015. United Kingdom. DOI: 10.1080/2093761x.2015.1116416.

НОВАЯ КНИГА



Технология гипсовых отделочных материалов и изделий

Федулов А.А., М: ООО РИФ «СТРОЙМАТЕРИАЛЫ». 2018, 240 с.

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

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

**Заказать литературу можно через редакцию,
направив заявку произвольной формы на e-mail: mail@rifsm.ru,
или оформить заявку на сайте www.rifsm.ru**

А.А. АСКАДСКИЙ^{1, 2}, д-р хим. наук (andrey@ineos.ac.ru);
Т.А. МАЦЕЕВИЧ², д-р физ.-мат. наук (tmats@rambler.ru);
В.И. КОНДРАЩЕНКО³, д-р техн. наук (kondrashchenko@mail.ru)

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

² Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН (119991, г. Москва, ул. Вавилова, 28)

³ Российский университет транспорта (МИИТ) (127994, г. Москва, ул. Образцова, 9, стр. 9)

Расчетная схема для оценки реологических свойств полимеров и их смесей

Предложена расчетная схема для количественной оценки компонентов комплексного модуля сдвига для полимеров. Расчеты проводятся на основе химического строения повторяющегося звена линейного полимера или повторяющегося фрагмента сетчатого полимера. Показана возможность оценки модулей накопления и потерь, а также тангенса угла механических потерь. Получено хорошее согласие экспериментальных и расчетных данных. Определены частотные зависимости модуля накопления в области высоких частот для смесей полиэтиленоксида и полиметилметакрилата, а также для смесей поликарбоната с полистиролом. Для этих смесей определены модули накопления и потерь, а также фактор механических потерь при различных значениях температуры, молекулярных масс и реальных частот механического воздействия. Дано уравнение для оценки модуля накопления в области высоких частот для смесей полимеров. Эти характеристики важны для прогнозирования динамических механических свойств строительных полимерных материалов, особенно тангенса угла механических потерь, которые связаны с шумопоглощением. Предложенная расчетная схема дает возможность прогнозировать свойства строительных материалов при изготовлении смесей полимеров, обладающих повышенными характеристиками.

Ключевые слова: реологические свойства, комплексный модуль упругости, вязкость, фактор потерь, полистирол, поликарбонат, полиметилметакрилат, полиэтиленоксид.

Для цитирования: Аскадский А.А. Матеевич Т.А., Кондращенко В.И. Расчетная схема для оценки реологических свойств полимеров и их смесей // *Строительные материалы*. 2018. № 10. С. 64–68. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-764-10-64-68>

A.A. ASKADSKII^{1, 2}, Doctor of Sciences (Chemistry) (andrey@ineos.ac.ru);

T.A. MATSEEVICH², Doctor of Sciences (Physics and Mathematics) (tmats@rambler.ru);

V.I. KONDRASHCHENKO³, Doctor of Sciences (engineering) (kondrashchenko@mail.ru).

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

² A.N. Nesmeyanov Institute of Organoelement Compounds of Russian Academy of Sciences (28, Vavilova Street, Moscow, 119991, Russian Federation)

³ Russian University of Transport (9, Obrazcova Street, Moscow, 127994, Russian Federation)

Calculation Scheme for Estimation of Rheological Properties of Polymers and Their Blends

The calculation scheme is proposed for the quantitative evaluation of the components of the complex shear modulus for polymers. Calculations are based on the chemical structure of a repeating unit for a linear polymer or a repeating fragment for a network polymer. The possibility of estimating the storage modulus and losses modulus, as well as the mechanical loss tangent is shown. Good agreement was obtained between experimental and calculated data. The frequency dependences of the storage modulus in the high-frequency region are determined for mixtures of polyethylene oxide and polymethyl methacrylate, as well as for mixtures of polycarbonate with polystyrene. For these mixtures, the storage and loss modulus are determined, as well as the mechanical loss factor at various temperatures, molecular masses and real frequencies of mechanical action. The equation is given for estimating the storage modulus at high frequencies for polymer blends. These characteristics are important for predicting the dynamic mechanical properties of building polymeric materials, especially the mechanical loss tangent, which are associated with noise absorption. The proposed calculation scheme makes it possible to predict the properties of building materials in the manufacture of mixtures of polymers with enhanced characteristics.

Keywords: rheological properties, complex modulus of elasticity, viscosity, loss factor, polystyrene, polycarbonate, polymethyl methacrylate, polyethylene oxide.

For citation: Askadskii A.A., Matseevich T.A., Kondrashchenko V.I. Calculation scheme for estimation of the rheological properties of polymers and their blends. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 10, pp. 64–68. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-764-10-64-68> (In Russian).

Статья посвящена разработке расчетной схемы для количественной оценки динамической вязкости, модулей накопления и потерь, тангенса угла механических потерь в зависимости от химического строения полимеров и их смесей, а также от температуры и молекулярной массы. Эти характеристики важны для прогнозирования динамических механических свойств строительных полимерных материалов, особенно тангенса угла механических потерь, которые связаны с акустическими свойствами. Последние, в свою очередь, определяют звукопоглощение, что позволяет прогнозировать состав строительных материалов, обладающих повышенной способностью поглощать шум в жилых, заводских и административных помещениях. Рассмотрим последовательно эти характеристики, рассчитываемые на основе химического строения полимеров и их смесей.

1. Модуль накопления при высоких частотах.

Модуль накопления, согласно предложенной расчетной схеме, при высоких частотах описывается следующим уравнением:

$$G = \frac{\sum_i \Delta V_i}{\sum_i g_i \Delta V_i + \sum_i f_j}, \quad (1)$$

где $g_i = \frac{S_i}{\kappa_i l_i}$; величины g_i характеризуют средний вклад каждого атома в величину $\frac{S_i}{\kappa_i l_i}$; f_j – набор констант, которые характеризуют влияние сильного диполь-дипольного межмолекулярного взаимодействия и водородных связей; S_i – ван-дер-ваальсова поверхность i -го атома, через которую передается межмолекулярное взаимо-

действие; κ_i – коэффициент упругости связи i -го атома; l_i – характерный размер связи; ΔV_i – ван-дер-ваальсов объем i -го атома, входящего в повторяющееся звено полимера.

Калибровка метода основана на так называемых полимерных стандартах, свойства которых изучены в деталях. Трансформируем уравнение (1) к следующему виду:

$$\sum_i g_i \Delta V_i + \sum_j f_j = \frac{1}{G} \sum_i \Delta V_i \quad (2)$$

Величина G зависит от химического строения полимера. Величины G заимствованы из экспериментальных данных [1–7] по зависимостям модуля накопления G' от частоты ω или ωa_T в области плато при больших частотах. Величина G для каждого полимера не зависит от частоты ω или ωa_T . Табл. 1 содержит величины G для различных полимеров с указанием литературного источника.

Например, для полистирола уравнение (2) выглядит следующим образом:

$$g_C(\Delta V_{C,10} + \Delta V_{C,7} + \Delta V_{C,19} + 5 \cdot \Delta V_{C,18}) + g_H(8 \cdot \Delta V_{H,124}) + f_d = g_C \cdot 93,7 + g_H \cdot 16 + f_d.$$

Величины ван-дер-ваальсовых объемов различных атомов взяты из монографий [8, 9]; индекс при ΔV соответствует номеру атома в табл. 3, приведенной в монографии [8].

На основе уравнения (2) составлена избыточная система уравнений, решение которой привело к следующим значениям g_i и f_j , показанным в табл. 2.

Для смеси совместимых полимеров уравнение (1) трансформируется в форму:

$$G = \frac{\alpha_1 \left(\sum_i \Delta V_i \right)_1 + \alpha_2 \left(\sum_i \Delta V_i \right)_2}{\alpha_1 \left(\sum_i g_i \Delta V_i + \sum_j f_j \right)_1 + \alpha_2 \left(\sum_i g_i \Delta V_i + \sum_j f_j \right)_2}, \quad (3)$$

где α_1 и α_2 – мольные доли полимера 1 и 2 соответственно; $\left(\sum_i g_i \Delta V_i + \sum_j f_j \right)_1$ и $\left(\sum_i g_i \Delta V_i + \sum_j f_j \right)_2$ – наборы констант для полимера 1 и 2 соответственно.

Учитывая уравнение (1), величины $\left(\sum_i g_i \Delta V_i + \sum_j f_j \right)$ равны выражению $\left(\sum_i g_i \Delta V_i + \sum_j f_j \right)_i = \frac{\sum_i \Delta V_i}{G}$, можем переписать уравнение (3) как:

$$G = \frac{\alpha_1 \left(\sum_i \Delta V_i \right)_1 + \alpha_2 \left(\sum_i \Delta V_i \right)_2}{\alpha_1 \frac{\left(\sum_i \Delta V_i \right)_1}{G_1} + \alpha_2 \frac{\left(\sum_i \Delta V_i \right)_2}{G_2}}, \quad (4)$$

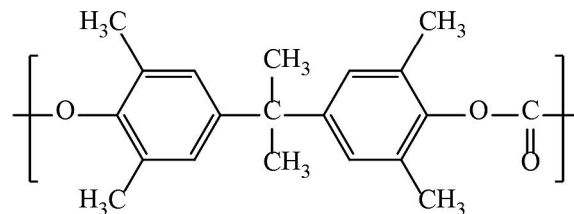
где G_1 и G_2 – модули упругости компонентов 1 и 2 соответственно.

Поскольку $\alpha_1 + \alpha_2 = 1$, получаем:

$$G = \frac{\left(\sum_i \Delta V_i \right)_1 + \alpha_2 \left[\left(\sum_i \Delta V_i \right)_2 - \left(\sum_i \Delta V_i \right)_1 \right]}{\frac{\left(\sum_i \Delta V_i \right)_1}{G_1} + \alpha_2 \left[\frac{\left(\sum_i \Delta V_i \right)_2}{G_2} - \frac{\left(\sum_i \Delta V_i \right)_1}{G_1} \right]}, \quad (5)$$

Уравнение (5) позволяет описывать зависимость модуля G от мольной концентрации полимера 2. Рассмотрим пример расчета. Смесь полностью совместимых полимеров представляет собой «Полистирол (ПС)

+ Поликарбонат (ПК)». Химическое строение данного поликарбоната выглядит следующим образом:



Используя эти параметры, а также ван-дер-ваальсов объем атомов, взятый из работ [8, 9], для ПС получаем:

$$\left(\sum_i g_i \Delta V_i + \sum_j f_j \right)_{\text{ПС}} = -1,277(13,1 + 8,7 + 8,4 + 5 \cdot 12,7) + 4,376(8 \cdot 2) + 84,472 = 34,8.$$

Ван-дер-ваальсов объем ПС $\left(\sum_i \Delta V_i \right)_{\text{ПС}} = 110 \text{ \AA}^3$. Таким

образом, величина модуля накопления для ПС $G_{\text{ПС}} = 3,15 \text{ кг/см}^2$ (следует заметить, что экспериментальная величина $G = 3,16 \text{ кг/см}^2$). Для ПК:

$$\left(\sum_i g_i \Delta V_i + \sum_j f_j \right)_{\text{ПК}} = -1,277(4 \cdot 16,9 + 6 \cdot 8,4 + 2 \cdot 11,6 + 4 \cdot 12,7 + 4,5 + 2 \cdot 12,7 + 19) + 4,376(22 \cdot 2) + 116,95(2 \cdot 2,7 + 5,95) + 84,472 = 1285,3.$$

Ван-дер-ваальсов объем ПК $\left(\sum_i \Delta V_i \right)_{\text{ПК}} = 305,3 \text{ \AA}^3$. Таким

образом, величина модуля накопления для этого полимера $G_{\text{ПК}} = 0,24 \text{ кг/см}^2$. Зависимость модуля накопления рассматриваемой смеси от мольной доли ПК показана на рис. 1.

Другая смесь совместимых полимеров представляет «полиэтиленоксид (ПЭО)+полиметилметакрилат (ПММА)». Для ПЭО:

$$\left(\sum_i g_i \Delta V_i + \sum_j f_j \right)_{\text{ПЭО}} = -1,277(2 \cdot 16,2) + 4,376(4 \cdot 2) + 116,95 \cdot 3,4 = 391,26.$$

Ван-дер-ваальсов объем ПЭО $\left(\sum_i \Delta V_i \right)_{\text{ПЭО}} = 43,7 \text{ \AA}^3$.

Тогда величина модуля накопления $G_{\text{ПЭО}} = 0,112 \text{ кг/см}^2$. Для ПММА:

$$\left(\sum_i g_i \Delta V_i + \sum_j f_j \right)_{\text{ПММА}} = -1,277(13,1 + 5 + 17,2 + 15,9 + 20,3) + 4,376(8 \cdot 2) + 116,95(5,85 + 3,4) + 84,472 \cdot 2 = 1229.$$

Ван-дер-ваальсов объем ПММА $\left(\sum_i \Delta V_i \right)_{\text{ПММА}} = 96,4 \text{ \AA}^3$.

Тогда величина модуля накопления $G_{\text{ПММА}} = 0,08 \text{ кг/см}^2$. Зависимость модуля накопления этой смеси от мольной доли ПММА показана на рис. 2.

Зависимость модуля накопления от массовой доли $\alpha_{w,2}$ полимера 2 описывается соотношением (6):

$$G = \frac{\left(\sum_i \Delta V_i \right)_1 + \frac{\left[\left(\sum_i \Delta V_i \right)_2 - \left(\sum_i \Delta V_i \right)_1 \right]}{1 + \frac{M_2}{M_1} \left(\frac{1}{\alpha_{w,2}} - 1 \right)}}{\frac{\left(\sum_i \Delta V_i \right)_1}{G_1} + \frac{\left[\frac{\left(\sum_i \Delta V_i \right)_2}{G_2} - \frac{\left(\sum_i \Delta V_i \right)_1}{G_1} \right]}{1 + \frac{M_2}{M_1} \left(\frac{1}{\alpha_{w,2}} - 1 \right)}}, \quad (6)$$

где M_1 и M_2 – молекулярные массы повторяющихся звеньев полимера 1 и 2 соответственно.

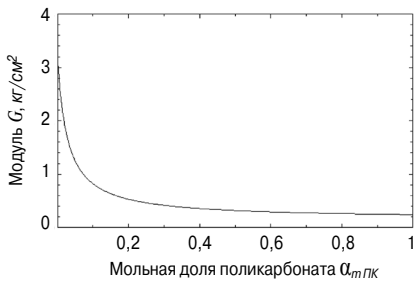


Рис. 1. Зависимость модуля накопления от мольной доли поликарбоната

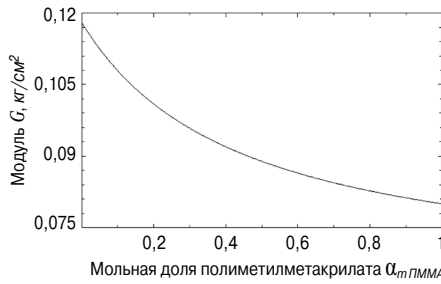


Рис. 2. Зависимость модуля накопления от мольной доли ПММА

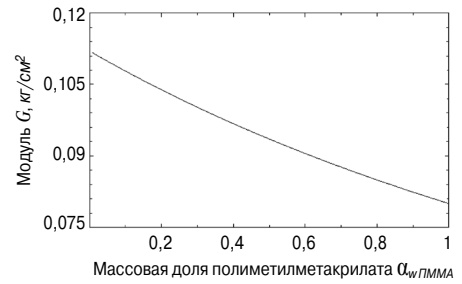


Рис. 3. Зависимость модуля накопления от массовой доли ПММА

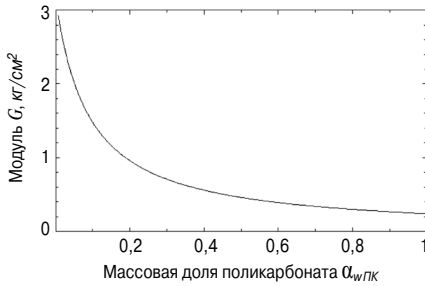


Рис. 4. Зависимость модуля накопления от массовой доли ПК alpha_wПК

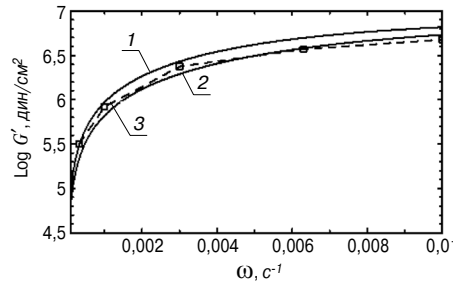


Рис. 5. Зависимости модуля накопления G' от частоты omega для полибутадиена: 1 – расчетная кривая при k = 1; 2 – экспериментальная кривая; 3 – расчетная кривая при k = 0,6

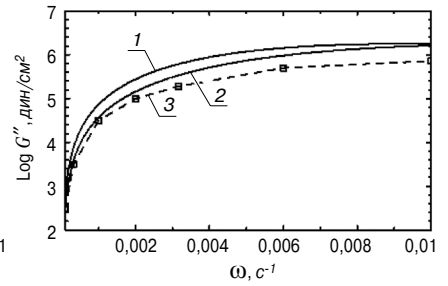


Рис. 6. Зависимости модуля потерь G'' от частоты omega для полибутадиена: 1 – расчетная кривая при k = 1; 2 – экспериментальная кривая; 3 – расчетная кривая при k = 0,6

Таблица 1

Величины G для ряда полимеров

Полимер	G, kg/cm ²	Ссылка
Полиэтилен	25,1	[1]
Полибутадиен	8,51	[2]
Полиизопрен	5	[3]
Поли(ε-капролактон) (линейный)	0,1	[4]
Полистирол	3,16	[5]
Гидрогенизованный полибутадиен	19,95	[6]
Полипропилен	0,59	[7]

Таблица 2

Величины констант g_i и f_j

Атом или тип межмолекулярного взаимодействия	Величины g _i или f _j	
	g _i , см ² /кг	f _j
Углерод	g _C , см ² /кг	-1,277
Водород	g _H , см ² /кг	4,376
Кислород	g _O , см ² /кг	116,95
Двойная связь	f _≡ , Å ³ см ² /кг	30,925
Диполь-дипольное взаимодействие*	f _d , Å ³ см ² /кг	84,472

* Параметр f_d для каждого ответвления в главной или боковой цепи.

Для ПЭО M_{ПЭО}=44,1; для ПММА M_{ПММА}=100; для ПС M_{ПС}=104; для ПК M_{ПК}=310. Подставляя все физические параметры, упомянутые выше, получаем зависимость модуля накопления от массовой доли ПММА:

Зависимость модуля накопления от массовой доли ПК показана на рис. 4.

2. Модули накопления и потерь полимерной смеси.

Рассмотрим расчет модулей накопления G' и G'' потерь полимерных смесей при реальных частотах механического воздействия. В условиях режима Максвелла, т. е. когда используется не спектр времен релаксации, а единичное время релаксации τ, модули накопления и потерь описываются формулами:

$$G'(\omega) = G \frac{(\omega\tau)^2}{1 + (\omega\tau)^2}; \quad (7)$$

$$G''(\omega) = G \frac{(\omega\tau)}{1 + (\omega\tau)^2}, \quad (8)$$

где величина G – предельная величина модуля накопления в области плато на частотной зависимости, τ – время релаксации.

Время релаксации τ описывается соотношением:

$$\tau = \frac{\eta}{G\Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right)}, \quad (9)$$

где Γ(x) – гамма-функция Эйлера; k – параметр, обусловленный дробным показателем степени времени t в ходе релаксации напряжения.

Рассмотрим этот вопрос более детально. Обычно связь между временем релаксации и вязкостью η определяется соотношением:

$$G\tau = \eta. \quad (10)$$

Для адекватного описания процесса релаксации напряжения используется либо спектр времен релаксации, либо дробный показатель степени времени. Например, процесс релаксации напряжения хорошо описывается уравнением Кольрауша, которое содержит единичное время релаксации τ:

$$G(t) = Ge^{-t/\tau^k} + G_{\infty}, \quad (11)$$

где G(t) – зависимость модуля сдвига от времени; t – время наблюдения; k – параметр материала (0 < k < 1); G_∞ – равновесный модуль сдвига.

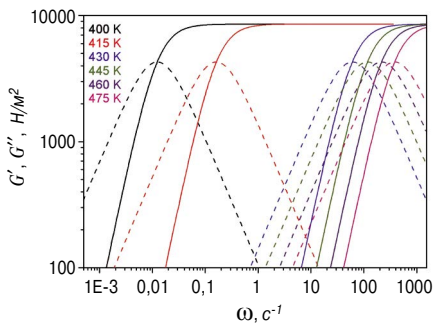


Рис. 7. Зависимости G' и G'' от частоты при отличающихся показателях температуры

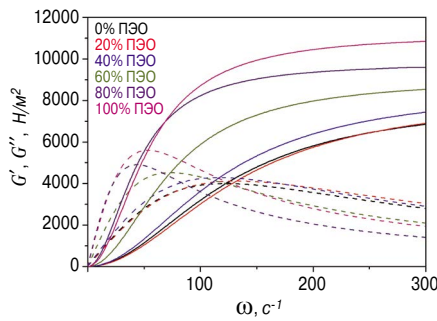


Рис. 8. Зависимости модуля накопления G' и модуля потерь G'' от частоты при разных содержаниях ПЭО

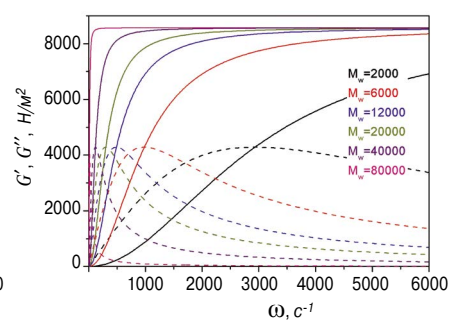


Рис. 9. Зависимости G' и G'' от частоты при различных молекулярных массах

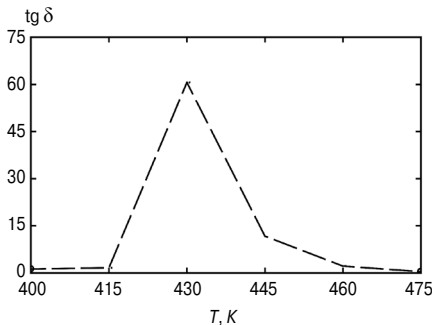


Рис. 10. Зависимости $\text{tg } \delta$ от температуры T для смеси ПЭО и ПММА

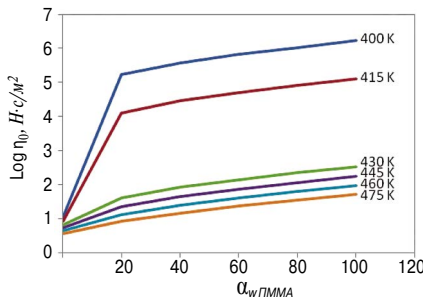


Рис. 11. Зависимости вязкости от массовой доли ПММА при разных значениях температуры

Таблица 3

Величины модулей G совместимых смесей ПЭО и ПММА

$\alpha_{\text{ПЭО}}, \%$	$\alpha_{\text{ПММА}}, \%$	$G, \text{H}/\text{M}^2$
0	100	8000
20	80	8240
40	60	8570
60	40	9050
80	20	9810
100	0	11200

Таблица 4

Величины η_0 и τ при различных значениях температуры

T, K	400	415	430	445	460	475
$\eta_0, \text{H}\cdot\text{c}/\text{M}^2$	1387974	105633	283	147	79	45
τ, c	81	6,16	0,0165	0,00855	0,00463	0,00262

Таблица 5

Величины G и τ при различных концентрациях компонентов

$\alpha_{\text{ПЭО}}, \%$	0	20	40	60	80	100
$G, \text{H}/\text{M}^2$	8000	8240	8570	9050	9810	11200
$\eta_0, \text{H}\cdot\text{c}/\text{M}^2$	130,4	125	146,5	245,8	447,7	419,3
τ, c	0,00815	0,00758	0,00855	0,0136	0,0228	0,0187

Таблица 6

Величины η_0 и τ при различных молекулярных массах

$M_w, \text{g}/\text{mol}$	2000	6000	12000	20000	40000	80000
$\eta_0, \text{H}\cdot\text{c}/\text{M}^2$	5,849	17,546	35,09	57,06	146,5	1546,55
τ, c	0,000341	0,00102	0,00205	0,00333	0,00855	0,0902

Следует заметить, что в данном случае функция памяти в уравнении Больцмана имеет форму:

$$\varphi(t-\tau) = ake^{a(t-\tau)^k} \cdot (t-\tau)^{k-1} \quad (12)$$

Подставляя функцию памяти (12) в уравнение Больцмана:

$$\sigma_s(t) = \gamma_0 \left[G - \int_0^t \varphi(t-\tau) G_1 d\tau \right] \quad (13)$$

получаем уравнение Кольрауша (11). В уравнении (13) γ_0 – деформация сдвига; σ_s – напряжение сдвига; модуль упругости G_1 – параметр материала.

В рассматриваемом случае связь между вязкостью η и модулем сдвига G описывается соотношением (9). Для дальнейших расчетов используем величину $k=1/2$, и, следовательно, $\Gamma(1+1/k)=2$.

Расчеты, проведенные с использованием функции памяти, соответствующей уравнению Кольрауша (11), приводят к хорошим результатам. Опыт авторов показывает, что во многих случаях величина k в ядре релаксации (12) равна 0,6. Тогда время релаксации τ , рассчитанное по уравнению (9), для полибутадиена равно 72 с. Зависимости модулей G' и G'' от частоты показаны на рис. 5 и 6.

Видно, что согласие расчетных и экспериментальных данных лучше, если используется дробный показатель степени времени.

В качестве примера для расчета частотных зависимостей модулей G' и G'' , а также тангенса угла механических потерь $\text{tg } \delta = G''/G'$ используем смесь ПЭО и ПММА. Величины $G_{\text{ПЭО}}$, $G_{\text{ПММА}}$, $\left(\sum_i \Delta V_i\right)_{\text{ПЭО}}$ и $\left(\sum_i \Delta V_i\right)_{\text{ПММА}}$ были рассчитаны выше.

На основе этих данных с помощью выражения (5) рассчитаны величины G для смесей ПЭО и ПММА с разной концентрацией компонентов α (табл. 3).

Вязкость смесей η_0 рассчитывается методом Бисерано [10]. Рассмотрим температурную зависимость модуля накопления и потерь. В качестве примера возьмем смесь ПММА с долей ПЭО $\alpha_{\text{ПЭО}}=40\%$ и молекулярной массой $M_w=40000$ г/моль. Для такой системы $G=8570$ Н/м². Времена релаксации τ , рассчитанные с помощью выражения (9), помещены в табл. 4.

Частотные зависимости модулей накопления и потерь при разных значениях температуры показаны на

Таблица 7
Вязкость совместимой смеси ПММА+ПЭО
при температуре 400К

Мольная доля ПММА, %	η_0 , Н·с/м ²	Массовая доля ПММА, %	η_0 , Н·с/м ²
0	10,9	0	10,9
20	336 315	20	166 653
40	672 619	40	381 397
60	1 008 922	60	668 580
80	1 345 226	80	1 072 297
100	1 681 530	100	1 681 530

рис. 7. Модули накопления изображены сплошными линиями, а модули потерь – пунктирными линиями.

Для того чтобы проанализировать влияние концентрации компонентов в смеси ПЭО и ПММА, выберем температуру $T=445\text{K}$ и $M_w=40000$ г/моль. Величины модулей G' , η_0 и τ показаны в табл. 5.

Частотные зависимости G' и G'' при разных концентрациях ПЭО показаны на рис. 8. Модули накопления изображены сплошными линиями, а модули потерь – пунктирными линиями.

В заключение проанализируем влияние молекулярной массы на модули G' и G'' . Положим снова $T=445\text{K}$; $\alpha_{\text{ПЭО}}=40\%$; $\alpha_{\text{ПММА}}=60\%$. Тогда $G=8570$ Н/м², а время релаксации τ в зависимости от молекулярной массы дано в табл. 6.

Соответствующие частотные зависимости G' и G'' показаны на рис. 9. Как всегда, модули накопления изображены сплошными линиями, а модули потерь – пунктирными.

Теперь рассмотрим температурную зависимость тангенса угла механических потерь $\text{tg } \delta$ для той же смеси ПЭО и ПММА. Поскольку $\text{tg } \delta = G''/G'$, из формул (7) и (8) имеем:

$$\text{tg } \delta = \frac{1}{\omega \tau}. \quad (14)$$

Воспользуемся данными табл. 4, в которой имеются величины τ при разных значениях температуры T и частотах ω . Расчет, проведенный по формуле (14), приводит к температурной зависимости $\text{tg } \delta$, показанной на рис. 10. Максимум $\text{tg } \delta$ наблюдается при 430 К. Такие расчеты могут быть проведены для любых составов смесей полимеров, химическое строение которых задано. Также может быть проанализировано влияние молекулярной массы полимеров на температурную зависимость $\text{tg } \delta$.

3. Вязкость совместимых смесей.

Вязкость полимеров рассчитывается методом Дж. Бицерано [10]. Для совместимых смесей вязкость рассчитывается как для сополимеров. В качестве примера результаты расчетов для смеси ПЭО и ПММА представлены в табл. 7.

Зависимости вязкости от массовой доли ПММА показаны на рис. 11 при различной температуре.

Резкое изменение наклона зависимости связано с тем, что рассматриваемая смесь переходит из вязкотекучего в высокоэластическое состояние, когда массовая доля ПММА увеличивается.

Выводы.

На основании полученных результатов можно заключить, что влияние химического строения полимера

может быть взято за основу расчетной схемы по оценке реологических свойств полимерных систем. Имеется возможность расчета модулей накопления и потерь, а также фактора потерь при различных значениях температуры, молекулярных масс и частотах механического воздействия. Предложенная расчетная схема может оказаться полезной при разработке новых строительных полимерных материалов, обладающих улучшенной технологичностью в процессе их получения и повышенными эксплуатационными свойствами, в частности шумопоглощением.

Список литературы / References

1. Raju V.R., Smith G.G., Marin G., Knox J.R., Graessley W.W. Properties of amorphous and crystallizable hydrocarbon polymers. I. Melt rheology of fractions of linear polyethylene. *Journal of Polymer Science: Polymer Physics Edition*. 1979. Vol. 17. Iss. 7, pp. 1183–1195.
2. Rochefort W.E., Smith G.G., Rachapudy H., Raju V.R., Graessley W.W. Properties of amorphous and crystallizable hydrocarbon polymers. II. Rheology of linear and star-branched polybutadiene *Journal of Polymer Science: Polymer Physics Edition*. 1979. Vol. 17. Iss. 7, pp. 1197–1210.
3. Виноградов Г.В., Малкин А.Я., Яновский Ю.Г., Борисенкова Е.К., Ярлыков Б.В., Бережная Г.В., Шаталов В.П., Шалганова В.Г., Юдин В.П. Вязкоупругие свойства и течение полибутадиенов и полиизопренов // *Высокомолекулярные соединения*. 1972. Т. 14А. № 11. С. 2425–2442.
3. Vinogradov G.V., Malkin A.Ya., Yanovskii Yu.G., Borisenkova E.K., Yarlykov B.V., Berezhnaya G.V., Shatalov V.P., Shalganova V.G., Yudin V.P. Viscoelastic properties and flow of polybutadienes and polyisoprenes. *Vysokomolekulyarnye soedineniya*. 1972. Vol. 14A. No. 11, pp. 2425–2442. (In Russian).
4. Seung-Yeop Kwak, Jeongsoo Choi, and Hee Jae Song. Viscoelastic relaxation and molecular mobility of hyperbranched poly(ϵ -caprolactone)s in their melt state. *Chemistry of Materials*. 2005. 17 (5), pp. 1148–1156. DOI: 10.1021/cm0487021.
5. Cattaleeya Pattamaprom, Ronald G. Larson, Anuvut Sirivat. Determining polymer molecular weight distributions from rheological properties using the dual-constraint model. *Rheologica Acta*. 2008. 47 (7), pp. 689–700. DOI: 10.1007/s00397-008-0264-5.
6. Raju V.R., Rachapudy H., Graessley W.W. Properties of amorphous and crystallizable hydrocarbon polymers. IV. Melt rheology of linear and star-branched hydrogenated polybutadiene. *Journal of Polymer Science: Polymer Physics Edition*. 1979. Vol. 17. Iss. 7, pp. 1223–1235.
7. Chenyang Liu, Jian Yu, Jiasong He, Wei Liu, Chunyan Sun, and Zhenhua Jing. A reexamination G_N^0 of and M_e of syndiotactic polypropylenes with metallocene catalysts. *Macromolecules*. 2004. 37 (24), pp. 9279–9282. DOI: 10.1021/ma048743i.
8. Askadskii A.A. Computational materials science of polymers. Cambridge: Cambridge International Science Publishing. 2003. 695 p.
9. Аскадский А.А., Хохлов А.Р. Введение в физико-химию полимеров. М.: Научный мир, 2009. 380 с.
9. Askadskii A.A., Khokhlov A.R. Vvedenie v fiziko-khimiyyu polimerov [Introduction to physico-chemistry of polymers]. Moscow: Nauchnoe slovo. 2009. 380 p.
10. Bicerano J. Prediction of Polymer Properties. New-York: Marcel Dekker Inc. 1996. 528 p.

С.В. ИЛЬВИЦКАЯ¹, д-р архитектуры, советник РААСН (ilvitskaya@mail.ru);
 Д.Ю. ИЛЬВИЦКИЙ², канд. техн. наук, директор; В.А. ЛОБКОВ¹, канд. техн. наук;
 В.П. ЭТЕНКО¹, д-р архитектуры; Б.С. ИСТОМИН³, д-р архитектуры, советник РААСН;
 Т.В. ЛОБКОВА¹, архитектор

¹ Государственный университет по землеустройству (105064, г. Москва, ул. Казакова, 15)

² Проектная мастерская «Точка сборки» (127380, г. Москва, ул. Гиляровского, 7)

³ ОАО «ЦНИИПромзданий» (127238, г. Москва, Дмитровское ш., 46-2)

Природные материалы в «зеленой» архитектуре жилища

В настоящее время все более актуальной становится задача сохранения природы. Вместе с ней активно изучается тема формирования экологически чистого архитектурного пространства. Взаимосвязь природы и экологии является основой современной экоустойчивой архитектуры. Строительные материалы играют немаловажную роль в вопросе экологической чистоты жилища, энергоэффективности постройки и устойчивости среды в целом. Современные строительные технологии с использованием натуральных материалов обеспечивают экологическую чистоту и эстетичность жилого дома. В статье исследуется роль природных материалов в «зеленой» архитектуре и раскрываются перспективы экологического строительства с точки зрения сохранения природных ресурсов и формирования благоприятных экологических условий.

Ключевые слова: экология, энергоэффективность, экологическая сертификация, натуральные материалы, «зеленая» архитектура, энергосбережение, природная среда, деревянное домостроение.

Для цитирования: ФИО. Природные материалы в «зеленой» архитектуре жилища // *Строительные материалы*. 2018. № 10. С. 69–72.

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-764-10-69-72>

S.V. ILVITSKAYA¹, Doctor of Architecture, Counselor of RAACS, (ilvitskaya@mail.ru); D.Yu. ILVITSKY², Candidate of Sciences (Engineering), Director;
 V.A. LOBKOV¹, Candidate of Sciences (Engineering) V.P. ETENKO¹, Doctor of Architecture; B.S. ISTOMIN³, Doctor of Architecture, Counselor of RAACS;
 T.V. LOBKOVA¹, Architect

¹ State University of Land Use Planning (15, Kazakova Street, Moscow, 105064, Russian Federation)

² Design Workshop "Tochka Sborniki" (7, Gilyarovskogo Street, Moscow, 127380, Russian Federation)

³ ОАО "TSNIIpromzdany" (46-2, Dmitrovskoye Shosse, Moscow, 127238, Russian Federation)

Natural Materials in "Green" Architecture of Housing

At present, the task of nature preservation is becoming more and more urgent. Together with it, the theme of the formation of environmentally friendly architectural space is actively studied. The relationship between nature and ecology is the basis of modern eco-sustainable architecture. Building materials play an important role in the issue of environmental cleanliness of housing, energy efficiency of construction and environmental sustainability in general. Modern construction technologies with the use of natural materials provide environmental cleanliness and aesthetics of the house. The article examines the role of natural materials in the "green" architecture and reveals the prospects of ecological construction in terms of the conservation of natural resources and the formation of favorable environmental conditions.

Keywords: ecology, energy efficiency, ecological certification, natural materials, green architecture, energy saving, natural environment, wooden housing construction.

For citation: Ilvitskaya S.V., Ilvitsky D.Yu., Lobkov V.A., Etenko V.P., Istomin B.S., Lobkova T.V. Natural materials in "Green" architecture of housing. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 10, pp. 69–72. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-764-10-69-72> (In Russian).

В последние годы в архитектуре и строительстве жилища намечается так называемое «озеленение» проектов с акцентом на экологичность предлагаемых архитектурных решений. По всему миру вводятся системы экологической сертификации, разрабатываются современные технологии, позволяющие повысить экологическую эффективность здания [1–3]. Однако, оснатив жилой дом энергоэффективными установками, архитектор еще не обеспечивает его экологичности. Для формирования экологичной среды в полной мере требуется учесть экологический фактор применяемых строительных материалов. *Натуральные природные материалы* не только являются экологически чистыми и создают благоприятную атмосферу для жизнедеятельности, они позволяют сберечь природу от загрязнения и улучшить экологический аспект окружающей среды.

Для России дерево является традиционным строительным материалом и представляет неотъемлемую часть архитектуры народной русской избы, предметов ее обихода и утвари. Свои корни деревянное зодчество Древней Руси черпает из художественных образов, созданных зодчими и строителями основных архитектурно-строительных школ Руси, а именно: псковской, новгородской, владими́ро-суздальской и московской. Прежде всего, деревянная архитектура отражает эстетические предпо-

чтения русского народа и всегда находится в гармонии с окружающей природой. Именно устройство мира у древних людей ассоциируется с мировым деревом [4].

В настоящее время в России деревянное домостроение быстро развивается, но осуществляется весьма хаотично, без общей программы развития отрасли, определенного научно-технического обоснования направленности развития; принимаются частные решения, мало обсуждаемые и практически неконтролируемые. Одновременно эти процессы происходят при отсутствии объективной информации, а рекламные материалы о строительстве деревянных домов крайне недостоверны [5].

Известно, что деревянное домостроение имеет ряд преимуществ: необходимость меньших энергозатрат при производстве и, как следствие, меньшая себестоимость заводского изготовления; простота монтажа на строительной площадке практически без средств механизации; экологические и эстетические свойства натурального дерева дают возможность достижения пластики фасадов и вариативность архитектурного формообразования. Однако наряду с положительными характеристиками можно отметить и существенные проблемы деревянного домостроения в современных рыночных условиях в России, несмотря на то что Россия лидирует в мире по количеству лесных ресур-

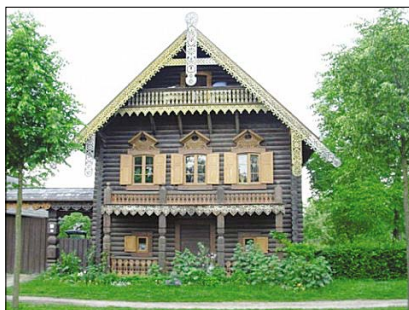


Рис. 1. Русский деревянный дом



Рис. 2. Дом в Созополе. Болгария



Рис. 3. Жилой дом. Мекленбург. Германия



Рис. 4. Дом с соломенной крышей в английской провинции



Рис. 5. Дом из соломы и глины



Рис. 6. Конструкция из соломенных блоков

сов. Это прежде всего: низкая скорость обновления существующей нормативно-правовой базы деревянного домостроения; отсутствие системного подхода к домостроению; нехватка специалистов в данной сфере; слабое взаимодействие со смежными участниками процесса деревянного домостроения; попытки внедрения западных, малоадаптированных к нашим условиям технологических систем и материалов.

Применение натуральных материалов почти всегда было неотъемлемой частью строительства. Совсем недавно все здания были построены из природного сырья и при этом полностью соответствовали критериям качества и функциональности. Кроме того, природные материалы в строительстве обуславливали формирование индивидуальности архитектурного облика жилища и, собственно, закладывали основы и создавали традиции народного зодчества в разных странах (рис. 1–4).

В настоящее время накопленный бесценный опыт экологичного строительства в сочетании с современными технологиями открывает широкие возможности для эффективного использования природного сырья в современной архитектуре [6–9].

Применяемые «зеленые» материалы можно распределить в зависимости от их назначения. В первую очередь это конструктивные элементы и теплоизоляция. Среди натуральных материалов, применяемых в конструктивных элементах здания, наиболее распространенными считаются сталь, дерево и натуральный камень. Для теплоизоляции дома предпочтительными являются солома, пробка, лен, овечья шерсть, целлюлоза (чаще всего из древесного и хлопкового сырья). Особенно следует выделить широкое применение соломы. Благодаря прекрасным теплоизоляционным свойствам соломенные блоки служат эффективным утеплителем. Их теплопроводность значительно ниже, чем у древесины и кирпича, кроме того, солома является



Рис. 7. Экологичный дом



Рис. 8. Современный интерьер дома

очень прочным материалом (рис. 5). В настоящее время дома из соломенных блоков строятся во многих странах, в том числе в России, Франции, Голландии, Швейцарии, США (рис. 6). Эти дома из древнего экологичного материала отличаются не только высокими показателями энергоэффективности, но и имеют очень современный и комфортный вид. К примеру, архитекторы из британской компании ModCell предложили новый проект по строительству домов из соломенных блоков. По мнению разработчиков, такие дома помимо особенной прочности и крепости позволяют сократить затраты на энергопотребление почти на 90%. Как отмечает директор компании Крейг Уайт, распространение соломенных домов станет важным шагом на пути сокращения уровня углеродных выбросов в атмосферу (рис. 7–8).

Изучив разнообразие свойств натуральных материалов, авторами разработана схема и выделены основные преимущества природного строительного источника: натуральные материалы в архитектуре жилища одновременно обеспечивают энергоэффективность, экологичность формируемого жилого пространства, повышение эстетичности облика жилого дома, сбережение природных ресурсов и повышение устойчивости среды в целом (рис. 9).

Тема экологичного строительства настолько актуальна, что находит отклик во многих современных раз-



Рис. 9. Преимущества природного строительного источника

работках в «зеленой» архитектуре. Если сделать акцент на природных строительных материалах, то можно выделить ряд инновационных предложений. На «зеленом» рынке прекрасно зарекомендовало себя пеностекло, обладающее морозостойкостью, нулевым водопоглощением и высоким уровнем термического сопротивления. Интересным открытием может стать использование в будущем пеностекла вместо кирпича, так как благодаря высокой прочности при сжатии пеностекло, возможно, заменит кирпич. Еще один интересный экологичный материал, обладающий одновременно жесткостью и гибкостью, — «древесная пена». Этот материал представляет собой измельченную вспененную древесину и служит для изготовления теплоизоляционных панелей.

Среди инновационных разработок интересно отметить применение уже использованного сырья. Зарубежная компания предложила строительные блоки, изготовленные из рисовой шелухи. Недавно испанские ученые представили вниманию архитекторов звукоизоляционные панели из древесины апельсиновых деревьев. Эти же панели могут стать прекрасной альтернативой традиционному утеплителю при дополнении наполнителя из шерсти.

Новый экоматериал, на 90% состоящий из тростника и овощных волокон, объединяет в себе преимущества древесины и цемента, обладает огнестойкостью и устойчивостью к агрессивной среде, прост в обработке и применении. Понимая всю значимость натуральности строительных материалов, многие архитектурные и строительные компании в своих предложениях ориен-

тируются исключительно на природный компонент строительного сырья.

Среди новейших тенденций, изучаемых и разрабатываемых в последнее время учеными, кинетическая архитектура и фасады, использующие природные и физические свойства материалов. Одними из них являются свойства природных натуральных материалов реагировать на внешнюю природную среду и изменять при этом некоторые характерные для них формы и структуру. Среди внешних воздействующих климатических факторов могут быть различные атмосферные осадки (дождь, снег), температурные изменения и др. Материалы в сочетании со своими гигроскопическими свойствами могут выполнять кинетические движения по аналогии с функциями мышц тела, обеспечивая направленное движение. В архитектуре адаптивность к изменению климата, как правило, рассматривается как техническая функция, обеспечиваемая множеством механических и электронных устройств зондирования, управления и регулирования. В отличие от этого наложения высокотехнологичного оборудования на инертный материал природа предполагает принципиально иную, но не технологическую стратегию изменения характеристик материала: во многих биологических системах чувствительная способность буквально укоренилась в самом материале [10]. Первые исследования, предпринятые в этой области, производились в Университете Штутгарта в Германии. Первые эксперименты в области климатически реагирующих структур начались в 2006 г. и являются перспективным направлением в архитектуре. Одним из плюсов данных структур является то, что для их функционирования нет необходимости в дополнительном электропитании или механизации.

К природным компонентам, обеспечивающим экологическую устойчивость жилища, нужно отнести и систему озеленения дома, включая вертикальное озеленение. Живой «зеленый» материал в полной мере отвечает как критерию экологичности, так и энергоэффективности, совершенству эстетику архитектуры интерьера и экстерьера здания, гармонирующей с природным окружением [11–15]. Проанализировав традиции и современный опыт использования природных материалов, можно утверждать, что практически забытые строительные традиции и материалы, обеспечивавшие экологию жилища, снова должны быть активно использованы в архитектуре индивидуального жилого дома. Натуральные «зеленые» материалы наиболее эффективно решают экологические вопросы, создают неповторимый индивидуальный облик дома, повышают энергоэффективность, сближают архитектуру жилья и природу, создавая гармоничную экологически чистую жилую среду.

Список литературы

- Ильвицкая С.В., Лобкова Т.В. «Зеленая» архитектура жилища и GREEN BIM технологии // *Архитектура и строительство России*. 2018. № 1. С. 108–113.
- Ильвицкая С.В., Поляков И.А. Этапы развития архитектуры и природы как единой системы // *Эстетические и технические науки*. 2014. № 11–12 (78). С. 443–444.
- Li M., Tang XX, Fan H, Li ZK Green building and social sustainability: Study on Mosuo Folk housing in China // *Applied Mechanics and Materials*. 2013. Vol. 368–370, pp. 1164–1167.
- Байбурун А.К. Жилище в обрядах и представлениях восточных славян. Л.: Наука, 1985. 325 с.
- Ильвицкая С.В., Карпенко В.В. Тезаурус архитектурного менталитета XXI века. Дигитальная архитек-

References

- Ilvitskaya S.V., Lobkova T.V. “Green” architecture of the dwelling and GREEN BIM technologies. *Arhitektura i stroitel'stvo Rossii*. 2018. No. 1, pp. 108–113. (In Russian).
- Il'vitskaya S.V., Polyakov I.A. Stages of development of architecture and nature as a unified system. *Estestvennyye i tekhnicheskie nauki*. 2014. No. 11–12, pp. 443–444. (In Russian).
- Li M., Tang XX, Fan H, Li ZK Green building and social sustainability: Study on Mosuo Folk housing in China. *Applied Mechanics and Materials*. 2013. No. 368–370, pp. 1164–1167.
- Baiburin A.K. Zhilishche v obryadakh i predstavleniyakh vostochnykh slavyan [Dwelling in ceremonies and representations of East Slavs]. Leningrad: Nauka, 1985. 325 p. (In Russian).

- тура в дереве // *Архитектура и строительство России*. 2016. № 1–2. С. 168–169.
6. Germi HM Checking the effect of green architecture elements in educational buildings form // *Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2017. Vol. 12, pp. 2752–2756.
 7. Clarke Snell, Alex Carpenter. Energy Independence and the Sustainable Resilient Sun // *Architectural Design*. 2018. No. 1, pp. 64–71.
 8. Claire Weisz. Resilient Design: ‘Systems Thinking’ as a Response to Climate Change // *Architectural Design*. 2018. No. 1, pp. 24–31.
 9. Федоров О.П. Методика прогнозирования тенденций развития экоустойчивой архитектуры на основе анализа международных систем экологической сертификации в архитектуре // *Фундаментальные исследования*. 2016. № 11–1. С. 90–95.
 10. Menges A., Reichert S., Mihaylov B. HygroScope: Meteorosensitive Morphology. 2012.
 11. Птичникова Г.А., Королева О.В. Гибридизация в городской архитектуре // *Социология города*. 2016. № 1. С. 5–17.
 12. Страхова В.Н. Экологическая диагностика состояния зеленых насаждений и экосистема города // *Градостроительство*. 2014. № 6 (34). С. 53–69.
 13. Ремизов А.Н. Архитектура и экоустойчивость: сложность взаимоотношений // *Жилищное строительство*. 2015. № 1. С. 45–48.
 14. Ремизов А.Н. О стимулировании экоустойчивой архитектуры и строительства // *Жилищное строительство*. 2014. № 3. С. 41–43.
 15. Птичникова Г.А., Королева О.В. Гибридизация в городской архитектуре // *Социология города*. 2016. № 1. С. 5–17.
 5. Ilvitskaya S.V., Karpenko V.V. Architectural concept digital wooden pavilions. *Arhitektura i stroitel'stvo Rossii*. 2018. No. 1, pp. 108–113. (In Russian).
 6. Germi HM Checking the effect of green architecture elements in educational buildings form. *Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2017. No. 12, pp. 2752–2756.
 7. Clarke Snell, Alex Carpenter. Energy Independence and the Sustainable Resilient Sun. *Architectural Design*. 2018. No. 1, pp. 64–71.
 8. Claire Weisz. Resilient Design: ‘Systems Thinking’ as a Response to Climate Change. *Architectural Design*. 2018. No. 1, pp. 24–31.
 9. Fedorov O.P. A technique for forecasting trends in the development of an eco-sustainable architecture based on an analysis of international systems of environmental certification in architecture. *Fundamental'nye issledovaniya*. 2016. No. 11–1, pp. 90–95. (In Russian).
 10. Menges A., Reichert S., Mihaylov B. HygroScope: Meteorosensitive Morphology. 2012.
 11. Ptichnikova G.A., Koroleva O.V. Hybridization of architecture in the city. *Sociologiya goroda*. 2016. No. 1, pp. 5–17. (In Russian).
 12. Strakhova V.N. Ecological diagnostics of the state of green spaces and ecosystems of the city. *Gradostroitel'stvo*. 2014. No. 6 (34), pp. 53–69. (In Russian).
 13. Remizov A.N. Architecture and environmental sustainability: the complexity of the relationship. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2015. No. 1, pp. 45–48. (In Russian).
 14. Remizov A.N. On the promotion of sustainable architecture and construction. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2014. No. 3, pp. 41–43. (In Russian).
 15. Ptichnikova G.A., Koroleva O.V. Hybridization of architecture in the city. *Sociologiya goroda*. 2016. No. 1, pp. 5–17. (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.

Следуйте рекомендациям, и публикация не заставит себя долго ждать!



НАНОТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

NANO-TECHNOLOGY IN CONSTRUCTION

Green and Sustainable Construction

22–26 марта 2019 г.

22–26 March, 2019

Прибытие и регистрация участников / Arrival & Registration 22.03.2019

Дни проведения конференции / Scientific activities 23–25.03.2019

Отъезд / Departure 26.03.2019

NTC-2019

Шарм-Эль-Шейх, Египет
Sharm ElSheikh, Egypt

Организаторы конференции / Organizers

Национальный исследовательский центр жилья и строительства (HBRC)
Housing & Building National Research Center (HBRC)



Египетско-российский университет
Egyptian Russian University (ERU)



Ижевский государственный технический университет им. М.Т. Калашникова
Kalashnikov Izhevsk State Technical University (ISTU)



При поддержке / Co-organizers

Министерство жилищно-коммунального хозяйства и городского сообщества
Ministry of Housing, Utilities and Urban Communities



Тематика конференции / Conference Themes

- Синтез применение наночастиц
- Наноразмерная характеристика материалов.
- Наноструктурированные или нанопористые материалы и нанокompозиты
- Наноматериалы для медицины
- Применение нанотехнологий в красках, покрытиях, слоях и мембранах.
- Наноматериалы в архитектуре для энергоэффективности, внутреннего экологического качества и устойчивости.
- Эффективность нанотехнологий в огнезащите.
- Другие.
- Nanoparticles synthesis and applications.
- Nanoscale materials characterization.
- Nanostructured or nanoporous materials and nanocomposites
- Nanomaterials for structural health monitoring and sensing.
- Application of nanotechnology in paints, coatings, layers and membranes.
- Nanomaterials in architecture for energy efficiency, indoor environmental quality and sustainability.
- Nano-technology's effect of fire performance.
- Others.

Основные даты и условия участия / Deadlines and Conference fees

- Принятие рефератов (abstract) 01/11/2018
- Представление полной рукописи 01/12/2018
- Принятие полных рукописей 01/01/2019
- Окончательный прием заявок 01/02/2019

Для участников, не являющихся египтянами, регистрационный взнос за участие в конференции (исключая проживание, транспорт и общественные мероприятия), составляет 200 долл. США/чел. и 100 долл. США/чел для студентов.

Регистрационный взнос за полный пакет участника (с проживанием, трансфером и общественными мероприятиями) составляет 500 долл. США/чел и 300 долл. США/чел для студентов.

Оплата производится Банковским переводом в QNB Qatar National Bank Al Ahli, Swift Code QNB AEGCXXX, № счета 00037 00152 20315560107-56, Египетское-Российский университет.

- Acceptance for abstract 01/11/2018
- Submission of full manuscript 01/12/2018
- Acceptance for full manuscripts 01/01/2019
- Final acceptance 01/02/2019

For Non Egyptian participants, the conference registration fees excluding accommodation, transportation and social activities is 200 USD/Person and 100 USD/Person for Non Egyptian students.

A package for accommodation, internal transportation and social activities is available for Non Egyptian participants for 500 USD/Person and 300 USD/Person for Non Egyptian students.

Payment of fees must be: by Bank transfer to QNB Qatar National Bank Al Ahli, swift code QNB AEGCXXX, Account No. 00037 00152 20315560107-56, Egyptian-Russian University.



Информационная поддержка – журналы / Information support journals
«Строительные материалы»® «Construction Materials» (Russia)
HBRC Journal (Egypt)



Контактная информация в России /

Contact information in Russia

Профессор Григорий Иванович Яковлев

ИжГТУ им. М.Т. Калашникова

E-mail: gyakov@istu.ru Тел.: 89128566688

Факс: +7(3412)592555

Prof. G.I. Yakovlev

Kalashnikov Izhevsk State Technical University

Studencheskaya Str., 7, Izhevsk, 426069, Russia

Mob. +79128566688, E-mail: gyakov@istu.ru

Контактная информация в Египте

(только на английском языке) /

Contact information in Egypt (English only)

Prof. Magdy Helal, Prof. Sayed Shebl

Housing & Building National Research Center

El-Tahrir Street, Dokki, Giza-Egypt

Tel: +20233356853, 37617107

Dr. Mohamed Mahmoud

Mob: +201005463056

info@ntchbrc.com

ntc_nano@yahoo.com



IACE CHINA 2019

The 12th Shanghai International Advanced Ceramics Exhibition & Conference

Organizers: Industrial Ceramics Sub-Committee of Chinese Ceramic Society; Engineering Ceramics Sub-Committee of Chinese Mechanical Engineering Society; Uniris Exhibition Shanghai Co., Ltd.; Ceramics 3D Printing Industry Alliance

Date: March 25th~27th, 2019 **Venue:** Shanghai World Expo Exhibition Center



The Leading Trade Fair for Advanced Ceramics Industry

Contact



Shanghai Branch

Tel: 0086 4000 778 909
Email: irisexpo@163.com

Guangzhou Branch

Tel: 0086 20 8327 6369 / 6389
Email: iacechina@unifair.com