

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ[®] №12



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ ИЗДАЕТСЯ С 1955 г. WWW.RIFSM.RU WWW.JOURNAL-CM.RU ДЕКАБРЬ 2018 г. (766)

5–7 июня 2019
Республика Башкортостан, РФ
Отель «Холидей Инн Уфа»
Зал «Гафури»



On June 5–7, 2019
Bashkortostan, Russia
Hotel «Holliday Inn Ufa»
Hall «Gafuri»

THE SCIENTIFICALLY-PRACTICAL CONFERENCE
«DEVELOPMENT OF THE CERAMIC INDUSTRY OF RUSSIA»

KERAMTEX

Партнеры МИАП KERAMTEX / KERAMTEX' partners



Ceramitec



ГЛАВНАЯ ТЕМА КОНФЕРЕНЦИИ / MAIN TOPIC OF THE CONFERENCE

«КИРПИЧНОЕ ДОМОСТРОЕНИЕ В РОССИИ. СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ»

«BRICK HOUSE BUILDING IN RUSSIA. REALITY AND PROSPECTS»

ПОСЕЩЕНИЕ КИРПИЧНОГО ЗАВОДА «АМСТРОН»
VISIT TO «AMSTRON» BRICK-PLANT

ПОСЕЩЕНИЕ КИРПИЧНОГО ЗАВОДА «АЖЕМАК»
VISIT TO «AZHEMAK» BRICK-PLANT

ПОСЕЩЕНИЕ СТРОЯЩИХСЯ ОБЪЕКТОВ ИЗ КИРПИЧА И С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КИРПИЧА
VISITING BUILDING OBJECTS FROM BRICK AND USING BRICK

СИМПОЗИУМ «НАУКА – КЕРАМИЧЕСКОМУ ПРОИЗВОДСТВУ»
SYMPOSIUM «SCIENCE FOR CERAMIC PRODUCTION»

www.rifsm.ru

mail@rifsm.ru



Мы всегда там,
где это необходимо!



29 января - 1 февраля 2019

КЕРАМБРИКТЕХ

Москва, ЦВК «Экспоцентр»

Посетите нас!

Павильон 7, Киоск А-301



Решения «под ключ»
для тяжелой глинистой
промышленности

 **SABO** S.A.
heavy clay

Доверьтесь надежному партнеру!

34002 Василико - Халкис, Эвбея - Греция | Тел.: +30 22210 51805-9 | E-mail: sb_sales@sabo.gr

www.sabo.gr



ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ® № 12

Основан в 1955 г.

(766) декабрь 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)

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)

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)

НЕДОСЕКО И.В.,
д-р техн. наук (Уфа)

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

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

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

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

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

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

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

ШЕБЛ С.М.,
д-р наук, профессор (Египет)

ШЛЕГЕЛЬ И.Ф.,
канд. техн. наук (Омск)

ШТАКЕЛЬБЕРГ Д.И.,
д-р техн. наук, профессор (Израиль)

ЯКОВЛЕВ Г.И.,
д-р техн. наук, профессор (Ижевск)

Ю ЖЯНГМЯО,
д-р философии (Китай, Гуанчжоу)

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

Керамические строительные материалы

Tecnargilla-2018 (Информация) 4

Современный и мощный кирпичный завод «Амстрон», производящий инновационный продукт – керамический блок PORIKAM, в ноябре 2018 года отметил первый «теплый юбилей» – 5 лет (Информация) 7

Заводы с линией ручной формовки Eazumud: сделано в Италии (Информация) 8

Влияние особых добавок, используемых в керамической промышленности, на глиняную массу (Информация) 10

ZMB BRAUN – надежный и компетентный партнер производителей керамического кирпича во всем мире (Информация) 14

Силикатные строительные материалы

20-й ibausil – крупнейший международный конгресс по строительным материалам (Информация) 16

XII Международная конференция СИЛИКАТэкс в Суздале (Информация) 18

Совершенствование процесса гашения извести (Информация) 20

**А.А. СЕМЁНОВ
Тенденции развития отечественной силикатной промышленности 25**

Бетон и железобетон в промышленном и гражданском строительстве

**Р. МОЦЕЙКИС, А. КИЧАЙТЕ, Г. СКРИПКЮНАС, Г.И. ЯКОВЛЕВ
Механические характеристики и пластичность армированного
стекловолокном бетона с модифицированной матрицей 27**

**Г.С. СЛАВЧЕВА, М.А. ШВЕДОВА, Д.С. БАБЕНКО
Анализ и критериальная оценка реологического поведения смесей
для строительной 3D-печати 34**

**А.А. ДАВИДЮК, Е.С. ФИСКИНД, О.А. ГУСАРЬ, В.В. БАЛАКИРЕВА
Преимущества в производстве и применении блоков из ячеистого бетона 41**

**О.М. СМИРНОВА, А.М. ХАРИТОНОВ
Прочностные и деформативные свойства фибробетона
с макрофиброй на основе полиолефинов 44**

**С.Э. ЯНЮТИНА
Использование отходов теплоэнергетики в производстве ЖБИ
для решения экологических проблем 50**

**Л.И. КОШЕЛЕВА, С.П. МИУСОВ, Д.Г. РЯЗАНЦЕВ, С.С. КОВЫРШИН
Причины раскрытия деформационных швов фундаментов
станции НПС-2 нефтепровода Куюмба – Тайшет 55**

**С.А. ЗЕНИН, Р.Ш. ШАРИПОВ, О.В. КУДИНОВ
Предложения по общим правилам расчета и конструирования
сборно-монолитных каркасных безригельных конструктивных систем
многоэтажных жилых и общественных зданий 61**

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

STROITEL'NYE MATERIALY® № 12

Founded in 1955

(766) December 2018

Editor-in-chief

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

Editorial Board

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

NEDOSEKO I.,
Doctor of Science (Engineering)
(Ufa, Bashkortostan)

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

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

TRAVUSH V.,
Doctor of Science (Engineering),
academician of RAACS (Moscow)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Ceramic building materials

Technargilla-2018 (Information).....4

Modern and Powerful Brick Factory "Amstron",
Producing an Innovative Product—ceramic Block PORIKAM,
in November 2018 Celebrated its First "Warm Anniversary" — 5 years (Information).....7

Plants with a Line of Hand Molding Easymud: Made in Italy (Information).....8

Effect of Special Additives Used in the Ceramic Industry
on the Clay Mass (Information).....10

ZMB BRAUN is a Reliable and Competent Partner
of Ceramic Brick Manufacturers Worldwide (Information).....14

Silicate building materials

20 ibausil — the Largest International Congress on Building
and Construction Materials (Information).....16

The XII International Conference SILICATex in Suzdal (Information).....18

Improving the Process of Lime Slaking (Информация).....20

A.A. SEMENOV

Trends in Development of Domestic Silicate Industry.....25

Concrete and reinforced concrete in industrial and civil engineering

R. MOCEIKIS, A. KIČAITĖ, G. SKRIPKIŪNAS, G.I. YAKOVLEV
Mechanical Characteristics and Ductility of Glass Fiber Reinforced Concrete
with Modified Matrix.....27

G.S. SLAVCHEVA, M.A. SHVEDOVA, D.S. BABENKO
Analysis and Criteria Assessment of Rheological Behavior of Mixes
for Construction 3-D Printing.....34

A.A. DAVIDYUK, E.S. FISKIND, O.A. GUSAR', V.V. BALAKIREVA
Advantages in Production and Application of Cellular Concrete Blocks.....41

O.M. SMIRNOVA, A.M. KHARITONOV
Strength and Strain–Stress Properties of Fiber Concrete
with Macro–fiber on the Basis of Polyolefins.....44

S.E. YANUTINA
The Use of Wastes of Thermal Power Sector in Production
of Reinforced Concrete Products for Solving Ecological Problems.....50

L.I. KOSHELEVA, S.P. MIUSOV, D.G. RYAZANTSEV, S.S. KOVYRSHIN
Reasons for Disclosure of Deformation Seams of Foundations
at the NPS–2 Station of the Kuyumba — Tayshet Oil Pipeline.....55

S.A. ZENIN, R.Sh. SHARIPOV, O.V. KUDINOV
Suggestions for General Rules of Calculation and Design
of Precast–Monolithic Frame Girderless Structural Systems
of Multi–Storey Residential and Public Buildings.....61

Строительные материалы № 12

В.Ф. СТЕПАНОВА, С.Е. СОКОЛОВА, А.Л. ПОЛУШКИН

Вторичная защита железобетонных конструкций системами покрытий на основе органических составов. 66

Результаты научных исследований

С.В. ФЕДОСОВ, А.М. ИБРАГИМОВ, Л.Ю. ГНЕДИНА

Проектирование конструкции стенки доменной печи из эффективных материалов.

Часть 3. Математическая модель процесса теплопереноса. 71

В порядке обсуждения

Н.В. ЛИЧМАН

К вопросу о терминах «серное связующее» и «серное вяжущее» в серосодержащих композиционных материалах. 76

Указатель статей, опубликованных в журнале «Строительные материалы»® в 2018 г., см. на сайте: https://journal-cm.ru/images/files/2018/Ukazatel_SM_2018.pdf



Stroitel'nye Materialy No. 12

V.F. STEPANOVA, S.E. SOKOLOVA, A.L. POLUCHKIN

Secondary Protection of Reinforced Concrete Structures with Coating Systems Based on Organic Compounds 66

Results of scientific research

S.V. FEDOSOV, A.M. IBRAGIMOV, L.Yu. GNEDINA

Design of the Blast Furnace Wall Structure Made of Efficient Materials.

Part 3. Mathematical Model of Heat Transfer Process 71

As a matter for discussion

N.V. LICHMAN

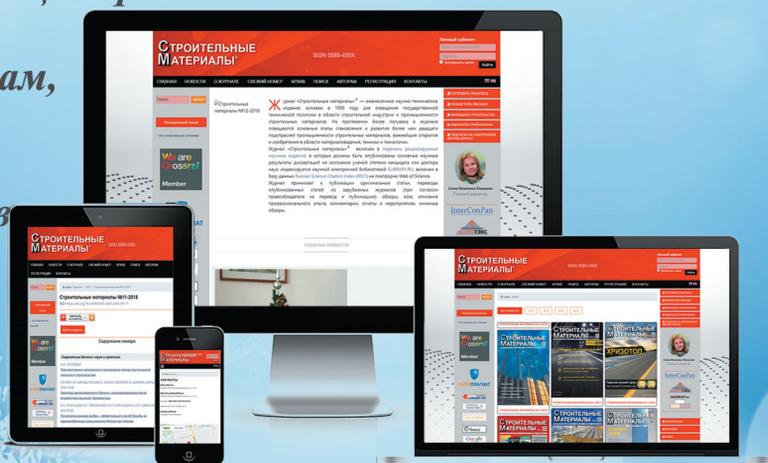
To the Issue of Using the Terms "Sulfur as Bonding Agent" and "Sulfur as Binding Agent" in Sulfur Composites. 76

Уважаемые коллеги, с Новым годом!

Начните пользоваться в новом 2019 г.

новым сайтом журнала «Строительные материалы»®!

- Сайт соответствует всем требованиям международных поисковых систем, реферативных баз и баз цитирования
- Удобный поиск по годам, авторам, ключевым словам
- Подробные правила для авторов
- Подписка на электронную версию журнала



<https://journal-cm.ru>



TECNARGILLA 2018

24–28 сентября 2018 г. в г. Римини (Италия) прошла 26-я Международная выставка технологии и оборудования для керамической и кирпичной промышленности Tecnargilla. Это комплексное выставочное мероприятие, включающее собственно выставку, обширную деловую программу, а также конкурс дизайнерских работ в области применения керамических материалов, является крупнейшим событием в первую очередь в области тонкой и санитарно-технической керамики.

Выставка Tecnargilla-2018 продемонстрировала стабильность на фоне затяжного экономического кризиса и спада инвестиционной активности. Новые разработки в области технологии керамики и оборудования представили около 400 компаний, которые заняли все 10 выставочных павильонов.

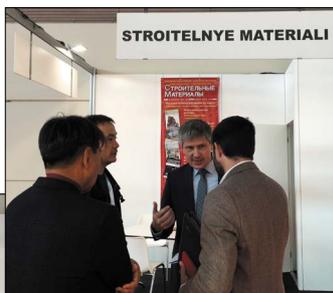
В экспозиции произошли существенные изменения. К традиционным тематическим разделам Tecnargilla (технология и оборудование для тонкой и санитарно-технической керамики), Claytech (технология и оборудование для строительной керамики), Kromatech (производство пигментов, деколей, глазурей, смальт, технологии окрашивания и декорирования керамических изделий) и T-White (оборудование и технологии производства санитарно-технических изделий и посуды) присоединились Greentech – посвященный технологиям для энергосбережения, а также T-Finishing – финишная отделка керамики.

Традиционно самое большое число посетителей приехало из Италии, Испании, Китая, Турции, Индии, России, Бразилии, Германии, Ирана и Польши. Организаторы выставки отметили увеличение числа специалистов из Беларуси, Казахстана, Туркменистана, Бангладеш, Пакистана, Нигерии, Филиппин. В то же время несколько снизилась активность таких стран, как Турция, Иран, Таиланд, Алжир, Тунис, Саудовская Аравия, Объединенные Арабские Эмираты, Малайзия и Марокко.

Выставка Tecnargilla является одним из наиболее важных мировых мероприятий керамической отрасли. Мы, как постоянные экспоненты выставки, можем констатировать, что некоторое снижение общего числа посетителей успешно компенсируется повышением статуса посетителей, в основном это руководители высшего звена, облеченные полномочиями для принятия решений, представители собственников, топ-менеджеры компаний.

Экспозиции крупнейших игроков на рынке технологического оборудования SACMI, SISTEM Ceramics традиционно занимали отдельные павильоны, где были смонтированы действующие технологические линии.

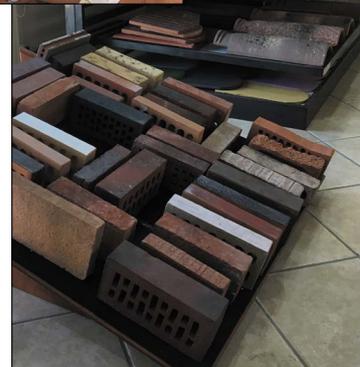
Для читателей журнала «Строительные материалы»[®] наибольший интерес всегда представляет экспозиция Claytech.



В данном разделе было представлено более 50 участников, среди которых преобладали итальянские производители оборудования для кирпичной промышленности.

Для российских коллег стенд журнала всегда является базой, где можно отдохнуть и обсудить увиденное, на-

значить встречу как с соотечественниками, так и с зарубежными партнерами. Для редакции и оргкомитета МИАП КЕРАМТЭКС свой стенд – место переговоров и заключения договоров на рекламную компанию и участие в конференции.



В деловых поездках, которые редакция организует для коллег, органично сочетается работа на выставке и участие в деловой программе, знакомство с машиностроительными компаниями и посещение заводов по производству керамических стеновых материалов.

Партнером КЕРАМТЭКС в 2018 г. стала компания «ЭСТЕЗО-ТРЭЙД», которая представляет в России интересы ряда итальянских производителей оборудования для керамической промышленности.

Одна из таких компаний – **SMAC S.p.A.** – традиционно семейная фирма, созданная в 1969 г. Главным направлением ее деятельности является проектирование и производство специальных машин для декорирования керамических материалов. Оборудование для кирпичной промышленности выпускается более 30 лет. Хотя компания относительно небольшая, в ней трудится менее 30 человек, но высокий профессионализм, творческий потенциал, научное разделение труда и современный маркетинг позволяют осуществлять поставки по всему миру.

В главном офисе компании, расположенном в небольшом городке Фьорано-Моденезе недалеко от Модены, мы познакомились с руководством и главным инженером компании, посетили сборочный цех.

Приятным бонусом поездки в гости к компании SMAC S.p.A. стало посещение «Палаццо Дукале» в г. Сассуоло, – ба-

рочного дворца, перестроенного в 1634 г. из старинного замка Рокка середины XV в. В свое время он стал местом роскошных приемов и летнего проживания герцогского двора, и благодаря своему праздничному облику, фонтанам, чудесному парку, роскоши отделки и причудливому рыбному пруду «Пескьера» получил название «Делиция» (отрада).

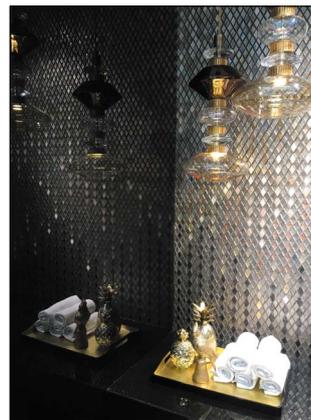
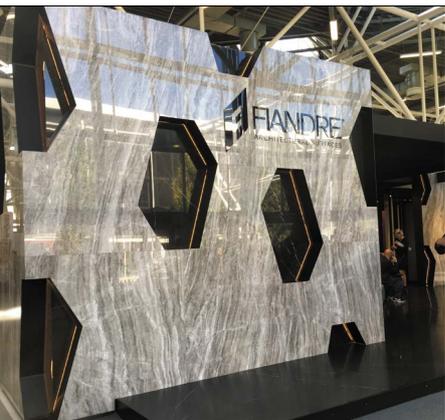


Далее наш путь лежал в коммуну Торриле (округ Парма), где расположена компания **Latermec s.r.l.** Это семейная фирма в области кирпича и строительной керамики работает с 1991 г., но уже завоевала высокий авторитет в профессиональном сообществе. В ее производственной программе несколько направлений. Хромирование и нанесение защитного покрытия TENAX на изнашивающиеся детали: шнеки, рубашки, защитные гильзы валов и др.

Также компания проектирует и собирает высокопроизводительные фильеры для кирпичных прессов, моечные машины для них. Кроме того, специалисты Latermec ведут инженерные исследования, направленные на повышение производительности прессов.

Услугами компании уже воспользовались российские предприятия, в частности, Ревдинский КЗ, «Пятый элемент», КЕММА и др.





В этом году группа КЕРАМТЭКС совершила короткую разведывательную поездку на выставку CERSAIE, которая проходит в Болонье в те же сроки, что и Tesnargilla. Она полностью посвящена керамическим строительным и отделочным материалам: плитке, керамограниту, санфаянсу, оборудованию для ванных комнат. Общая выставочная площадь составила более 160 тыс. м², на которой разместились стенды 840 компаний, в том числе 314 зарубежных из 40 стран. За пять дней выставку посетили 112 тыс. человек. В рамках программы «Строительство, жилище, мышление» с основной лекцией выступил лауреат Притцкеровской премии Ричард Роджерс.



Интересно отметить, что в программе выставки есть специальный проект для молодежи – Cersaie for Students, в работе которого в этом году приняли участие более 3100 учащихся старших классов школ и студентов университетов.

Конечно, в течение краткого однодневного визита охватить всю экспозицию не удалось, но такой цели мы перед собой не ставили. Нам было важно понять, в каком направлении развивается философия керамики для жизни. Главным трендом на ближайшие годы останется экологичность и натуральность во всех проявлениях. Практически на всех стендах мы наблюдали имитации древесины, натурального камня, ротанга, речной гальки, листья. Также отрадно было встретить коллег из Белоруссии. Стенд компании КЕРАМИН пользовался популярностью посетителей.

Строительная и отделочная керамика вносит значительный вклад в формирование комфортной среды обитания человека. Поэтому развитие керамической промышленности будет продолжаться несмотря на кризисы и изменения законодательства в области строительства. И этому, как и многие годы, будут способствовать журнал «Строительные материалы»® и конференция КЕРАМТЭКС.

Оставайтесь с нами!





Современный и мощный кирпичный завод «Амстрон», производящий инновационный продукт — керамический блок PORIKAM, в ноябре 2018 года отметил первый «теплый юбилей» — 5 лет

В 2013 г. в селе Толбазы Аургазинского района открылся первый в Башкортостане завод по производству крупноформатных керамических блоков PORIKAM (ПОРИКАМ). Завод под названием «Амстрон» оснащен итальянским оборудованием последнего поколения и выпускает продукцию высочайшего качества, что постоянно подтверждается лабораторными исследованиями.

Завод имеет свою аттестованную технологическую лабораторию, где строго отслеживаются все этапы производства, от приема сырья до выпуска готовой продукции. Состав сырья постоянно совершенствуется, создаются новые пропорции, улучшаются характеристики камня.

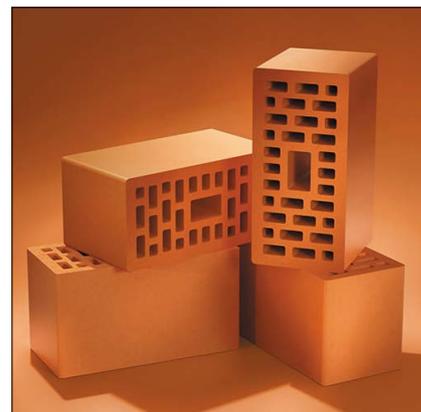
PORIKAM – универсальный строительный материал, который можно использовать как для частного домостроения, так и для многоквартирных высоток. Марка блоков по прочности М100 – М150. Ежегодно предприятие выпускает 100 млн условного кирпича, что составляет 30% от общего

объема стеновых материалов, производимых в Республике Башкортостан.

На заводе «Амстрон» в Толбазах сегодня работает 250 человек, которые прошли специальное обучение еще до запуска предприятия.

Крупнейший производитель керамического блока всего за пять лет занял одну из ключевых позиций среди игроков производственного рынка. Компания продолжает активное развитие и продвижение керамического блока PORIKAM на рынке Российской Федерации.

16 ноября 2018 г. кирпичный завод «Амстрон» торжественно отметил пятилетний юбилей. Для приглашенных гостей была организована экскурсия по заводу, проведены тематические мастер-классы и лекции. В рамках юбилея состоялся День дилера, на котором в неформальной обстановке все участники производственной и сбытовой деятельности смогли обменяться опытом и впечатлениями от мероприятия.



Кирпичный завод «Амстрон» ставит для себя новые задачи и пути развития. Компания планирует расширение географии поставок, активное обучение строителей и увеличение ассортимента керамического блока.

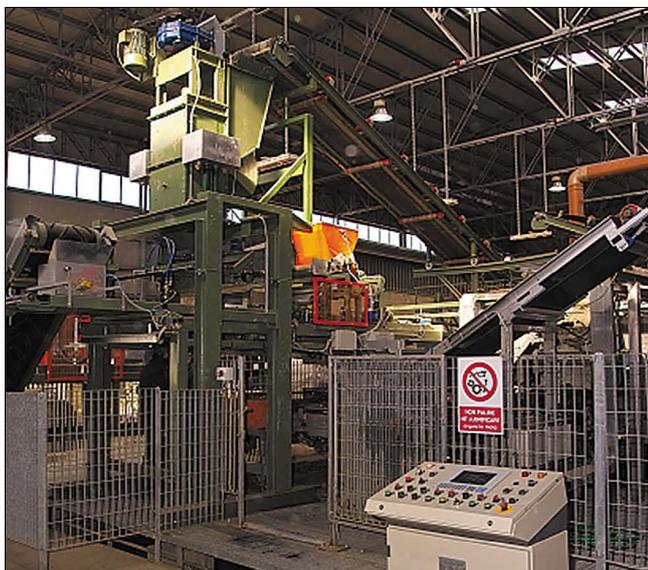
Редакция журнала «Строительные материалы» и организационный комитет конференции КЕРАМТЭКС от всей души поздравляют коллектив завода «Амстрон» с пятилетием и желают творческих и производственных побед!

Подробно с продукцией завода и с ее применением на стройках Республики Башкортостан участники конференции КЕРАМТЭКС смогут познакомиться в июне 2019 года.



КИРПИЧНЫЙ ЗАВОД

Заводы с линией ручной формовки Easymud: сделано в Италии



Компания Сарассиоли (Капаччоли) является единственным производителем оборудования, запатентовавшим производство кирпича по технологии **Easymud** – способ производства, аналогичный «ручной формовке».

В последнее время растет спрос на кирпич и плитку hand-made – «сделано вручную», так же как и в целом на керамические изделия, формованные без вакуума и с использованием старинных технологий.

Спрос на такую продукцию постоянно растет из-за многочисленных реставраций старых зданий и сооружений, где нельзя использовать стандартные кирпичные изделия. Керамические изделия ручной работы прекрасно подходят для городского строительства, благодаря отличной морозостойкости, а в случае дорожного покрытия, благодаря своей пористой нескользящей поверхности.

В то время как для стандартного кирпича существующие технологии удовлетворяют потребности его производства, для производства специальных нестандартных керамических изделий, плитки и аксессуаров до сих пор не были найдены эффективные решения.

Принимая во внимание этот растущий спрос на нестандартную керамику, компания Сарассиоли изучила, запатентовала и сегодня выпускает полностью автоматизированные линии для производства кирпича, плитки и специальных изделий «под старину», используя глину с повышенной влажностью, без вакуумной обработки для получения продуктов эстетически аналогичных тем, которые производятся вручную.

Для того чтобы эти автоматические линии наиболее полно удовлетворяли потребности рынка, компанией были разработаны специфическое оборудование и специальные решения, которые позволяют чрезвычайно быстро осуществлять замену каждого выпускаемого типа производимых изделий и требуют небольших инвестиций.

Эти системы обеспечивают полную автоматизацию операций по формованию, загрузку изделий на поддоны/рейки и, следовательно, позволяют достичь высокой производительности при минимальном количестве обслуживающего персонала. Линия **Easymud** чрезвычайно компактная, и ее можно установить на уже действующую линию, используя существующие транспортные линии загрузки и разгрузки, в качестве линии дополнения к производимому ассортименту или в виде отдельной полностью автоматизированной линии, необходимой для загрузки и выгрузки сушильных стеллажей.



SOFTMUD PLANTS EASYMUD®

Through the EASYMUD® technology, Capaccioli develops complete and automatic systems for floors, face covering bricks and special pieces in soft mud with “handmade” characteristics, with several surface finishing.

Для технологии EASYMUD® мы разработали комплектные и автоматизированные системы для производства брусчатки, облицовочных кирпичей и специальных изделий из мягкой смеси с характеристиками «ручной формовки» и несколькими поверхностными покрытиями.



CAPACCIOLI s.r.l. Via Piave, 51 - 53048 Sinalunga (SIENA) - ITALY

Tel +39.0577.679296 - Fax +39.0577.678218 | mec@capaccioli.com - www.capaccioli.com

CAPACCIOLI S.R.L.

Via Piave, 51 Sinalunga 53048 (SI)

Tel +39 0577679296

Fax +39 0577678218

commerciale@capaccioli.com www.capaccioli.com

Некоторые технические данные линии Easymud:

Производительность/ч 4000 шт.
 Производительность/ч 8000 шт.
 Производительность/ч 12000 шт. и кратные
 Закрытые формы с использованием песка голландский тип
 Открытые формы без песка испанский тип

Преимущества линии Easymud компании Capaccioli:

Мгновенная замена выпускаемых изделий
 Автоматический цикл формования и сортировки изделий
 Загрузка/разгрузка изделий
 Минимальные инвестиции
 Производительность до 30 млн шт./год

Основываясь на опыте многочисленных реализаций автоматических линий **Easymud**, работающих как с от-

крытыми формами на деревянных досках, так и с закрытыми формами, компания Capaccioli также разработала полуавтоматическую систему для заполнения пресс-форм.

С помощью этой машины можно создать рабочую станцию, которая гарантирует идеальную дозировку глины, заполнение формы и резку. Таким образом, можно использовать два типа пресс-форм:

1. Формы открытого типа.
2. Закрытые формы, которые используются и для высокой производительности.

Продукты, полученные с помощью запатентованной системы **Easymud**, очень высокого качества, они практически идентичны изделиям, сделанным вручную, и в то же время обладают максимальным разнообразием.



Влияние особых добавок, используемых в керамической промышленности, на глиняную массу

Введение

Энергетическая стратегия «Европа 2020» наряду с энергетическими и климатическими целями (безопасность и независимость энергоресурсов и их поставок, конкурентоспособность) для энергосбережения и сохранения окружающей среды требует срочной корректировки энергоемкой промышленной деятельности в соответствии с новой политикой.

Кирпичные и черепичные заводы представляют собой энергоемкие производственные единицы, и их производственный цикл во многом зависит от достаточного, удовлетворяющего этот цикл энергопотребления. Сырье и добавки, из которых состоит керамическая масса, являются одним из важных факторов в этом направлении. Кроме того, каждый тип продукта (полнотельный или пустотельный кирпич, плитка, пористая теплоизоляция и т. д.) требует различных добавок для достиже-

Таблица 1. Используемые добавки

ИНЕРТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ	ЛЕГКИЕ МАТЕРИАЛЫ	ПРОМЫШЛЕННЫЕ СУБПРОДУКТЫ
Песок Известь Уголь	Расширенный полистирол Опилки Оливковый жмых Бумажный ил	Железная стружка Остатки бокситового металлургического процесса

Таблица 2. Критические категории производственного процесса

ЭКСТРУЗИЯ	СУШКА	ОБЖИГ
Экструзионная вода Пластичность	Чувствительность Усадка Прочность на изгиб	Чувствительность Теплопроводность Прочность Внешний вид Водопоглощение

ния свойств, которые регламентируются стандартами для каждого конкретного продукта.

Компания SAVO S.A. (САБО С.А.) в соответствии с европейской энергетической и экологической политикой провела серию экспериментальных

Таблица 3. Сводные результаты испытаний

Смеси		ТС1	ТС2	ТС3	ТС4	ТС5	ТС6	ТС7	ТС8	ТС9	ТС10
		wt. -%									
Материал 1 - Глина без добавки	T 1801	100	97	92	92	96.3	85	75	97	89	92
Материал 2 - EPS	T 1802	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-
Материал 3 - Бумажный ил	T 1803	-	-	8	-	-	-	-	-	-	-
Материал 4 - Уголь	T 1804	-	-	-	8	-	-	-	-	-	-
Материал 5 - опилки	T 1805	-	-	-	-	3.7	-	-	-	-	-
Материал 6 - известь	T 1806	-	-	-	-	-	-	25	-	-	-
Материал 7 - Железный лом	T 1807	-	-	-	-	-	15	-	-	-	-
Материал 8 - Отходы дистилляции оливкового масла	T 1808	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-
Материал 9 - Песок	T 1809	-	-	-	-	-	-	-	-	11	-
Материал 10 - Шлам с высоким содержанием грязи	T 1810	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8
Пластичность по Pfefferkorn	wt. -%	0.84	0.65	0.82	0.72	0.71	0.74	0.62	0.77	0.80	0.85
Пластичность по Pfefferkorn		17.48	18.71	18.90	17.95	19.26	16.46	19.14	20.04	15.64	16.37
Линейная сухая усадка	%	6.82	5.97	6.96	6.07	4.95	4.78	7.12	5.59	5.82	5.12
Прочность на изгиб / сухой продукт	Kг/см ²	123.28	46.87	76.39	59.03	95.49	75.61	85.08	85.16	100.8	131.24
Чувствительность к сушке (кривая Бигот)		1.98	1.21	1.44	1.48	1.41	1.49	1.57	1.46	1.41	1.95
Температура обжига / время выдержки	°C	900 / 3	900 / 3	900 / 3	900 / 3	900 / 3	900 / 3	900 / 3	900 / 3	900 / 3	900 / 3
Потеря веса (сухой - обожженный)	%	8.18	10.47	12.71	15.50	10.72	2.70	16.83	16.33	7.75	8.43
Потеря веса (сырой - обожженный)	%	24.15	27.51	29.05	30.38	27.9	18.74	32.82	33.08	22.12	23.31
Линейная усадка	%	0.05	+ 0.32	0.01	+ 0.31	+ 0.23	+ 0.05	0.04	0.04	0.00	0.65
Линейная общая усадка	%	6.89	6.00	6.71	5.80	4.55	4.78	7.16	5.50	6.00	5.74
Водопоглощение	%	15.60	17.47	14.50	13.12	14.44	11.97	13.62	17.27	16.27	11.46
Прочность на изгиб / обжиг	Kг/см ²	240.86	79.67	166.76	126.75	130.21	164.90	182.31	100.8	189.44	268.66
Прочность на изгиб / обжиг	МПа	23.62	7.81	16.35	12.43	12.77	16.17	17.88	9.88	18.57	26.34
Плотность тела	Kг/м ³	1.72	1.22	1.49	1.49	1.48	1.85	1.55	1.60	1.70	1.92
Теплопроводность	W/(m·K)	0.518	0.336	0.427	0.427	0.424	0.575	0.45	0.47	0.51	0.60



Таблица 4. Кумулятивные результаты воздействия на свойства массы глины после введения различных добавок.

	Влияние на пористость	Пластичность	Усадка при сушке	Прочность	Чувствительность к сушке	Восприимчивость к текстуре	Чувствительность к нагреву	Сила при нагреве	Чувствительность к охлаждению	Прочность на охлаждение	Теплопроводность	Прочность нажатие	Выцвет
Красный шлам	x	+	-	+	-	0	0	+	0	-	+	+	-
EPS	xxxx	-	-	-	-	-	+	-	0	-	-	-	0
Бумажный ил	xxx	+	0	-	-	-	+	-	0	-	-	-	0
Опилки	xxx	-	-	-	-	-	+	-	0	-	-	-	0
Уголь	xx	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	0
Известь	xx	+	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	+
Железный лом	x	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-	+
Отходы оливковой дистилляции	xx	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	0
Песок	xx	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
Объем пористости	+ Повышенный - Пониженный } Влияние 0 Нейтральный												
x - самый низкий xxxx - самый высокий													

работ с акцентом на смешивание различных типов добавок в одной керамической массе с целью определения влияния этих добавок на энергоёмкость производства.

Методология

Эксперименты проводились на оборудовании собственной лаборатории SABO S.A. совместно с лабораторией сектора металлургии и технологии материалов Афинского национального технического университета. Смесь продуктов завода «XALKIS» (ХАЛКИС) использовалась в качестве основного сырья, которое смешивалось с различными добавками.

Широкий ассортимент добавок, которые были использованы, можно разделить на три категории: инертные материалы, легкие материалы и промышленные отходы (табл. 1). В общей сложности было использовано девять различных материалов в качестве добавки в керамическую массу в различных пропорциях.

Вторым шагом была экструзия пустотелых и полнотелых образцов, которая проводилась с использованием вакуумного пресса лаборатории. Во-первых, была произведена экструзия образцов из исходного сырья, а во-вторых, экструзия была произведена на материале, смешанном с упомянутыми выше добавками. Затем последовала серия экспериментов, чтобы определить изменения механических и физиче-

ских свойств глиняной массы и их влияние на производственный процесс. Значительный акцент был сделан на трех основных разделах производственного процесса (табл. 2).

Результаты

Помимо изменений механических и изоляционных свойств, которые добавки приносят в конечный продукт, во многих случаях они также способствуют экономии топлива в печи. Экономия топлива тесно связана с теплопроводностью каждой добавки и ее соотношением с конечной массой (табл. 3 и 4).

Экспериментальные исследования показали, что добавки могут во много раз улучшать свойства керамической массы и влиять на энергоёмкость процесса, сокращая энергопотребление. Результаты настоящего проекта очень важны для оптимизации работы предприятий керамической промышленности.

Янис Макриджанис
Горный инженер-металлург
sb_services@sabo.gr

SABO S.A.
34002 Василико – Халкис – Эвбея-Греция
Тел.: +30 22210 51805-9
E-mail: sb_sales@sabo.gr
www.sabo.gr

Реклама

LINGL – ПАРТНЕР ДЛЯ КЕРАМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ



Грубая керамика



Огнеупоры



Техническая керамика



Санитарная керамика

LINGL предлагает различные решения для всех стадий разработки проекта керамического производства: Наши инженеринговые услуги, включающие в себя исследования сырья и разработку технологии, а также индивидуальную оптимизацию оборудования и перспективные концепции производства, помогают нашим клиентам во всем мире получить конкурентные преимущества.

Сервисное обслуживание является для фирмы LINGL важным и основным моментом. Силами нашего сервисного филиала „ООО Лингл Сервис“ в г. Санкт-Петербурге мы оказываем оптимальную поддержку нашим клиентам.

Это включает в себя как снабжение запасными и изнашиваемыми деталями и разработку мер по оптимизации и модернизации производства, так и техническое обслуживание, ремонт, проведение обучений и тренингов.

Качество, компетенция и надежность способствуют сохранению длительных партнерских отношений - для сохранения этих ценностей мы работаем для Вас уже более 80 лет!

LINGL - качество „Сделано в Германии“



MADE IN GERMANY



КЕРАМТЭКС 2019

Представительство LINGL в России:
Глеб Юшин - gleb.yushin@lingl.ru
Тел.: +7 812 309 5611 - Моб.: +7 911 812 2237

Представительство фирмы „ЛИНГЛ“ в России и странах СНГ 196247, Россия, г. Санкт-Петербург - Ленинский проспект, дом 160 офис 305-1 - тел.: +7 812 309 5611 - моб. тел. +7 911 812 2237 - mail: lingl.russia@gmail.com

www.lingl.com

ФАСАДНАЯ АКАДЕМИЯ



26-27
февраля

BUILDING SKIN RUSSIA 2019

В РОССИИ ДНИ ОКНА 19
BUILD INSULATION 2019

100
спикеров

Впервые, одновременно пройдут три форума по материалам и технологиям внешних оболочек зданий:

- 3-й форум Building Skin Russia 2019
- 4-й форум «Дни окна в России 2019»
- 3-й форум «Строительная изоляция 2019»

ФАСАДЫ
ОКНА
ИЗОЛЯЦИЯ

СОБЫТИЕ ГОДА
НА РЫНКЕ ВНЕШНИХ
ОБОЛОЧЕК ЗДАНИЙ

Регистрация: www.fasad-rus.ru/bsr/

Реклама

KELLER*Creating Solutions*

**Всё из
одних рук!**
Поставка,
сервис и
поддержка!

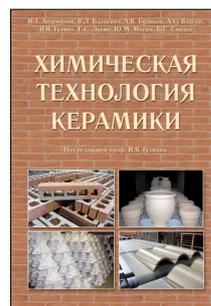
*intelligent
clay
solutions*

ICS

Инновации из
традиции.
Передовая
технология для
керамической
промышленности.

KELLER HCW GmbH
Carl-Keller-Str. 2-10 · 49479 Ibbenbüren, Germany
Тел. +49(0)5451 850 · факс +49(0)5451 85310
www.keller.de · info@keller.de

KELLER A DIVISION OF GROUPE LEGRIS INDUSTRIES



Книга «Химическая техноло- гия керамики»

Авторы – коллектив ученых РХТУ им. Д.И. Менделеева, под редакцией И.Я. Гузмана.

В пособии освещены вопросы современного состояния технологии основных видов керамических изделий строительного, хозяйственно-бытового и технического назначения, а также различных видов огнеупоров. Книга соответствует программе общего курса химической технологии керамики и огнеупоров при наличии также курсов соответствующих специализаций. Подробно изложены характеристика сырья, проблемы подготовки керамических масс и их формование, особенности механизмов спекания, а также дополнительные виды обработки керамики: металлизация, глазурирование, декорирование, механическая обработка. Описаны механические, деформационные, теплофизические, электрофизические свойства керамических изделий, в том числе при высокой температуре.



Книга «Керамические пигменты»

Авторы – Масленникова Г.Н., Пищ И.В.

В монографии рассмотрены физико-химические основы синтеза пигментов, в том числе термодинамическое обоснование реакций, теория цветности, современные методы синтеза пигментов и их классификация, методы оценки качества. Приведены сведения по технологии пигментов и красок различных цветов и кристаллических структур. Описаны современные методы декорирования керамическими красками изделий из сортового стекла, фарфора, фаянса и майолики. Книга предназначена для научных сотрудников, студентов, специализирующихся в области технологии керамики и стекла, а также для инженерно-технических работников, занятых в производстве керамических изделий и красок.

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

ZMB BRAUN – надежный и компетентный партнер производителей керамического кирпича во всем мире

В современной ситуации жесткой конкуренции производители керамического кирпича в России находятся в постоянном поиске альтернативных изделий, производство которых позволит им сохранить и улучшить свое положение на рынке строительных материалов. В секторе облицовочных материалов наряду с кирпичом ручной формовки, тротуарным и фасадным клинкером таким изделием является двойная плитка типа «Шпальтплаттен». В Германии и других европейских странах эта плитка уже много лет применяется чаще, чем иные виды плиток. В процессе экструзии данного изделия формуются одновременно две или несколько плиток, которые разделяются только после обжига. Характерной особенностью такой плитки является профильная поверхность ее внутренней стороны, обеспечивающая, в зависимости от необходимости возможность крепления плитки на фасадную систему или же лучшее сцепление с раствором.

Плитка «Шпальтплаттен» используется как для наружных работ: фасады и фундаменты зданий, террасы, балко-

ны, подъезды, так и для оформления внутренних интерьеров: полы, стены, подоконники, ступени и т. д.

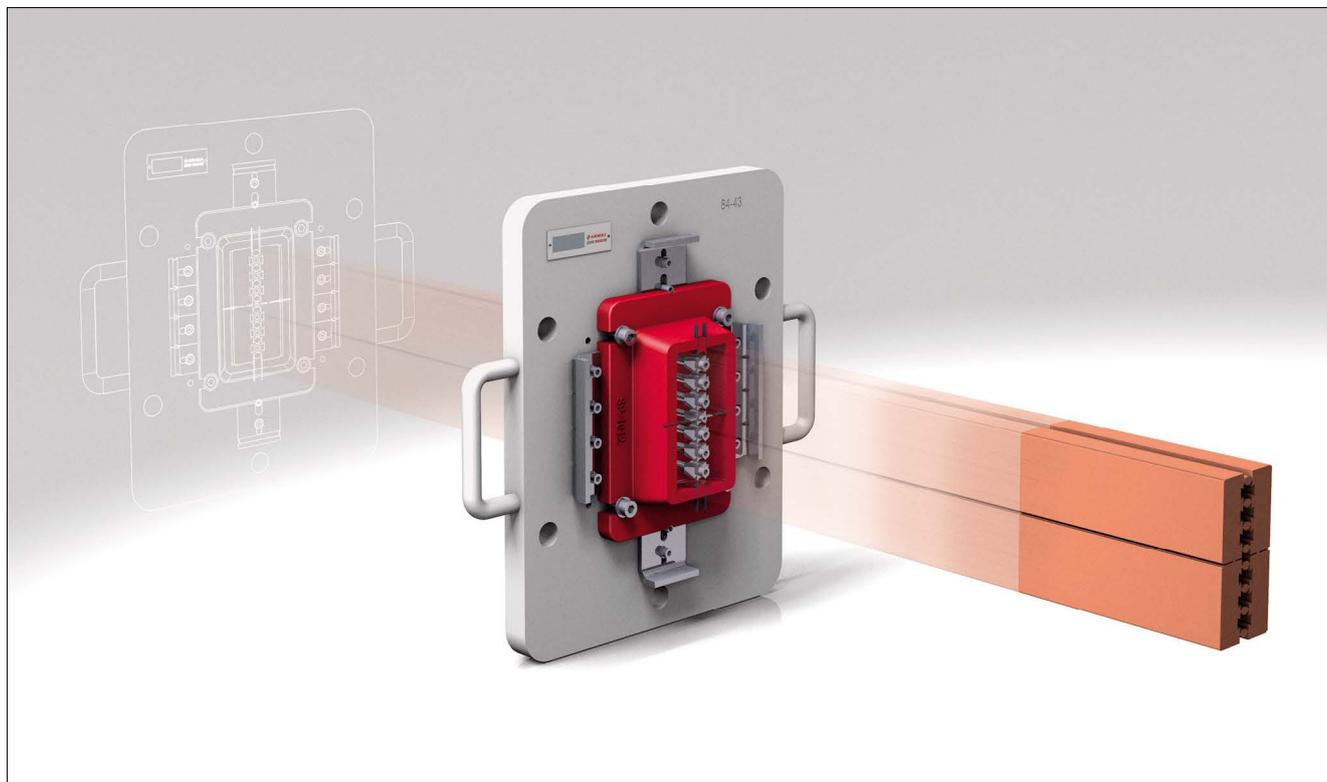
Так как плитка производится по той же технологии, что и кирпич, она обладает всеми преимуществами этого строительного материала и является достойной заменой, когда обычный кирпич использовать невозможно или нецелесообразно.

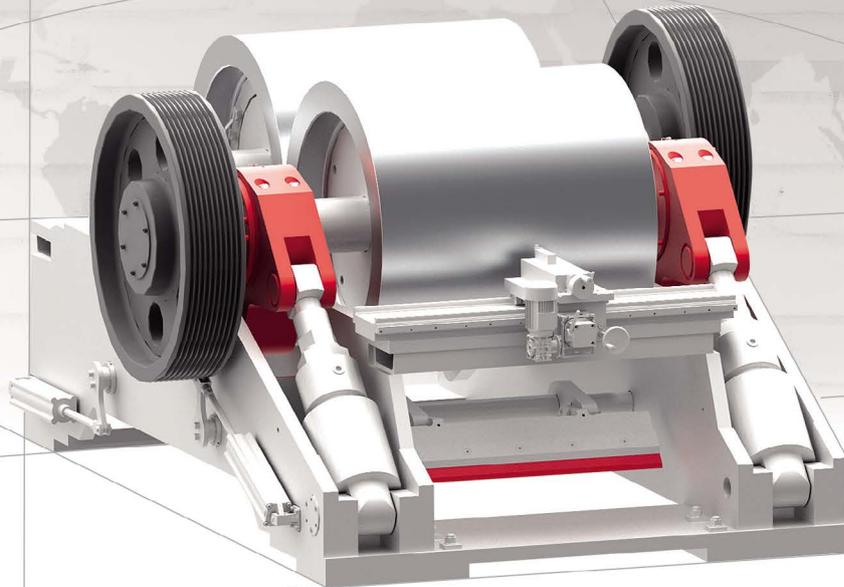
В линейке продукции VARIO-TEC фирма ZMB BRAUN поставляет мундштуки и головки пресса для производства плитки «Шпальтплаттен». При производстве лицевых видов изделий, и в частности плитки, особенно важен выбор материала для изготовления мундштука, который должен обладать высокой износостойкостью и обеспечивать соблюдение геометрической формы изделия. ZMB BRAUN – это высокое качество продукции и индивидуальный подход к клиенту.

ZMB BRAUN GmbH
Friedrichshafen (Germany)

ООО «Хендле-Браун»
196247 Санкт-Петербург (Российская Федерация)
Тел: +7 812 3095663 · Эл. Почта L.Petrov@haendle-braun.ru

ООО «Хендле Урал»
454138 Челябинск (Российская Федерация)
Тел +7 351 219 8535 · Эл. Почта haendle.ural@gmail.com





Инновационная система для помола при зазоре от 1 мм - валцы тонкого помола Гамма

Фирма HÄNDLE предлагает различные концепции тонкого измельчения. При проектировании валцов Gamma были скомбинированы проверенные и уже зарекомендовавшие себя системы валцов типа Alpha II и Beta. В результате чего новые кулисные валцы являются функциональными и экономически выгодными.

HÄNDLE - ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЦЕННОСТЬ В КИРПИЧНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ.



20. ibausil

крупнейший международный конгресс по строительным материалам

12–14 сентября 2018 г. в г. Веймаре (Германия) в конгресс-центре Congress centrum neue weimarhalle состоялся 20-й Международный конгресс по строительным материалам – 20.ibausil. Его организатором традиционно выступает Институт строительных материалов им. Ф.А. Фингера (FIB) университета Баухаус (Bauhaus-Universität). В работе конгресса приняли участие более 600 ученых и представителей производственных предприятий из 25 стран мира.

Провести такое масштабное мероприятие силами только университета чрезвычайно сложно. Высокий международный уровень достигается в значительной степени благодаря финансовому участию крупных производственных предприятий. В этом году ibausil поддержали Knauf Gips KG, Bundesverband der Gipsindustrie e.V., Deutsche Bauchemie e.V., Heidelberg Cement AG, SCHWENK Zement KG, Bruker-AXS GmbH, LOESCHE GmbH, CEMEX Deutschland AG, Sika Services AG, Dyckerhoff GmbH, Implemenia Construction GmbH, TC-MET, Bauhaus Weiterbildungsakademie Weimar e.V.



Основатель факультета строительных материалов Фридрих Август Фингер, родился 29.04.1885 г. во Франкфурте-на-Майне, изучал гражданское строительство в Дармштадте и Мюнхене.

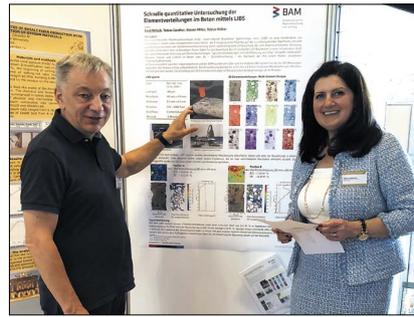
В 1945 г. не только Советскому Союзу потребовалось восстановить разрушенное войной народное хозяйство. Германия стояла перед аналогичной задачей. Ф.А. Фингер в 1945 г. основал институт по разработке строительных материалов, который впоследствии стал Институтом строительных материалов Bauakademie, в настоящее время MFPA (Институт исследований и испытаний материалов). В это же время был создан испытательный центр для строительных материалов, который впоследствии стал Институтом заполнителей и природных камней (ASMW). Профессор Ф.А. Фингер оставался деканом факультета строительных материалов вплоть до ухода на заслуженный отдых в 1958 г.

На пленарном заседании профессор Й. Штарк сделал доклад об истории и становлении конгресса ibausil. Он отметил, что изначально в университете проводились встречи выпускников факультета строительных материалов, который был создан в 1954 г. Ежегодно приезжало все больше и больше ученых и специалистов-производственников.

В 1964 г. эта традиционная встреча получила статус Международной конференции по строительным материалам и силикатам – ibausil. До 1970 г. ibausil проводился каждые 2 года, затем каждые 3 года.

После пленарного заседания работа конгресса традиционно проходила по секциям, что обеспечило участникам возможность заслушать и обсудить большое число докладов. Кроме того, были организованы стендовые доклады.





Наряду с традиционными направлениями исследований в области вяжущих материалов и бетонов, большое внимание участников привлекли трансдисциплинарные направления, такие как экология и использование вторичных ресурсов, а также применение новейших видов исследовательского оборудования разработка нового программного обеспечения, компьютерного моделирования. Это в полной мере соответствует стратегии развития науки, в том числе строительной, целью которой является создание и поддержание комфортной среды обитания человека.

Проведение крупных международных конгрессов, где собираются ведущие специалисты и ученые различных государств, помогает сверить курс направлений исследований и добиться положительных результатов. Выпускаемые к конгрессу *ibausil* сборники докладов являются концентрацией научной мысли в области строительного материаловедения. Достойное место в них каждый раз занимают работы наших соотечественников.

В делегацию российских ученых на *ibausil* 2018 вошли коллеги из Московского государственного строительного университета, БГТУ им. В.Г. Шухова, Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета, Мордовского государственного университета имени Н. П. Огарёва, Пензенского государственного университета архитектуры и строительства, Грозненского государственного нефтяного технического университета имени академика М.Д. Миллионщикова, Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления и др.

Для россиян *ibausil* – независимая неполитизированная площадки для встречи с коллегами из Украины, Литвы, Казахстана...

Несмотря на логистические сложности, участие в таких форумах крайне полезно, так как мероприятия подобного уровня способствуют обмену опытом, знакомству с учеными мирового уровня, заключению новых контактов в области научного сотрудничества, что очень важно для успешного развития и роста науки.

Выросший из встречи выпускников, *ibausil* стал крупнейшим международным форум для обмена научными взглядами. Важнейшей целью конгресса является объединение исследователей из университетов и промышленных предприятий.

В рамках конгресса была организована выставка исследовательского оборудования. Традиционно организаторы предложили гостям экскурсии как по достопримечательностям Веймара и его окрестностям, так и в лаборатории университета.

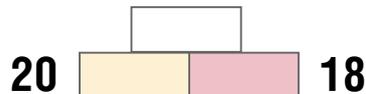
Большая заслуга в том, что *ibausil* последние 20 лет проходит не только на высоком научном и организационном уровне, но и в чрезвычайно дружелюбной, доброжелательной обстановке, принадлежит профессору Хансу Бертраму Фишеру, являющемуся бессменным ответственным секретарем конгресса.

Следующий конгресс *ibausil* состоится в 2021 г. До новой встречи, коллеги!





СИЛИКАТЭКС



XII Международная конференция СИЛИКАТЭКС в Суздале

Двенадцатый год редакция журнала «Строительные материалы»® проводит международную научно-практическую конференцию СИЛИКАТЭКС «Развитие производства силикатного кирпича в России». Октябрь — месяц традиционной встречи специалистов-силикатчиков и известковиков на международной конференции СИЛИКАТЭКС, состоявшейся 10–11 октября 2018 г. в древнем городе Суздале Владимирской области.

В работе конференции приняли участие более 100 специалистов – представителей заводов силикатного кирпича, производства извести, машиностроительных и инженеринговых компаний, поставщиков сырьевых материалов, научных, проектных и некоммерческих организаций, вузов из 25 регионов РФ, а также зарубежных стран – Беларуси, Казахстана, Германии, Италии, Словении.

Спонсорами конференции выступили компании Maschinenfabrik Gustav Eirich GmbH & Co KG и MASA GmbH.

На пленарном заседании было заслушано 15 докладов, тематика которых касалась различных вопросов производства силикатного кирпича и сырья для его производства, проектирования и возведения зданий из силикатных изделий, вопросов диверсификации заводов и др.

Отрасль силикатных строительных материалов в настоящее время находится не в лучшем состоянии. Длительное падение спроса на стеновые материалы привело к закрытию заводов силикатного кирпича: в 2016 г. в РФ действовало 67 силикатных заводов, в 2017 г. – 62, а в 2018 г. уже 59. Подробную оценку состояния отрасли провел в выступлении генеральный директор ООО «ГС-Эксперт» А.А. Семенов (читайте статью А.А. Семенова на стр. 25). Средняя рентабельность предприятий становится убыточной.

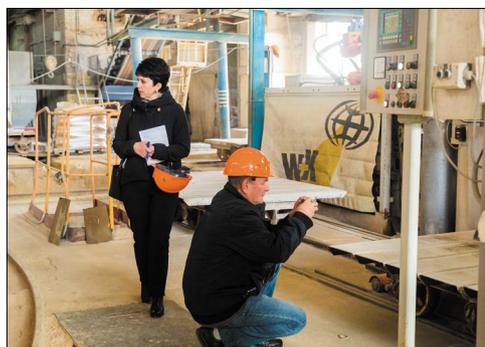
В противостоянии кризису меры по экономии сырьевых материалов и затрат энергии становятся особенно актуальными. Свою программу автоматизации силикатного производства как основного фактора повышения экономической эффективности представил генеральный директор единственного реально действующего российского машиностроительного предприятия, изготавливающего оборудование для силикатной промышленности И.А. Галеев (ООО «Инвест-Технология»).

Работе по оптимизации технических характеристик силикатного кирпича, в частности по снижению водопоглощения, повышению морозостойкости, повышению плотности, посвятила выступление Г.А. Зимакова (Тюменский индустриальный университет). Исследована возможность использования алевропелитов в технологии силикатных материалов автоклавного твердения.

Отдельная секция докладов была посвящена вопросам производства извести, возможностям расширения номенклатуры выпускаемых известковых продуктов. Одним из пионеров среди силикатных заводов в этом вопросе стал Ковровский завод силикатного кирпича, который в конце 2017 г. наладил собственное производство гидратной извести первого класса.

А.В. Нестеров (ООО «Кианит») представил опыт реконструкции типовых шахтных печей, массово возведенных на заводах силикатного кирпича в советское время. Такая реконструкция позволяет повысить качество получаемой извести с третьего сорта до второго и даже первого.





С большим интересом специалисты ознакомились с информацией, представленной П.С. Барановым (компания Aerzen, Германия), по возможности использования систем пневмотранспорта в силикатном и известковом производстве.

Особенностям расчета и проектирования несущих стен из силикатных блоков уделил внимание в своем выступлении В.Н. Деркач (Филиал РУП «Институт БелНИИС» – Научно-технический центр, г. Брест, Республика Беларусь). Что особенно ценно, проведенные исследования касались использования в кладке силикатных блоков с цементными тонкослойными швами и полиуретановой клей-пенной.

Выездная сессия конференции СИЛИКАТэкс-2018 состоялась на Ковровском заводе силикатного кирпича, который в этом году отмечает свое 60-летие. Сейчас завод выпускает силикатный кирпич, автоклавный газобетон, строительный песок и известь комовую, молотую и гидратную.

История предприятия помнит различные этапы развития от титанического ручного труда через выпуск продукции на оборудовании польского проекта и до современного завода – одного из лидеров в силикатной отрасли.

На заводе работает увлеченный творческий коллектив под руководством генерального директора В.И. Баранкова. Участники конференции СИЛИКАТэкс-2018 в соответствии с основными интересами были разделены на три группы. Первую группу возглавил технический директор КЗСК И.В. Баранков. Основной интерес этой группы был сосредоточен на вопросах производства извести.

Две другие группы возглавляли главный технолог завода И.С. Черных и начальник кирпичного цеха В.А. Журухина – настоя-

щие специалисты, поработавшие на заводе на различных участках производства много лет. В эти группы входили участники конференции, которым ближе силикатный кирпич и автоклавный газобетон.

В настоящее время на заводе работают прессы фирмы Lasco и WKB, уникальная линия производства автоклавного газобетона, разработанная российскими специалистами и внедренная в производство в 2008 г. Для некоторых участников конференции особый интерес представляла возможность реконструкции технологии производства силикатного кирпича по польскому проекту. По такому проекту в 1970-х гг. было построено 13 заводов, в том числе второе производство на Ковровском заводе. Специалисты с интересом осматривали продукцию, реконструированные участки производства. Причем фиксировали наблюдения «под карандаш», на фото- и видеокamеры, задавали интересующие вопросы.

Редакция отраслевого научно-технического и производственного журнала «Строительные материалы»[®] выражает искреннюю признательность всему коллективу ЗАО «Ковровский завод силикатного кирпича» и генеральному директору Владимиру Ивановичу Баранкову, а также коммерческому директору Оксане Григорьевне Бурдюг за неоценимую помощь в поддержке конференции СИЛИКАТэкс-2018.

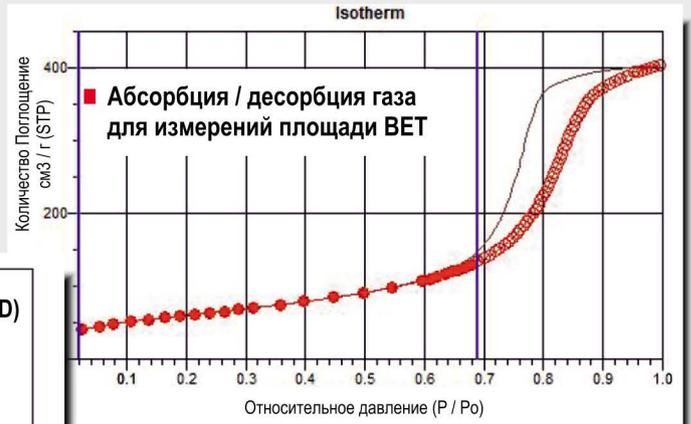
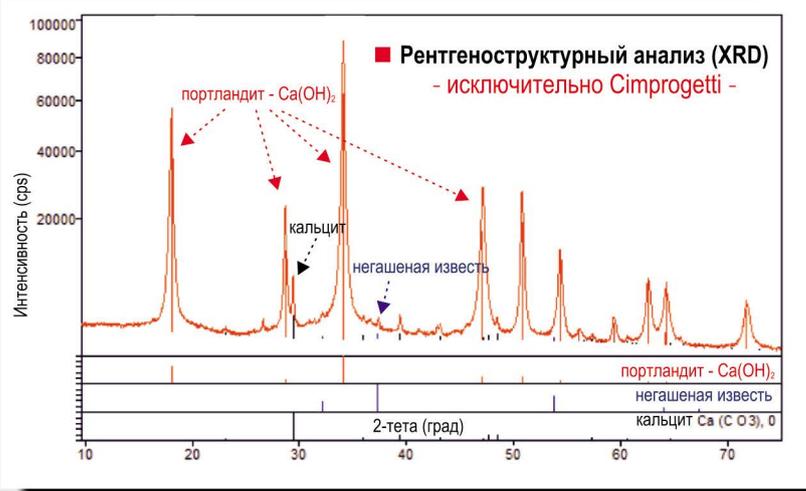
Оргкомитет конференции приступил к подготовке проекта следующего года. До встречи в октябре 2019-го!

Друзья, оставайтесь с нами!



В лаборатории Cimprogetti проводится контроль качества гидратированной извести

- Термогравиметрический анализ (ТГ-ДТА)
- Тонина и определение удельной поверхности

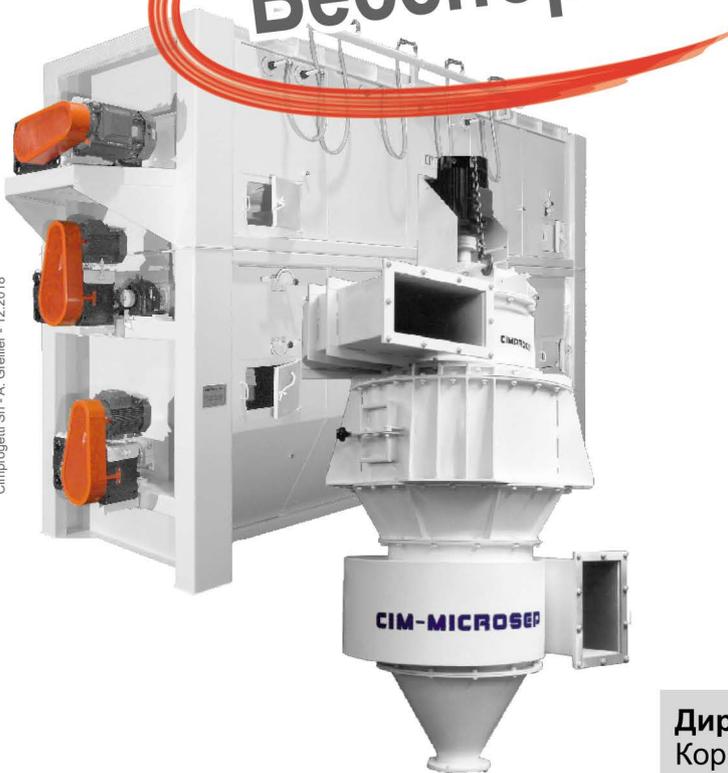


ПРИМЕРЫ РЕЗУЛЬТАТОВ АНАЛИЗА

Беспорный мировой лидер

В технологии гидратации

- **Cim-Hydrax-4G**
современный гидратор
- **Cim-Hydrax-4G MAX**
для специальных применений
- **Cim-Hydrax-FGD**
Для дополнения стандартных решений по десульфуризации
- **Cim-Pilot**
уменьшенный гидратор для тестирования компаниями
- **Cim-Hydrax-Compact**
модульная установка для финальной инсталляции и ограниченной площади



Директор по развитию компании в России и СНГ
Корнеев Виктор Николаевич
Тел.: +7 977 8813935
Email: v.korneev@cimprogetti.com

Совершенствование процесса гашения извести

Cimprogetti Srl – Дальмине — Италия

Вступление

Известь – один из материалов, которые широко используются человеком уже многие тысячелетия. Но только со стремительным промышленным развитием в XX в. негашеная и гашеная известь различного качества во все больших количествах стала использоваться для удовлетворения новых производственных потребностей в разных отраслях промышленности.

В частности, для относительно новых областей применения гашеной извести, например для удаления серы из дымовых газов, потребовались новые характеристики продукта, такие как степень дисперсности частиц выше средней, высокая площадь удельной поверхности и объемная пористость.

В результате сформировалась потребность в дальнейшей разработке и частичной модернизации существующего оборудования для гашения извести и соответствующих вспомогательных агрегатов, чтобы, с одной стороны, удовлетворить требования к качеству продукта, а с другой – обеспечить выполнение стандартов на выбросы.

Рассмотрим решения, которые необходимо внедрить с целью получения продукта с большей дисперсностью частиц.

Реакция гидратации

Гидратация — достаточно простая с химической точки зрения экзотермическая реакция, сопровождающаяся выделением тепла на уровне примерно 276 кал/г.

При быстрой гидратации обычно образуются тонкодисперсные частицы, так как вероятность агломерации кристаллов гидрата мала. Однако высокая скорость реакции не обязательно является оптимальным условием.

В принципе, типичная высокоактивная реакция гашения извести протекает в три этапа (рис. 1):

- кинетический
- переходный
- диффузионный.

Как правило, кинетический этап очень непродолжительный (менее 10 с) и характеризуется резким повышением температуры — до 50 % от общего повышения температуры.

Длительность второго, переходного этапа (часто менее 1 мин) может варьироваться в зависимости от размера кусков извести, загружаемых в гидратор. Этот этап характеризуется заметным падением температуры.

На последнем, диффузионном этапе температура снова резко возрастает, а к концу реакции быстро выравнивается.

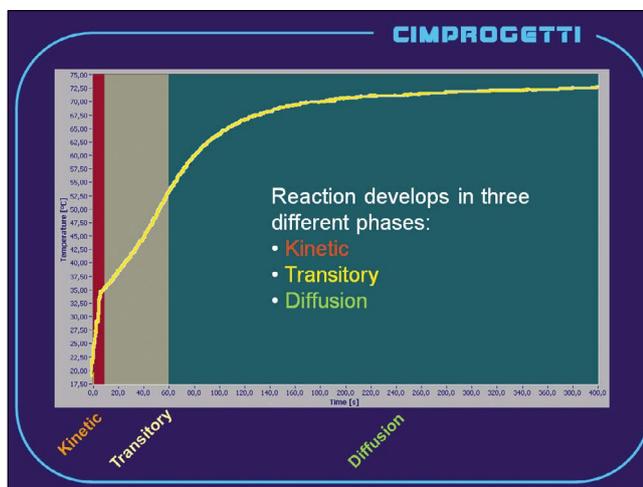


Рис. 1. Этапы реакции гидратации

На рис. 2 показано графическое пояснение описанных выше этапов.

На увеличенном изображении поверхности частиц извести видно, что произошло после первоначального контакта с водой.

В первые несколько секунд реакция начинается очень интенсивно благодаря беспрепятственному соприкосновению извести и воды.

Вскоре после этого на поверхности образуется первый слой частично гидратированной извести, который, задерживаясь у поверхности частиц, предотвращает таким образом доступ к находящимся внизу слоям негашеной извести.

Соответственно вода проникает с задержкой.

По мере окончательного формирования кристаллов гидроксида кальция начинается их разделение, вода начинает проникать более активно, и реакция возобновляется.

Другой фактор, который следует учесть, — это развитие реакции в зависимости от размера кусков негашеной извести.

Мы взяли один образец комовой негашеной извести и измельчили до частиц следующих размеров:

C: +2,0–4,0 мм (поверхность контакта 1x)

B: +1,0–2,0 мм (поверхность контакта 2x)

A: +0,5–1,0 мм (поверхность контакта 4x)

Как видно на рис. 3, по сравнению с более крупными частицами реакция с участием самых мелкодисперсных частиц (A) начинается более интенсивно благодаря четырехкратному увеличению контактной поверхности. Зато в конце кинетического этапа кривая более изогнута, поскольку высокая температура, развивающаяся на поверхности частиц в определенных местах, в итоге ухудшает их реакционную способность.

Новые характеристики гидраторов

Как показывает опыт, скорость увеличения температуры в камере реакции (гидраторе) является основным фактором, определяющим итоговые характеристики продукта.

Очевидно также, что более мелкодисперсные частицы вступают в реакцию так стремительно, что образующееся тепло невозможно распределить/отвести настолько быстро, чтобы предотвратить «сгорание» частиц и последующую задержку гидратации (если только для контроля развития реакции не используются химические присадки).

Таким образом, для получения более тонкодисперсной гидратной извести необходимо выбирать подходящий гранулометрический состав в зависимости от наличия негашеной извести.

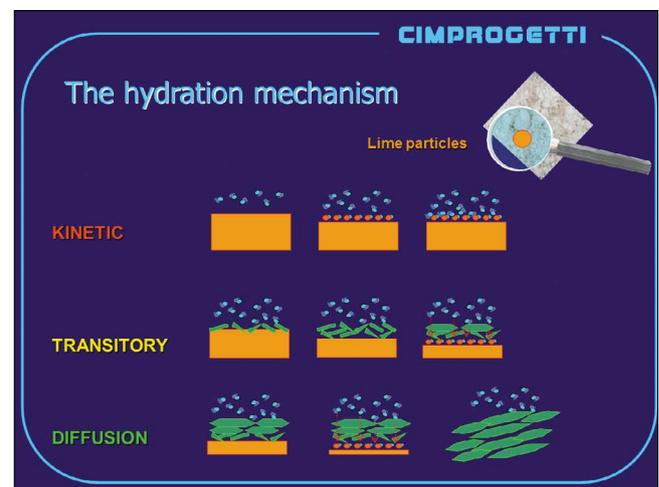


Рис. 2. Механизм гидратации

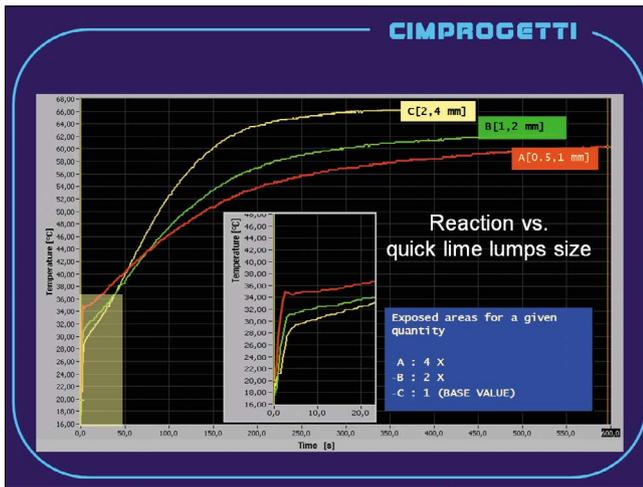


Рис. 3. Течение реакции гидратации в зависимости от размера зерен негашеной извести

Большое значение имеет также эффективность распределения воды и смешивания продукта на первом этапе реакции гидратации.

Хотя все описанные выше процессы были известны на протяжении десятилетий, настоящий технологический прорыв произошел, когда перед нами поставили задачу достигнуть стандартов качества извести для удаления серы из дымовых газов (FGD) с использованием гидратного сырья оптимальной дисперсности непосредственно из известково-гасильной установки.

В связи с этим была спроектирована новая установка с более эффективным смешиванием и распределением воды, а также с соответствующим оборудованием и автоматизированной системой управления, обеспечивающими более тщательный контроль реакции.

В гидрататорах прошлых поколений вода подавалась в одной точке рядом с отверстием подачи негашеной извести, а скорость вращения перемешивающего вала на первой ступени часто была небольшой.

На последующих технологических этапах гидрататоров предусматривалось дополнительное перемешивание в течение определенного времени (обычно до 15–20 мин). Это было необходимо для полного завершения реакции до выгрузки материала.

Как можно увидеть на рис. 6, в современном гидрататоре известняк по-прежнему подается в одной точке на входе в гидрататор, но вода поступает из водораспределительной эстакады по всей протяженности первой стадии.

Вода подается при относительно высоком давлении (6 бар) через патрубки особой конструкции, которые обеспечивают хорошее покрытие всей камеры.

Также на каждой ступени установлено несколько термпар для более детального мониторинга температурного профиля самой реакции.



Рис. 4. Гидрататор Cim-Hydrax-TG

В результате распределение воды между несколькими точками впрыска можно регулировать в зависимости от характеристик используемой извести и результирующего температурного профиля.

На первой ступени гидрататора данной конструкции вместо одного медленно вращающегося вала (12–15 об/мин), оснащенного большими лопатками, используется ступень с двумя вращающимися в противоположных направлениях валами, оснащенными короткими перекрывающимися лопатками, скорость вращения которых достигает 50–60 об/мин (рис. 7).

Частотный преобразователь позволяет регулировать скорость вращения для подбора оптимальных рабочих условий, которые определяются в каждом конкретном случае.

Регулируемая перегородка в конце первой ступени позволяет регулировать толщину слоя извести в зависимости от характеристик сырья, благодаря чему при необходимости можно обеспечить более интенсивное смешивание и/или более длительный период выдерживания (рис. 8).

На второй ступени также предусмотрен узел из двух вращающихся в противоположных направлениях валов, но скорость вращения меньше, чем на первой ступени; а объем камеры примерно вдвое превышает объем первой ступени, поскольку для гашеной извести требуется гораздо больший объем.

В этой камере реакция практически завершается. Для обеспечения интенсивного перемешивания материала был проведен анализ конструктивного исполнения лопаток.

Кроме того, на второй ступени также предусмотрена перегородка, позволяющая регулировать толщину слоя извести (рис. 9).

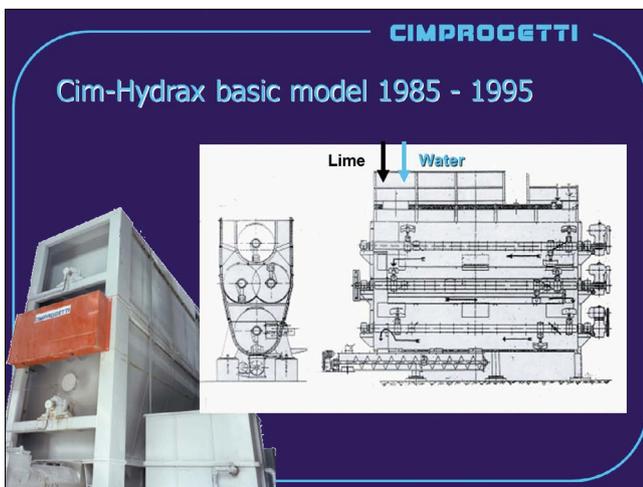


Рис. 5. Гидрататор Cim-Hydrax — базовая модель

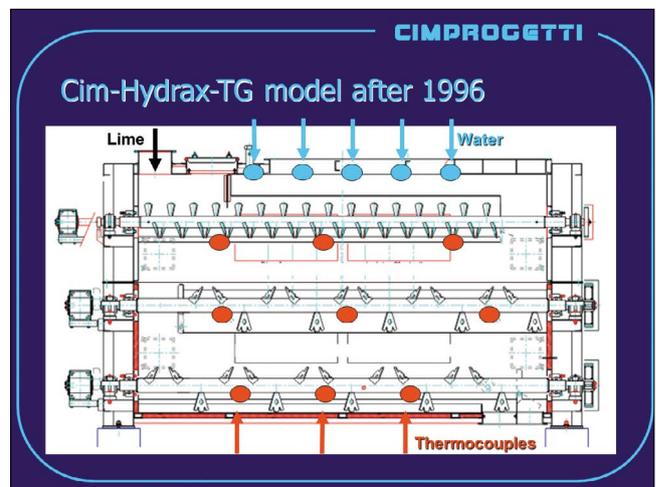


Рис. 6. Гидрататор Cim-Hydrax-TG



Рис. 7. Гидратор Cim-Hydrax-4G для специальных применений

Третья ступень, ранее известная как «камера выдержки», также была модернизирована в результате большей доступности извести с большой реактивной способностью (рис. 10).

Эта ступень может оснащаться двумя вращающимися в противоположных направлениях валами, скорость вращения которых составляет до 50 об/мин, что обеспечивает активную вентиляцию гашеной извести в конце реакции.

В последнем случае для обеспечения более активного перемешивания при поддержании равномерной скорости продукта по всему объему камеры лопасти устанавливаются с меньшим шагом.

Еще одним аспектом, учитываемым при проектировании современных известково-гасильных установок, является необходимость минимизации выбросов твердых частиц.

В настоящее время приемлемой концентрацией считается 50 мг/Нм³, но во многих странах постепенно вводятся новые предельные значения на уровне 20 мг/Нм³ или даже 10 мг/Нм³.

Мокрые газоочистители (скрубберы) неспособны обеспечить соответствие новым стандартам, поскольку количества технологической воды для процесса гидратации оказывается недостаточно, а использование дополнительной воды с последующим образованием загрязненных жидких отходов в целом не является приемлемой практикой.

В начале 1990-х гг. компания Cimprogetti разработала специальный рукавный фильтр. После практических испытаний этого фильтра в различных конфигурациях и с различными фильтрующими материалами (рис. 11) с 1996 г. он был введен в эксплуатацию и используется до настоящего времени.

Необходимо также коротко остановиться на разработанной Cimprogetti высокопроизводительной системе управления CIM-LCPS® (рис. 12).



Рис. 9. Вторая ступень процесса гидратации



Рис. 10. Третья ступень процесса гидратации



Рис. 11. Фильтр Cim-Zeropol гидратации

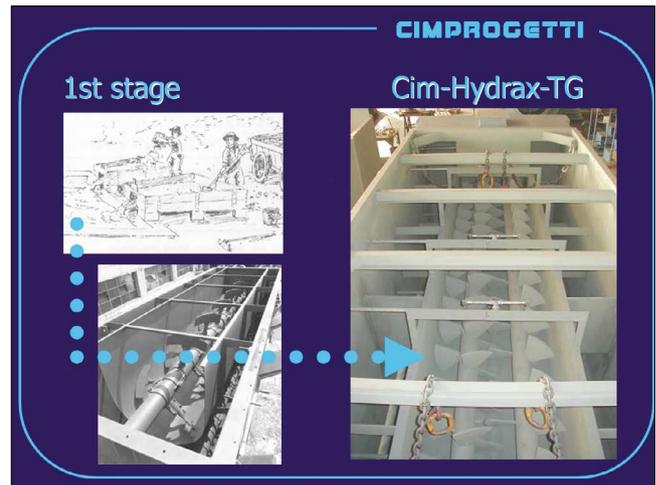


Рис. 8. Первая ступень процесса гидратации

Будучи важнейшим компонентом гидраторов и сортировочных агрегатов Cimprogetti, эта система управления постоянно совершенствуется на основе опыта, накапливаемого в области проектирования и ввода в эксплуатацию установок Cimprogetti по всему миру.

В нескольких словах ее можно охарактеризовать как узкоспециализированное, удобное в использовании программное обеспечение, которое было разработано профессиональными специалистами в области эксплуатации гидраторов.

Все значимые технологические параметры фиксируются и увязываются друг с другом, что обеспечивает стабильные рабочие режимы.

Операции пуска и остановки также автоматизированы.

Усовершенствования, рассмотренные в данной статье, также являются результатом большого количества эксплуатационных испытаний пилотного гидратора Cimprogetti, проводящихся в течение ряда лет совместно с несколькими известными производителями извести по всему миру.

Cim-Pilot представляет собой обладающий эксплуатационной гибкостью небольшой агрегат (производительностью 100 кг/час), способный воспроизводить практически все рабочие режимы, которые только можно представить, с использованием и без использования присадок для контроля реакции и удельной площади поверхности гашеной извести (рис. 13).

Выполнена ли задача?

В таблице, любезно предоставленной компанией Singleton Birch Co (Великобритания), показан дисперсный состав гашеной извести, полученной в двух гидраторах Cimprogetti производительностью 15 метрических т/ч.

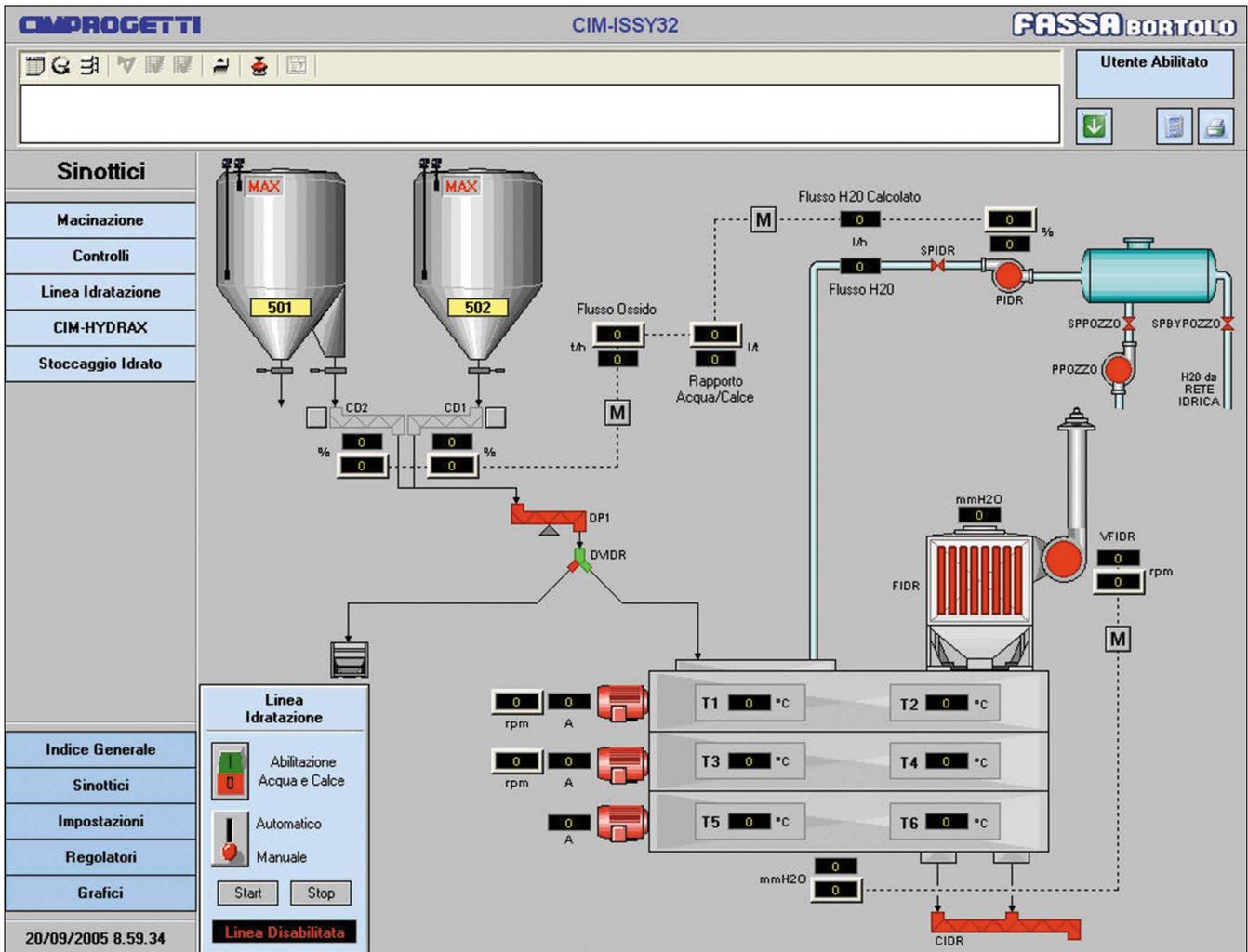


Рис. 12. Система управления Cim-Issy 32

Модель гидрата CIM	Версия 1.2.1	Версия 2.2.1
Спецификации гидратного сырья		
Сырье менее 90 мкм	15,4%	43,6%
Остаток на сите с ячейками 90 мкм	31,2 %	19,1 %
Остаток на сите с ячейками 1 мм	28,7 %	15,0 %
Остаток на сите с ячейками 2 мм	18,6 %	7,9 %
Остаток на сите с ячейками 4 мм	6,1 %	1,6 %

Конструкция гидрата версии 1.2.1 предусматривает мокрый скруббер и первую ступень с одним валом.

Конструкция гидрата версии 2.2.1 предусматривает рукавный фильтр для очистки влажных паров (Cim-Zeroroll) и первую ступень с двумя высокоскоростными валами и многоточечной системой впрыска воды.

Оба гидрата загружаются высокореактивной известью фракции 0–5 мм, произведенной в вертикальных двухшахтных регенеративных печах.

Как можно увидеть, гидрататор версии 2.2.1 выдает значительно более высокодисперсный продукт непосредственно на выходе из самого гидрата.

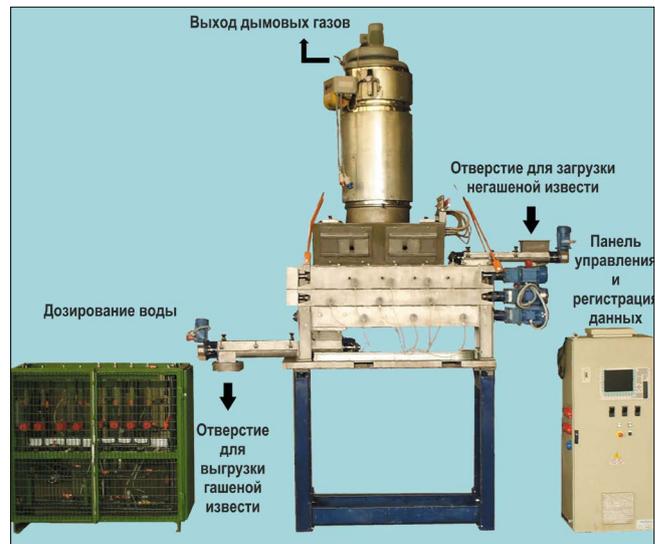


Рис. 13. Гидрататор Cim-Pilot

Это обеспечит не только большее количество гашеной извести для химической промышленности после динамического разделения частиц, но также более эффективный захват частиц серы во всех случаях, когда такое гидратное сырье используется непосредственно в скрубберах для удаления серы из дымовых газов (FGD).

www.cimprogetti.com

УДК 666.965

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-766-12-25-26>

А.А. СЕМЁНОВ, канд. техн. наук, генеральный директор (info@gs-expert.ru)
 ООО «ГС-Эксперт» (125047, г. Москва, 1-й Тверской-Ямской пер., 18)

Тенденции развития отечественной силикатной промышленности

Приведены сведения о состоянии и основных тенденциях развития отечественного рынка силикатных стеновых материалов. Показано, что падение объемов производства в 2016 г. составило 31%, в 2017 г. – еще 15%. По оценкам «ГС-Эксперт», в 2017 г. в России было выпущено всего 1,9 млрд шт. усл. кирп. силикатных стеновых материалов 62-мя действующими заводами. Продолжается сокращение работающих предприятий, снижается их средняя производственная мощность, а также рентабельность. Отмечено, что данные официальной статистики завышены более чем на 30%. При этом выделен товарный сегмент, который в 2018 г. перешел к росту объемов производства – крупно- и среднеформатные стеновые силикатные блоки (СБ) и перегородочные плиты (СП). По прогнозу «ГС-Эксперт», в 2018 г. производство силикатного кирпича сократится на 9–12%, а в 2019 г. еще на 5–7%. Возобновление роста может начаться только после восстановления инвестиционной активности в строительстве.

Ключевые слова: строительство, промышленность строительных материалов, силикатные стеновые материалы, силикатный кирпич, крупноформатные стеновые силикатные блоки, перегородочные плиты, анализ рынка, инвестиционная активность.

Для цитирования: Семёнов А.А. Тенденции развития отечественной силикатной промышленности // *Строительные материалы*. 2018. № 12. С. 25–26. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-766-12-25-26>

A.A. SEMENOV, Candidate of Sciences (Engineering), General Director (info@gs-expert.ru) ООО «GS-Expert» (18, 1-st Tverskoy-Yamskoy Pereulok, Moscow, 125047, Russian Federation)

Trends in Development of Domestic Silicate Industry

Data on the state and main trends in the development of the domestic market of silicate wall materials are presented. It is shown that the decline in production in 2016 was 31%, in 2017 – another 15%. According to “GS-Expert”, in 2017 Russia produced 1.9 billion pc of equivalent brick of silicate wall materials by 62 operating plants. The reduction in operating enterprises continues, their average production capacity, as well as profitability, decreases. It is noted that the data of official statistics are overstated by more than 30%. At the same time, the product segment was allocated, which in 2018 moved to the growth of production volumes – large and medium – format silicate wall blocks (WB) and partition slabs (PS). According to the forecast of “GS-Expert”, in 2018, the production of silicate bricks will be reduced by 9–12%, and in 2019 by another 5–7%. The resumption of growth can begin only after the restoration of investment activity in construction.

Keywords: construction, building materials industry, silicate wall materials, silicate brick, large-format wall silicate blocks, partition slabs, analysis of market, investment activity.

For citation: Semenov A.A. Trends in development of domestic silicate industry. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 12, pp. 25–26. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-766-12-25-26> (In Russian).

Отечественная силикатная промышленность переживает чрезвычайно сложный период. Не успев восстановиться после кризиса 2008–2009 гг., отрасль с 2015 г., то есть уже четвертый год подряд, сокращает выпуск товарной продукции. Наиболее сильное падение объемов производства пришлось на 2016 г., когда выпуск силикатного кирпича сократился на 31%. В 2017 г. объемы производства снизились еще на 15%. В текущем году негативная производственная динамика, к сожалению, также сохраняется. По оценкам «ГС-Эксперт», в 2017 г. в России было произведено всего 1,9 млрд шт. усл. кирп. силикатных стеновых материалов, за 1-е полугодие 2018 г. – 0,84 млрд шт. усл. кирп. По объемам производства отрасль показывает абсолютный минимум за всю постсоветскую историю.

Следует отметить, что данные официальной статистики об объемах и динамике производства большинства видов строительных материалов, в том числе и силикатного кирпича, в последние годы стали, мягко говоря, некорректны. Так, производство «Кирпича силикатного и шлакового», по данным Росстата, в 2017 г. осуществляли 172 завода, в то время как реально в отрасли действовало всего 62 завода. Остальные учитываемые Росстатом предприятия производили абсолютно другую продук-



Рис. 1. Объемы и динамика производства силикатных стеновых материалов в России в 2008–2018 гг. Источник: Росстат, оценка ГС-Эксперт

цию (газобетон, гиперпрессованный кирпич, шлакоблоки и др.). Завышение реальных производственных показателей в сегменте силикатной промышленности составляет до 35%. Аналогичная ситуация наблюдается и в данных по другим видам строительных материалов, что приводит к существенному искажению реальной рыночной ситуации и закладывает ложные предпосылки при подготовке различных прогнозов, в т. ч. прогнозов социально-экономического развития РФ и стратегии развития отраслей промышленности, в частности промышленности строительных материалов.

Длительное падение спроса на стеновые материалы негативно сказывается на финансовом состоянии силикатных заводов и приводит к их закрытию. Так, если в 2016 г. в России действовало 67 силикатных заводов, то в 2017 г. их число сократилось до 62, а в 2018 г. – уже до 59.

Большинство действующих силикатных заводов можно условно отнести к категориям средних и мелких предприятий с годовым объемом производства менее 40 млн шт. усл. кирп. в год. С 2016 г. в стране не осталось ни одного завода «стоимиллионника», хотя еще в 2015 г. пять

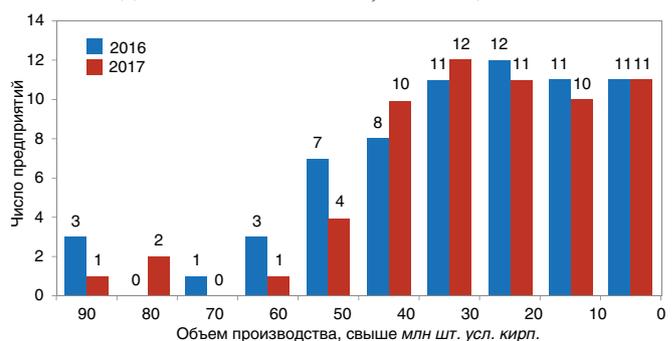


Рис. 2. Структура силикатных заводов по объемам выпуска товарной продукции. Источник: оценка ГС-Эксперт на основе данных предприятий и Росстата

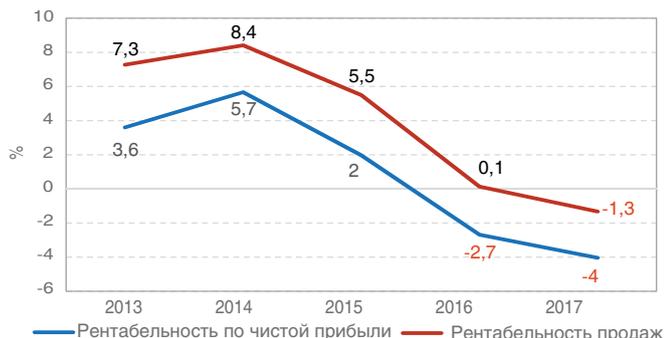


Рис. 3. Рентабельность предприятий силикатной промышленности в 2013–2017 гг. Источник: оценка ГС-Эксперт на основе данных предприятий, ФНС РФ и Росстата

силикатных заводов производили более чем по 100 млн шт. усл. кирп. в год, а в 2014 г. их было семь.

Еще в 2014 г. (последний предкризисный год) средняя рентабельность продаж предприятий силикатной промышленности составляла около 8,4%, а средняя рентабельность по чистой прибыли — порядка 5,7%, то по итогам 2017 г. силикатная промышленность стала убыточной: средняя рентабельность по чистой прибыли составила -4%, средняя рентабельность продаж составила 1,3%. Из 62 действовавших в 2017 г. силикатных заводов убыток от продаж зафиксирован у 29 предприятий, чистый убыток — у 35 силикатных заводов.

Очевидно, что при сохранении существующей негативной ситуации в строительном комплексе в ближайшие три года силикатная промышленность может потерять еще не менее 10 предприятий.

Тем не менее среди силикатных стеновых материалов есть товарный сегмент, который подвержен гораздо меньшему влиянию негативных рыночных факторов, — это крупно- и среднеформатные стеновые силикатные блоки (СБ) и перегородочные плиты (СП). Незначительное снижение объемов производства этой продукции наблюдалось только в 2016 и 2017 гг., при этом темпы снижения производства составили всего -11% и -6% соответственно, что существенно меньше, чем в целом по силикатной промышленности. А уже в 2018 г. данный товарный сегмент перешел к росту объемов производства. Более того, интерес к организации выпуска силикатных перегородочных плит проявляют и некоторые производители газобетона, считающиеся традиционными конкурентами заводов силикатного кирпича.

За последние 6,5 лет доля стеновых блоков и перегородочных плит в структуре выпуска силикатных стеновых материалов выросла более чем в два раза и в текущем году превысила 7%. Выпуск данной продукции в России в настоящее время осуществляют 16 заводов, при этом у семи из них доля стеновых блоков и перегородочных плит в общем объеме производства превышает 20%, а у некоторых заводов достигает 50% и более. Соответственно, данные заводы демонстрируют лучшую финансовую устойчивость по сравнению с другими предприятиями отрасли. Средняя рентабельность продаж стеновых блоков и перегородочных плит в 2016 и в 2017 г. составила 4,1 и 1%, соответственно против 0,1 и -1,3%.

Для преодоления сложившейся негативной рыночной ситуации силикатным заводам необходимо сохранять производственные мощности и объединять усилия по сохранению и развитию отечественной силикатной промышленности. В условиях снижения спроса на силикатный кирпич заводам целесообразно посмотреть на смежные сегменты рынка и возможности расширения продуктовой линейки исходя из имеющихся сырьевых и технологических ресурсов. В частности, это могут быть производства газосиликатных блоков, фракционированных песков или сухих строительных смесей, молотой негашеной и гидратной извести и т. д. Правильность выбора такой стратегии развития также подтверждается более устойчивым финан-

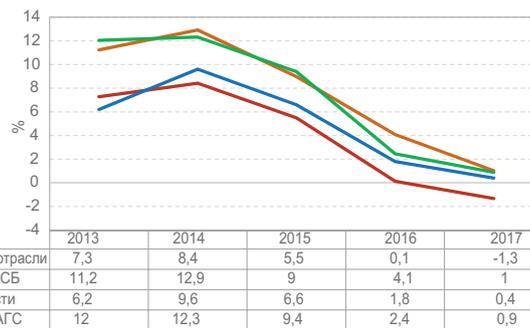


Рис. 4. Влияние потенциального расширения ассортимента продукции на рентабельность продаж. Источник: оценка ГС-Эксперт на основе данных предприятий, ФНС РФ и Росстата

совым положением силикатных заводов, имеющих широкий спектр товарной продукции (рис. 4): по итогам 2017 г. средняя рентабельность продаж у них осталась положительной на фоне общего падения данного показателя.

По итогам 2018 г., по прогнозам «ГС-Эксперт», производство силикатного кирпича сократится на 9–12%, а в 2019 г. еще на 5–7%. Возобновление роста начнется только после восстановления инвестиционной активности в строительстве. Однако по состоянию на октябрь 2018 г., реальных предпосылок по скорому изменению негативной ситуации в стройкомплексе не наблюдается.

В стране сохраняется достаточно тяжелая экономическая ситуация, продолжается падение реальных доходов населения. Объемы жилищного строительства также сокращаются. Ввод многоквартирных жилых домов сокращается с 2016 г. нарастающими темпами. В ближайшие годы негативную динамику в этом сегменте поддержит ужесточение законодательной базы по долевого строительству и переход на новые схемы финансирования строительства.

Ввод индивидуальных жилых домов снижался уже с 2015 г. Однако в 2017 г. и 1 полугодии 2018 г., согласно данным Росстата, наблюдался рост объемов индивидуального жилищного строительства, который, впрочем, реально был обусловлен постановкой на кадастровый учет ранее построенных и выявленных объектов недвижимости. Со второго полугодия даже официальная статистика фиксирует падение объемов индивидуального жилищного строительства.

Планы по восстановлению положительной динамики жилищного строительства с 2019 г. и доведению объемов ввода жилья до уровня 120 млн м² в год (т. е. рост в 1,9 раза по сравнению с уровнем 2017 г.), к 2024 г. (Указ Президента РФ от 07.05.2018 г. «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года») в нынешних экономических реалиях выглядят абсолютно не реалистичными. Среднегодовые темпы роста ввода жилья для достижения этого уровня в ближайшие пять лет должны составлять 13–15% в год. При этом, согласно прогнозам Министерства экономического развития (Прогноз социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2024 года. <http://economy.gov.ru/minrec/resources/60223a2f-38c5-4685-96f4-6c6476ea3593/prognoz24svod.pdf>), среднегодовые темпы роста производства в промышленности строительных материалов в 2019–2024 гг. составят всего 1,9–2,1%. По данным министерства, «...прогнозируемая динамика объемов производства основных видов неметаллических минеральных продуктов учитывает увеличение объемов внутреннего спроса на эту продукцию со стороны индустриальных потребителей и населения...». Подобные прогнозные темпы роста выглядят более реалистичными.

Таким образом, даже при возобновлении инвестиционной активности в среднесрочной перспективе, по нашим оценкам, в силикатной промышленности будет наблюдаться существенный профицит производственных мощностей, а прогнозируемые темпы роста производства не позволят вернуться к докризисным объемам производства.

Р. МОЦЕЙКИС¹, аспирант (rimvydas.moceikis@vgtu.lt), А. КИЧАЙТЕ¹, доцент,
Г. СКРИПКЮНАС¹, проф.; Г.И. ЯКОВЛЕВ², д-р техн. наук

¹ Вильнюсский технический университет им. Гедиминаса, Департамент строительных материалов и пожарной безопасности (Литва, 10223, Вильнюс, ул. Саулетекио, 11)

² Ижевский государственный технический университет им. М.Т. Калашникова (426069, Удмуртская Республика, г. Ижевск, ул. Студенческая, 7)

Механические характеристики и пластичность армированного стекловолокном бетона с модифицированной матрицей

Армированный стекловолокном бетон (АСВБ) из-за высокой пластичности и прочности при изгибе часто используется для производства различных тонкостенных элементов. В течение нескольких десятилетий классическая бетонная матрица состоит из песка и цемента, в которой распределено дисперсное стекловолокно. Новейшие исследования в области сверхпрочного бетона и долговечности АСБ показали, что использование микро- и нанонаполнителей имеет значительный потенциал для улучшения механических свойств бетона и повышения его долговечности. В статье рассматриваются свойства бетонной смеси (удобоукладываемость, расслоение), прочность при изгибе и пластичность нескольких составов АСВБ с разными заполнителями (используются отсеvy гранита, доломита и кварцевый песок) и микро- и нанонаполнителями (молотый доломит, метакаолин и молотый кварц). В качестве связующего используется обычный портландцемент марки CEM I 52R с суперпластификатором на основе поликарбоксилата. Для армирования бетонной матрицы использовали рубленое щелочестойкое стекловолокно с длиной волокон 12,7 мм.

Ключевые слова: армированный стекловолокном бетон (АСВБ), стекловолокно, метакаолин, пластичность.

Для цитирования: Моцейкис Р., Кичайте А., Скрипкюнас Г., Яковлев Г.И. Механические характеристики и пластичность армированного стекловолокном бетона с модифицированной матрицей // *Строительные материалы*. 2018. № 12. С. 27–33.

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-766-12-27-33>

R. MOCEIKIS¹, graduate student (rimvydas.moceikis@vgtu.lt), A. KIČAITĖ¹, Associate professor,
G. SKRIPKIŪNAS¹, Professor; G.I. YAKOVLEV², Doctor of Sciences (Engineering) (gyakov@istu.ru)

¹ Vilnius Gediminas Technical University, Department of building materials and fire safety (11, Sauletekio al., Vilnius, 10223, Lithuania)

² Kalashnikov Izhevsk State Technical University (7, Studencheskaya Street, Izhevsk, 426069, Russian Federation)

Mechanical Characteristics and Ductility of Glass Fiber Reinforced Concrete with Modified Matrix

Glass fiber reinforced concrete (GRC) is commonly used for production of various thin-walled concrete elements due to good flexural characteristics and high ductility. For decades, typical GRC matrix consisted of fine quartz sand and ordinary Portland cement (OPC) in which short glass fibers are dispersed. Recent studies in the fields of reactive powder concrete and durability mechanisms of GRC showed that there is a big potential in improving mechanical characteristics and durability of the composite when micro or Nano fillers are used. This article investigates workability, flexural toughness and ductility of several GRC compositions with different fillers (silica sand, fine granite, fine dolomite) and micro-additives (silica powder, metakaolin and dolomite powder). Ordinary CEM I 52,5R Portland cement (OPC) is used as a binder and polycarboxylate ether-based superplasticizer (PCE) is used as water-reducing agent. 12.7 mm length alkali resistant glass fibers (ARG) are dispersed for matrix reinforcement.

Keywords: glass reinforced concrete, glass fibers, metakaolin, ductility.

For citation: Moceikis R., Kičaitė A., Skripkiūnas G., Yakovlev G.I. Mechanical characteristics and ductility of glass fiber reinforced concrete with modified matrix. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 12, pp. 27–33. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-766-12-27-33> (In Russian).

Армированный стекловолокном бетон (АСВБ) — это композиционный материал, состоящий из дисперсно-армированной стекловолокном цементной матрицы. Цементная матрица бетона и стекловолокно сохраняют свои уникальные свойства, и в тоже время вследствие проявления синергетического эффекта достигаются новые свойства, которые не проявлялись при использовании этих компонентов в отдельности. При этом стекловолокно воспринимает растягивающие напряжения, а цементная матрица действует как среда, переносящая напряжения.

Новейшие исследования показывают, что основной причиной старения стекловолокна являются возрастающие микродефекты на его поверхности [1]. Этот феномен в технологии производства стекла часто называют статической усталостью и описывают как разрушительные связи между молекулами SiO₂ в устье трещины при воздействии растягивающих напряжений в волокнах. Процесс старения зависит от таких факторов, как

Glass fiber-reinforced concrete (GRC) is a composite material that consists of cementitious matrix in which short glass fibers are dispersed. In this form, both fibers and concrete matrix retain their physical and chemical identities yet resulting in a combination of properties that cannot be achieved by these materials alone. In general, fibers are the key for flexural strength and cementitious matrix acts as a load transfer medium between them.

Recent studies show that the main cause of GRC weakening with time is the growth of flaws on the fiber surface [1]. This phenomenon is called static fatigue in glass technology literature and is described as constant breaking of SiO₂ bonds at the tips of pre-existing flaws due to static stress in the filaments. The ageing process also depends on such factors as glass composition, matrix pH and composition, stress level, temperature, and fiber coating [2–4].

Many scientists agree that Ca(OH)₂ plays a negative role due to densification of fiber-matrix interface, where sharp Ca(OH)₂ crystals cause new flaws on the surface of the fila-

химический состав стекла, водородный показатель среды pH, состав бетонной матрицы, величина действующего напряжения, температура и вид покрытия волокон [2–4].

Большинство исследователей согласны, что $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (портландит) негативно влияет на уплотнение границы раздела фаз волокно – цементная матрица, где кристаллы $\text{Ca}(\text{OH})_2$ вызывают новые дефекты на поверхности волокон [5, 6]. Различные микронаполнители могут замедлять старение АСВБ вследствие проявления пуццолановых реакций с портландитом. Химически активные микронаполнители, такие как метакраолин, зола-уноса, микрокремнезем, молотый гранулированный доменный шлак и инертные микронаполнители (молотый доломит, кварц), используются для улучшения различных свойств АСВБ бетона [7–9].

Исследователь М. Драйвер (M. Driver) изучал технологические свойства, процессы гидратации и долговечность смесей АСВБ с использованием микронаполнителя из молотой пемзы. Смесей с 25%-й добавкой пемзы сохранили во времени свои механические свойства: прочность при изгибе и пластичность [10]. Ж.М. Петер (J.M. Peter) установил, что микрокремнезем, используемый в качестве добавки, модифицирующей матрицу, не оказывает существенного положительного эффекта на повышение долговечности АСВБ. Гораздо эффективнее микрокремнезем использовать в качестве добавки, модифицирующей поверхность волокна [9]. Исследование С. Марикунте (S. Marikunte) показало, что метакраолин значительно повышает прочность при изгибе и растяжение при старении АСВБ. Композиция с добавкой метакраолина показала лишь небольшое снижение прочности при изгибе, модуля упругости и пластичности после испытаний на ускоренное старение [11].

За последние три десятилетия наработкам в области сверхпрочных бетонов уделено большое внимание в научной литературе. Этот композит часто называют реакционно-порошковым бетоном (РПБ), включающим портландцемент, ультратонкие наполнители (кварцевый песок, кварцевый и доломитовый порошок), микрокремнезем, метакраолин, суперпластификатор и дисперсное волокно (обычно металлическая фибра). РПБ может достигать прочности при сжатии до 150–200 МПа без использования специальных методов твердения [12]. В особых условиях, например во время твердения при выдержке в температуре 400°C и давлении 40 МПа, можно достичь прочности при сжатии до 800 МПа [13].

В данной статье представлены свойства бетонной смеси и характеристики бетона, армированного дисперсным стекловолокном с модифицированной матрицей при использовании различных заполнителей (кварцевый песок, мелкий гранит, мелкий доломит) и микронаполнителей (молотые кварц и доломит, метакраолин).

Материалы и методы исследования

Для семи партий дисперсно-армированного стекловолоконного бетона была определены подвижность бетонной смеси (пластичность) и зависимость напряжения – деформация при изгибе для оценки влияния различных заполнителей и микронаполнителей на свойства матрицы АСВБ. Быстротвердеющий портландцемент марки CEM I 52,5R использовался в качестве вяжущего. В качестве заполнителей используются отсев гранита, доломита и кварцевый песок. В качестве модифицирующих добавок использовались три разных микронаполнителя: молотый доломит, метакраолин и молотый кварц. Для уменьшения водопотребности был выбран суперпластификатор на основе поликарбоксилата, а для

ments [5, 6]. Different kinds of micro fillers can decrease GRC deterioration by pozzolanic reactions with portlandite phase. Many are using chemically active micro fillers, such as metakaolin, fly ash, microsilica, blast furnace slag etc., to enhance various characteristics of GRC composites [7–9].

Driver M. tested workability, hydration and durability of GRC mix with finely ground pumice pozzolan. The GFRC mix with 25% pozzolan performed very well and had the highest Modulus of Rupture (MOR), stress ratio, and strain ratio values over time [10]. Peter J.M. found that microsilica did not significantly improve the ageing performance of GRC when used as a modification of the matrix. It was more effective in improving the properties of the aged composites when used as fiber treatment [9]. Marikunte S. research showed that metakaolin significantly improved both the flexural and the tensile behavior of aged GFRC composites. With aging, the GFRC composite that contained metakaolin showed only a relatively minor drop in flexural strength, strain, modulus of elasticity, and toughness [11].

Manny effort has been made in creating ultra-high-performance concrete during last three decades. This type of composites are usually referred to as reactive powder concrete (RPC) and consists of Portland cement binder, ultra-fine powders (quartz sand, quartz powder, dolomite powder), microsilica, metakaolin, superplasticizer and fibers (usually steel microfibers). Compressive strength of RPC composites can be easily achieved up to 150–200 MPa with no special curing conditions [12]. Special conditions during curing period, like temperature up to 400°C and 40 MPa pressure gives compressive strength up to 800 MPa [13].

This research paper provides test results of workability and mechanical characteristics of modified GRC matrix with various aggregates (quartz sand, fine granite, fine dolomite) and micro fillers (quartz powder, dolomite powder and metakaolin).

Materials and test methods

Seven different GRC compositions were tested for workability and flexural toughness to check the influence of different aggregates and micro fillers on the properties of GRC matrix. Rapid hardening Portland cement CEM I 52,5R was used as a binder. Fine granite, dolomite and quartz sand were chosen as aggregates. Three micro fillers were used for matrix densification: grounded dolomite, quartz and metakaolin. Polycarboxylic ether-based superplasticizer was chosen as a water reducing agent and alkali resistant (AR) glass fibers for matrix reinforcement.

Chemical composition of CEM I 52,5R is given in Table 1. It's specific (Blaine) surface was 5100 cm^2/g , particle density 3,13 g/cm^3 and mean diameter of particles – 9,31 μm . Particle size distribution is given in Fig. 1.

Properties of aggregates are given in Table 2. As we can see, quartz and granite aggregates are highly siliceous materi

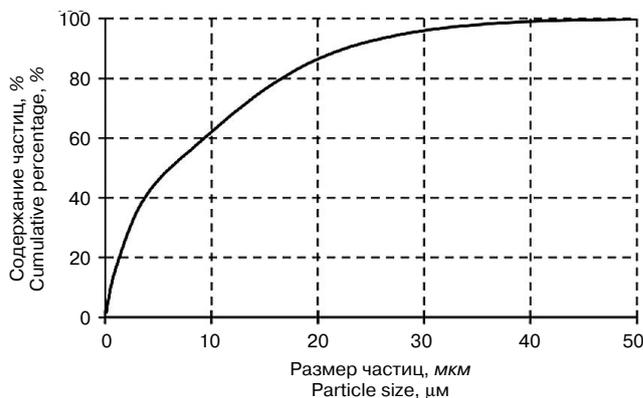


Рис. 1. Распределение частиц по размеру портландцемента CEM I 52,5R
Fig. 1. Particle size distribution of Portland cement CEM I 52,5R

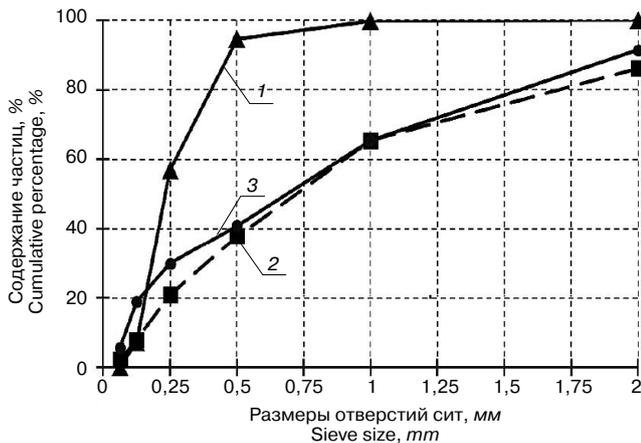


Рис. 2. Гранулометрические кривые кварцевого песка, гранита и доломита: 1 – кварцевый песок; 2 – отсев гранита; 3 – отсев доломита

Fig. 2. Granulometric curves of: 1 – quartz sand, 2 – granite; 3 – dolomite

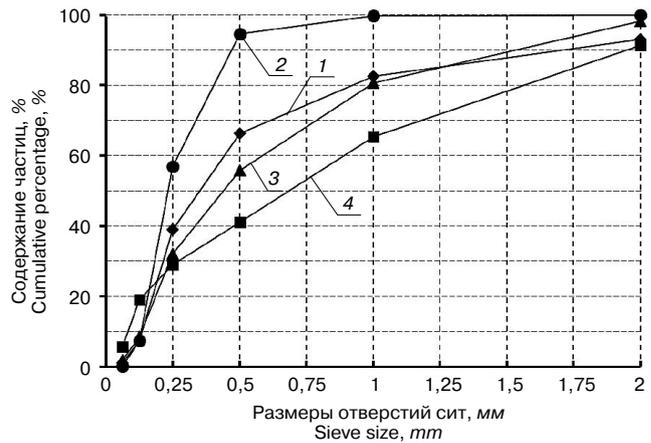


Рис. 3. Гранулометрические кривые заполнителей смесей: 1 – S4, S6; 2 – S2, S5, S7; 3 – S3; 4 – S1

Fig. 3. Granulometric curves of aggregate mixes: 1 – S4, S6; 2 – S2, S5, S7; 3 – S3; 4 – S1

Таблица 1
Table 1

Химический состав цемента
Chemical composition of cement

	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	Na ₂ O _{eq}	Cr
CEM I 52,5R	63,99	19,84	5,24	2,99	1,55	3,05	0,78	0,25	0,76	0,062

армирования было использовано щелочестойкое стекловолокно с длиной волокон 12,7 мм.

Химический состав портландцемента CEM I 52,5R приведен в табл. 1. Удельная поверхность 5100 см²/г, плотность частиц 3,13 г/см³ и средний диаметр частиц 9,31 мкм. Распределение частиц по размерам приведено на рис. 1.

Свойства заполнителей представлены в табл. 2. Как видно в табл. 2, кварцевый песок и гранит имеют большое количество SiO₂ (>70%), а в доломите преобладают карбонаты (CaCO₃+MgCO₃>80%).

На рис. 2 показаны гранулометрические кривые используемых заполнителей. Кварцевый песок состоит из сферических частиц, в то время как частицы гранита и доломита имеют более резкие нерегулярные формы, а их гранулометрия очень близка друг к другу.

Стекловолоконная фибра представляет собой пучок из 200 стеклянных волокон диаметром 18 мкм. Волокна расположены в несколько рядов последовательно друг с другом, образуя фибру с плоской прямоугольной формой с общей шириной около 1,5 мм. Длина используемых волокон составляет 12,7 мм, предел прочности при растяжении 1400 МПа, модуль упругости 74 ГПа, а температура плавления, типичная для стекла, 1100°C.

Для всех составов от S1 до S7 содержание цемента, суперпластификатора и В/Ц отношение поддерживалось постоянным, менялись только типы и содержание заполнителей и микрозаполнителей. Для каждого состава было замешено 10 л бетона с использованием высокоскоростного смесителя (скорость до 800 об/мин). На первом этапе портландцемент, заполнители, суперпластификатор и воду смешивали со скоростью 800 об/мин в течение 120 с. После этого дозировалась стекловолоконная фибра и смесь снова перемешивалась в течение 60 с со скоростью 300–400 об/мин. Состав бетонных смесей и гранулометрические кривые заполнителей представлены в табл. 3 и на рис. 3.

als, containing >70% of SiO₂, when dolomite on the contrary consists mostly of carbonate minerals (CaCO₃+MgCO₃>85%).

Granulometric compositions of quartz, granite and dolomite are shown in Fig. 2. Quartz sand consists of particles, close to spherical shape, when fine granite and dolomite (bran of crushed aggregates) have more random, sharp shapes and their cumulative curves are very close to one another.

Each fiber is a bundle of 200 filaments with diameter 18 μm. Filaments are layered on each other in series, giving a flat rectangular shape of the fibers, with total width about 1,5 mm. Length of fibers was 13 mm, tensile strength 1400 MPa, modulus of elasticity 74 GPa and melting temperature, common for glass, 1100°C.

For all mixes S1 to S7, quantities of cement, water and plasticizer were kept the same, only types and quantities of aggregates and micro fillers were changed. Concrete mixes were prepared in 10 l batches by high shear mixing method with a mixer up to 800 rpm. At first stage, water, cement, plasticizer and aggregates were blended for 120 s with maximum revolutions (800 rpm). After that, fibers were added and dispersed into the cementitious matrix with 300–400 rpm for additional 60 s. Compositions and aggregates mix granulometries are given in Table 3 and Fig. 3.

Workability of fresh concrete was tested according EN1170-1, which is based on a slump test with cylinder Ø65, h=55 mm. For compressive strength, concrete prisms 40×40×160 mm were tested according to EN196-1 for mixes S2, S3, S4. Fracture characteristics were determined according EN1170-4, by casting concrete test boards by dimensions 525×525×15 mm and cutting them into 8 specimens sized 275×50×15 mm, which were oriented perpendicularly in the test boards. Four specimens were tested for flexural resistance after 7 days and the other four – after 28 days, bending curves were plotted.

Results and discussion

Workability. Slump of all compositions are given in Fig. 4 and 5. Tests showed poor workability for all mixes, that included crushed granite or dolomite (S1, S2, S4, S6). The slump was low and severe water bleeding started to occur for mixes S1 and S4 which had significant amounts of crushed aggregates. Changing 50% of granite with quartz sand (S4

Таблица 2
Table 2

Основные свойства заполнителей
Main Properties of aggregates

Свойства Properties	Кварцевый песок Quartz sand	Отсев гранита Granite	Отсев доломита Dolomite
d_{max} , mm	1,25	2	2
Насыпная плотность, кг/м ³ Bulk density, kg/m ³	1640	1530	1560
Истинная плотность, кг/м ³ Specific gravity, kg/m ³	2650	2800	2770
SiO ₂ , %	>98,5	70–75	<4
Al ₂ O ₃ , %	<0,6	14,4	<1
CaCO ₃ +MgCO ₃ , %	0	0	>80
Водопоглощение, % Water absorption, %	<0,5	<0,6	<2%

Свойства бетонной смеси оценивались и сравнивались в соответствии со стандартом EN 1170-1, в котором описывается испытание на подвижность раствора после поднятия цилиндра диаметром 65 мм и высотой 55 мм. Для определения прочности на изгиб и сжатие изготавливали балочки 40×40×160 мм, которые были испытаны в соответствии с EN196-1 для смесей S2, S3, S4. Прочностные свойства определялись в соответствии со стандартом EN 1170-4, формуя плиты размером 525×525×15 мм и разрезая их на восемь образцов размером 275×50×15 мм, ориентированных в перпендикулярном направлении. С каждой плиты было отобрано по четыре образца и испытано через 7 сут, а оставшиеся четыре образца испытаны после 28 сут.

Результаты и обсуждение

Консистенция. Подвижность всех смесей представлена на рис. 4 и 5. Испытания показали, что неудовлетворительная консистенция характерна для тех составов, которые используют гранитные и доломитовые заполнители (S1, S2, S4, S6). Подвижность смеси была недостаточной и отмечено расслоение бетонных смесей S1 и S4, в кото-

and S6) improved situation significantly, although self-compacting consistence was still not achieved.

Best workability was achieved for mixes S3 and S7, which had only quartz sand as aggregate. S7 also included 15% of grounded quartz which stabilized fresh concrete and its surface was easier to trowel after casting to the mould. S5 also had only quartz as aggregate, but also 15% of metakaolin as micro filler, which significantly reduced the workability. 15% of grounded dolomite slightly reduced the slump for S6 quartz/dolomite matrix.

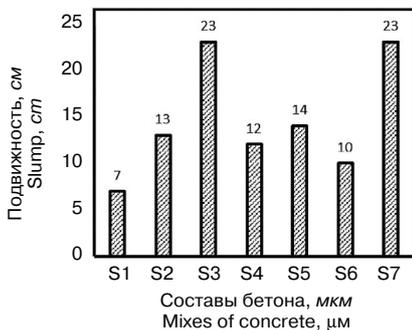


Рис. 4. Подвижность смесей согласно EN 1170-1

Fig. 4. Slump test results according to EN1170-1

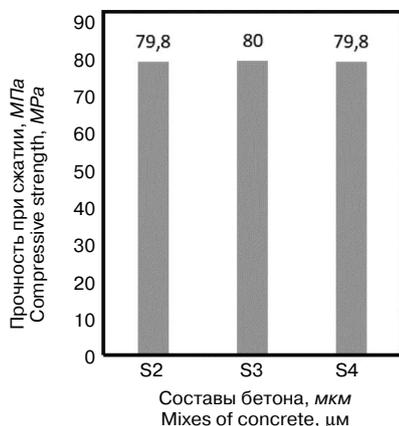


Рис. 6. Прочность при сжатии через 28 сут для составов S2, S3, S4

Fig. 6. Compressive strength after 28 days for S2, S3, S4 compositions

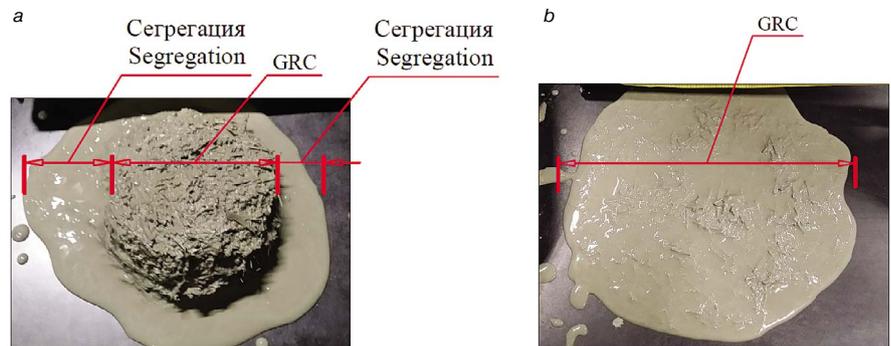


Рис. 5. Расплыв при определении подвижности бетонной смеси: а – неудовлетворительная консистенция с сильной сегрегацией матрицы и низкой подвижностью (состав S1); б – хорошая консистенция без сегрегации и с большой подвижностью (состав S7)

Fig. 5. Slump test photos: а – poor workability with severe segregation of matrix and low slump (composition S1); б – good workability with no segregation and big high slump (composition S7)

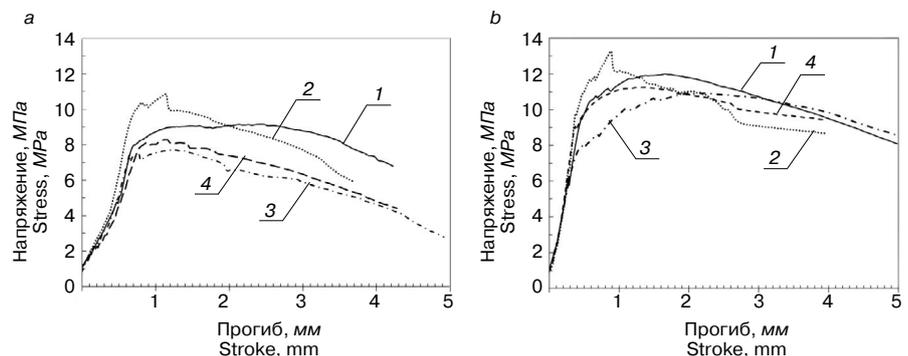


Рис. 7. Кривые деформаций бетона составов: 1 – S1; 2 – S2; 3 – S3; 4 – S4; а – 7 сут твердения; б – 28 сут твердения

Fig. 7. Bending curves for: 1 – S1; 2 – S2; 3 – S3; 4 – S4; а – 7 days; б – 28 days

Таблица 3
Table 3Составы смесей S1–S7
Relational compositions of mixtures S1–S7

Состав Mix No.	CEM I 52,5R	PCE ^a , %	В/Ц W/C	Кварцевый песок Quartz sand	Отсев гранита Crushed granite	Отсев доломита Crushed dolomite	Стекловолокну ^b , % Glass fibres ^b , %	Молотый доломит ^c , % Grounded dolomite ^c , %	Молотый кварц ^c , % Grounded quartz ^c , %	Метаксаолин ^c , % Metakaolin ^c , %
S1	1	1,1	0,36	0	0	1	3	0	0	0
S2	1	1,1	0,36	0,5	0,5	0	3	0	0	0
S3	1	1,1	0,36	1	0	0	3	0	0	0
S4	1	1,1	0,36	0,15	0,85	0	3	0	0	0
S5	1	1,1	0,36	1	0	0	3	0	0	15
S6	1	1,1	0,36	0,5	0,5	0	3	15	0	0
S7	1	1,1	0,36	1	0	0	3	0	15	0

Примечания: ^a Пластификатор; ^b от массы матрицы; ^c от массы цемента.
Note: ^a Polycarboxylic ether-based superplasticiser; ^b from total weight of the matrix; ^c from weight of cement.

Таблица 4
Table 4Прочность при изгибе и остаточная прочность при прогибе 3 мм (пластины 15×50×275)
Residual flexural strength at 3 mm stroke (plates 15×50×275, 28 days)

Состав Composition	Прочность при изгибе, МПа Flexural strength, MPa		Остаточная прочность при прогибе 3 мм, МПа (%) Residual strength at 3 mm deflection, MPa (%)	
	Через 7 сут after 7 days	Через 28 сут after 28 days	Через 7 сут after 7 days	Через 28 сут after 28 days
S1	8,29	11,99	6,36 (77%)	10,73 (89%)
S2	10,84	11,24	7,75 (71%)	9,9 (88%)
S3	7,71	10,92	5,92 (77%)	10,64 (97%)
S4	9,15	13,24	8,77 (96%)	9,07 (69%)
S5	9,04	6,91	6,19 (68%)	6 (86%)
S6	10,28	9,73	8,48 (82%)	7,47 (77%)
S7	7,48	7,98	6,27 (84%)	5,07 (64%)

рых преобладали заполнители на основе измельченных горных пород. Заменяв 50% гранита на кварцевый песок (S4 и S6), подвижность значительно улучшилась, но консистенция самоуплотняющейся смеси все еще не была достигнута.

Лучшая консистенция смеси была получена с использованием в качестве заполнителя только кварцевого песка S3 и S7. Также состав S7 включал 15% молотого кварца, который стабилизировал свежий бетон, а его поверхность легче затиралась после заполнения формы бетоном. В смеси S5 также использовался кварцевый песок в качестве единственного заполнителя, но дополнялся 15% метаксаолина, который ухудшил консистенцию смеси. Молотый доломит, используемый в количестве 15% для модификации матрицы S6, незначительно снизил подвижность смеси этой матрицы.

Прочность при сжатии через 28 сут превышала определение понятия «высокопрочный бетон» (>55 МПа, Американская ассоциация бетона). Были достигнуты показатели прочности бетона при сжатии: 79,8 МПа для S2 и 80 МПа для S3. Поэтому можно сле-

Compressive strength. Compressive strength after 28 days exceeded definition of high strength concrete (>55 MPa, American Concrete Institute and EN 206). Results were 79,8 MPa for S2 and S4 and 80 MPa for S3, which brings us to a conclusion, that changing 50% of quartz sand with crushed granite did not give any influence on compressive strength (Fig. 6).

Flexural strength and fracture characteristics. Bending curves in Fig. 7 and 8 show apparent ductility of glass fibre reinforced composite and no brittle behaviour. All specimens reached their rupture point at average deflection to span ratio 1/250, which was characterized as first crack in the tension zone. Even after deflection increased by 400% from rupture point, specimens were still maintaining up to 90% of their maximum resistance. Coarse shaped aggregates (granite and dolomite) have positive influence, increasing flexural strength. While 15% addition of metakaolin and inert powders (quartz and dolomite) reduces overall flexural strength.

Table 4 shows residual strength for tested compositions at 3 mm stroke, indicating high ductility of glass fibre reinforced composite and average maximum flexural strength after 7 and 28 days.

Optical microscopy tests (microstructure investigation). Specimen fracture zones were investigated with optical micro-

лать вывод, что замена кварцевым песком 50% дробленой горной породы не влияет на прочность при сжатии АСВБ.

Прочность при изгибе и деформационные свойства. Кривые деформации, приведенные на рис. 7 и 8, показывают, что АСВБ представляет собой пластичный композит без признаков хрупкого разрушения под статической нагрузкой. Все образцы достигли точки разрыва при среднем прогибе, когда он доходил до значения 1/250. В этот момент появился первый разрыв в растягивающей зоне бетона. Даже после того как отклонение увеличилось на 400% от точки разрыва, образцы сохраняли до 90% от их максимального сопротивления. Заполнители из дробленой горной породы способствовали повышению прочности при изгибе. Однако дополнительное количество 15% микрозаполнителя (молотый кварц, метакаолин, молотый доломит) уменьшило прочность композита АСВБ при изгибе.

В табл. 4 показаны средние значения прочности при изгибе и остаточные показатели прочности всех изученных составов при прогибе 3 мм через 7 и 28 сут.

Оптическая микроскопия (исследование микроструктуры). Были проанализированы экспериментальные зоны раскола для изучения распределения стеклянной фибры в поперечном сечении и для установления характера ее разрушения. Выявлено, что стеклянная фибра не распадается на отдельные стекловолокна во время перемешивания бетонной смеси, что обеспечивает необходимую консистенцию, если состав матрицы подобран правильно и отвечает потребностям (рис. 9). В большинстве случаев стеклянная фибра не расположена перпендикулярно нормальному разрезу (плоскости разрушения) и распределена случайным образом в диапазоне от 4 до 6 ед./см², что объясняет разброс значений прочности при изгибе даже между образцами из одной и той же плиты (525×525 мм) (рис. 10). Стеклянная фибра имеет плоскую форму, что увеличивает площадь контакта для обеспечения адгезии между матрицей и волокнами. Однако в сердцевине фибры также присутствует волокно, которое принимает напряжения из-за сцепления и электростатических сил, действующих между ними. Поскольку стекловолокна не склеены друг с другом, можно утверждать, что сердцевина принимает очень небольшую часть истинных натяжений. В большинстве случаев стекловолокна в области контакта сначала разрушаются, а внутренняя сердцевина вытягивается из волокон (рис. 11).

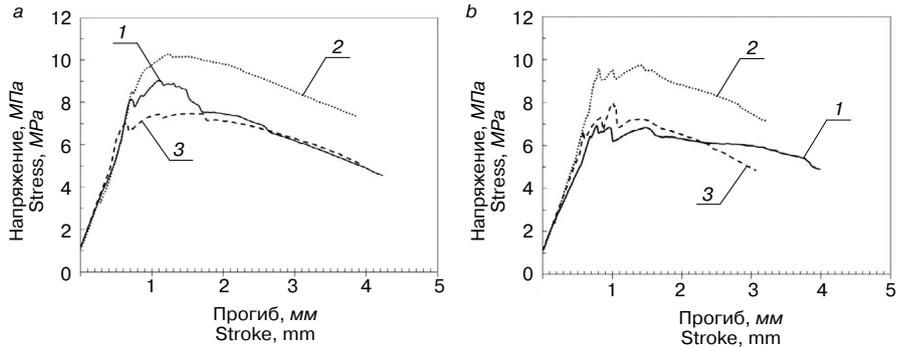


Рис. 8. Кривые деформаций бетона составов: 1 – S5; 2 – S6; 3 – S7; а – 7 сут твердения; б – 28 сут твердения

Fig. 8. Bending curves for: 1 – S5; 2 – S6; 3 – S7; a – 7 days; b – 28 days



Рис. 9. Стеклянная фибра не распадается на отдельные стекловолокна

Fig. 9. Glass filaments do not disintegrate from bundles after mixing



Рис. 10. Стекловолокна в поперечной трещине со случайным их распределением

Fig. 10. Randomly dispersed fibers in the fractured cross section

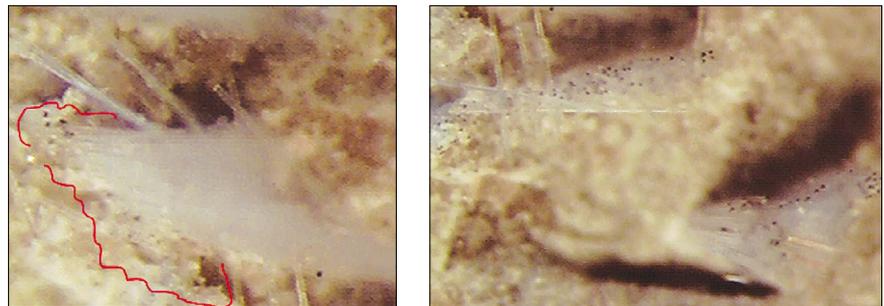


Рис. 11. Вытянутые стекловолокна из внутреннего сердечника фибры

Fig. 11. Filament pull-out behaviour from the inner core of the bundle

scope in order to identify glass fibre distribution and fracture behaviour. Results show that glass fibres do not disintegrate from bundles during mixing process, which gives stable and good workability, if matrix composition satisfies the demand (Fig. 9). In most cases fibres are not perpendicular to the fracture plane and dispersed very randomly, ranging from 4–6 pcs/cm², (Fig. 10) which explains big variation of flexural strength between specimens from the same board (525×525 mm). Fibre bundles

Выводы

Консистенция смеси армированного стекловолокном бетона лучше, когда в качестве заполнителя используется кварцевый песок с частицами сферической формы. Замена по меньшей мере 50% кварцевого песка дробленным гранитом значительно снижает подвижность бетонной смеси и приводит к незначительному ее расслоению. Прочность АСВБ при изгибе через 28 сут достигает 13,24 МПа при добавлении гранитного заполнителя. Стекловолокно меняет хрупкую структуру бетона, способствуя повышению деформативности бетона. Даже после того как прогиб увеличился на 400% от точки разрыва к первоначальному значению, образцы по-прежнему выдерживали до 90% от их максимальной прочности.

Введение 15% микрозаполнителя (молотого кварца, молотого доломита, метаксаолина) влияет на прочность при изгибе (при введении метаксаолина прочность при изгибе уменьшается на 36%, при добавке молотого кварца на – 27%). Добавка 15% метаксаолина ухудшает консистенцию смеси, а молотый кварц почти не влияет на подвижность бетонной смеси и делает ее более стабильной, а ее поверхность легче затирается после заполнения формы бетоном. Дробленный заполнитель с размером частиц до 2 мм не влиял на этот параметр.

Исследования под оптическим микроскопом показали, что стеклянная фибра не распадается на отдельные стекловолокна во время перемешивания бетонной смеси. В большинстве случаев стекловолокна в области контакта с цементной матрицей разрушаются, а сердцевинные волокна вытягиваются из фибры, поскольку стеклонити не склеены друг с другом, но связаны слабыми электростатическими силами, возникающими при производстве стеклофибры.

have distinctly flat shape, giving larger area for matrix adhesion. Although, there are also filaments in the core of bundle that are working only by friction and electrostatic forces, generated during filament manufacture process. As the filaments are not glued together, the core is poorly assisting in transmission of the tension stresses. In many cases at first external filaments rupture and inner core is pulled out from the bundle (Fig. 11).

Conclusions

Workability of glass fibre reinforced concrete (GRC) is better when quartz sand aggregate with spherical shape particles is used. Replacing at least 50% of quartz sand with crushed granite significantly reduces workability and some water bleeding starts to occur.

Average 28-day flexural strength of premix GRC reached up to 13,24 MPa with added granite aggregate, changing concrete behaviour from brittle to highly ductile composite material. After deflection increased by 400% from rupture point, specimens were still maintaining up to 90% of their maximum resistance.

Adding 15% of micro fillers (grounded dolomite, quartz and metakaolin) to OPC- quartz sand matrix reduced flexural capacity very significantly – by 36% for metakaolin and 27% for grounded quartz. Metakaolin also had major negative impact on workability, while grounded quartz had no effect on the slump, but concrete seemed more stable and resulted in better trowelled surface.

Average 28-day compressive strength was up to 80 MPa for GRC without added microfillers. Crushed aggregate with up to 2 mm particle size had no influence on this parameter.

Microscopical tests showed that glass fibres do not disintegrate from bundles during mixing process. In many cases at first external filaments rupture and after that inner core is pulled from the bundle, because glass filaments are not glued together and are only attracting each other by electrostatic forces, generated during filament manufacture process.

Список литературы / References

- Purnell P., Short N.R., Page C.L. A static fatigue model for the durability of glass fibre reinforced cement. *Journal of Materials Science*. 2001. Vol. 36, pp. 5385–5390 <https://doi.org/10.1023/A:1012496625210>
- Orlowsky J., Raupach M., Cuypers H., Wastiels J. 2005. Durability modelling of glass fibre reinforcement in cementitious environment. *Materials and Structures*. 2005. Vol. 38. Iss. 2, pp. 155–162. <https://doi.org/10.1007/BF02479340>
- Mills R.H. Preferential precipitation of calcium hydroxide on alkali-resistant glass fibres. *Cement and Concrete Research*. 1981. Vol. 11. Iss. 5–6, pp. 689–697. [https://doi.org/10.1016/0008-8846\(81\)90027-2](https://doi.org/10.1016/0008-8846(81)90027-2)
- Gao S.L., Mader E., Plonka R. 2007. Nanocomposite coatings for healing surface defects of glass fibers and improving interfacial adhesion. *Composites Science and Technology*. 2008. Vol. 68. Iss. 14, pp. 2892–2901. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2007.10.009>
- Purnell, P., Short, N.R.; Page C.L.; Majumdar A.J. 1999. Accelerated ageing characteristics of glass-fibre reinforced cement made with new cementitious matrices. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 1999. Vol. 30. Iss. 9, pp. 1073–1080. [https://doi.org/10.1016/S1359-835X\(99\)00019-6](https://doi.org/10.1016/S1359-835X(99)00019-6)
- Huijun W., Jing Z., Zhonghang W., Ting S. Damage action of alkali-resistant glass fiber in cement-based material. *Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed.* 2013. Vol. 28. Iss. 4, pp. 761–765. <https://doi.org/10.1007/s11595-013-0765-7>
- Peled A., Jones J., Shah S.P. Effect of matrix modification on durability of glass fiber reinforced cement composites. *Materials and Structures*. 2005. Vol. 38. Iss. 2, pp. 163–171. <https://doi.org/10.1007/BF02479341>
- Brandt A.M., Glinicki M.A. Effects of pozzolanic additives on long-term flexural toughness of HPGRC. *Fourth international workshop on high performance fiber reinforced cement composites*. University of Michigan and the University of Stuttgart. 2003.
- Bartos J.M., Zhu W. Effect of microsilica and acrylic polymer treatment on the ageing of GRC. *Cement and Concrete Composites*. 1996. Vol. 18. Iss. 1, pp. 31–39. [https://doi.org/10.1016/0958-9465\(95\)00041-0](https://doi.org/10.1016/0958-9465(95)00041-0)
- Driver M., Jones J. The use of finely ground pumice pozzolan in GFRC composites. *GRC symposium*. Dubai. 2015. <https://grca.org.uk/pdf/congress-2015/13%20The%20use%20of%20finely%20ground%20pumice%20pozzolan%20in%20GFRC%20composites.pdf>
- Marikunte S., Aldea C., Shah S. Durability of glass fiber reinforced cement composites: effect of silica fume and metakaolin. *Advanced Cement Based Materials*. 1997. Vol. 5, Iss. 3–4, pp. 100–108. [https://doi.org/10.1016/S1065-7355\(97\)00003-5](https://doi.org/10.1016/S1065-7355(97)00003-5)
- Shi C., Wu Z. et. al. A review on ultra high performance concrete: Part I. Raw materials and mixture design. *Construction and Building Materials*. 2015. Vol. 101. Part 1, pp. 741–751. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.10.088>
- Richard P., Cheyrezy M. Composition of reactive powder concretes. *Cement and Concrete Research*. 1995. Vol. 25. Iss. 7, pp. 1501–1511. [https://doi.org/10.1016/0008-8846\(95\)00144-2](https://doi.org/10.1016/0008-8846(95)00144-2)

Г.С. СЛАВЧЕВА, д-р техн. наук (gslavcheva@yandex.ru),
М.А. ШВЕДОВА, инженер-исследователь (marishwedowa@mail.ru),
Д.С. БАБЕНКО, инженер-исследователь (teleperedoz@mail.ru)

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

Анализ и критериальная оценка реологического поведения смесей для строительной 3D-печати

Произведен анализ теоретических положений классической реологии дисперсных систем применительно к условиям строительной 3D-печати. В результате выявлен полный перечень реологических характеристик смесей, критериальных для эффективного управления их свойствами на всех стадиях процесса. К ним отнесены пределы ползучести и текучести, статическая, пластическая и динамическая вязкость, пластическая прочность смесей; показатели сопротивления разрушению композитов в заданные сроки твердения. Произведена систематизация и анализ современных подходов к оценке реологического поведения дисперсных систем в статических условиях действия сжимающих напряжений, моделирующих поведение систем в процессе 3D-печати. На основании данных подходов обоснована методика экспериментальной оценки реологических характеристик смесей. В результате исследований установлено, что экструдированность смесей определяется такими их структурно-механическими характеристиками, как оценки пределов ползучести и текучести, критерий эластичности. Их значения предлагается определять при испытаниях вязкопластичных свойств образцов на сдавливание с постоянной скоростью деформирования 5 мм/с, так как при данных условиях моделируется поведение системы в процессе экструзии. Формоустойчивость смесей предложено оценивать при сдавливании образцов с постоянной скоростью нагружения 0,5 Н/с, что отвечает средней скорости возрастания нагрузки при печати строительных объектов. К количественным критериям формоустойчивости отнесены: величина структурной прочности, характеризующей способность системы сопротивляться деформированию, величины пластической прочности и пластических деформаций, отражающих способность системы пластически деформироваться без разрушения.

Ключевые слова: смеси для 3D-печати, реологическое поведение, методы оценки при сдавливании, предел текучести, пластическая прочность.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта 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., Шведова М.А., Бабенко Д.С. Анализ и критериальная оценка реологического поведения смесей для строительной 3D-печати // *Строительные материалы*. 2018. № 12. С. 34–40. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-766-12-34-40>

G.S. SLAVCHEVA, Doctor of Sciences (Engineering) (gslavcheva@yandex.ru), M.A. SHVEDOVA, engineer (marishwedowa@mail.ru),
D.S. BABENKO, engineer (teleperedoz@mail.ru)
Voronezh State University of Architecture and civil Engineering (84, 20-letiya Oktyabrya Street, Voronezh, 394006, Russian Federation)

Analysis and Criteria Assessment of Rheological Behavior of Mixes for Construction 3-D Printing

The analysis of theoretical propositions of classical rheology of disperse systems in relation to conditions of construction 3D printing is made. As a result, a complete list of rheological characteristics of mixtures that are criteria for effective control over their properties at all the stages of the process is revealed. These are the limits of creep and yield strength, static and dynamic viscosity, plastic strength of the mixtures; indicators of resistance to fracture of composites within a specified period of hardening. The systematization and analysis of modern approaches to the evaluation of rheological behavior of disperse systems under static conditions of compressive stresses, modeling the behavior of systems in the process of 3D printing are made. On the basis of these approaches, the method for experimental evaluation of rheological characteristics of mixes is substantiated. As a result of research, it is established that the extrudability of mixes is defined by such their structural and mechanical characteristics as estimates of limits of creep and fluidity, criterion of elasticity. Their values are proposed to determine when testing visco-plastic samples for compression with a constant deformation rate of 5 mm/s, since under these conditions the behavior of the system in the extrusion process is modeled. It is proposed to estimate the form stability of mixtures when compressing samples with a constant loading rate of 0.5 N/s, which corresponds to the average rate of increase in the load when printing construction objects. The quantitative criteria of the form stability include: the value of structural strength characterizing the ability of the system to resist to deformation, the values of plastic strength and plastic deformations reflecting the ability of the system to deform plastically without destruction.

Keywords: mixes for 3D printing, rheological behavior, methods for evaluation when compressing, yield point, plastic strength.

The work was performed under the financial support of the project 7.10781.2018/11.12 according to the State task “Execution of projects for obtaining primary scientific results providing the expansion of participation of subordinate educational organizations in the realization of the National Technological Initiative”.

For citation: Slavcheva G.S., Shvedova M.A., Babenko D.S. Analysis and criteria assessment of rheological behavior of mixes for construction 3-D printing. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 12, pp. 34–40. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-766-12-34-40> (In Russian).

Эффективность и технологичность строительной 3D-печати зависят от возможности регулирования характеристик смесей на всех стадиях процесса. Для обеспечения требуемого качества и сроков строительства управление реологическим поведением смесей должно производиться по условиям обеспечения текучести для их перекачки, пластичности для экструзии, сохранности формы слоя после его укладки, структурной прочности для восприятия нагрузки укладываемых выше

слоев. При этом скорость схватывания и твердения смеси должна быть соотносима со скоростью печати строительного объекта.

Внимание исследователей данного вопроса, как правило, сконцентрировано на проблемах экструдированности (extrudability), формоустойчивости (buildability) и параметрах структурообразования (structural build up) [1–16], потому что именно эти характеристики смесей для 3D-печати существенно отличаются от

традиционных технических свойств строительных смесей и композитов. Однако в настоящее время отсутствуют единые подходы к тому, какие реологические характеристики являются критериями оценки данных параметров смесей. Существуют разночтения в использовании моделей реологического поведения смесей, а количественные значения реологических характеристик зависят от методов их оценки. В связи с этим трудно точно интерпретировать их физический смысл и соответственно однозначно обосновать технические требования к параметрам смесей. Поэтому существует необходимость в адекватной и непротиворечивой их оценке, что даст возможность критериально оценить поведение смесей на всех стадиях 3D-печати, сформировать основные принципы управления процессом.

Анализ теоретических положений реологии дисперсных систем применительно к условиям строительной 3D-печати

С позиций классической реологии дисперсных систем смеси для строительной 3D-печати представляют собой гетерогенные системы твердая дисперсная фаза – жидкая дисперсионная среда. Приоритет в системном комплексном описании поведения дисперсных систем в условиях их непрерывной сдвиговой деформации принадлежит советской школе физико-химической механики дисперсных систем. В трудах школы П.А. Ребиндера впервые получена полная реологическая кривая течения дисперсных систем (рис. 1), которая интерпретирована^{1, 2} с позиций состояния структуры дисперсной системы. В результате зависимость вязкости η от напряжения сдвига τ при разной его скорости $\dot{\epsilon}$ объединена в рамках единой модели реологии вязкопластичного стационарного течения аномально вязких систем:

$$\eta(\tau) = \eta_0 + \tau / \dot{\epsilon}. \tag{1}$$

В рамках данной модели отдельные участки реологической кривой отвечают отличающимся по молекулярному механизму явлениям, поэтому для каждого участка используются свои параметры вязкости и пределов текучести, существенно разные по физическому смыслу и значению.

На стадиях процесса 3D-печати в зависимости от величины и скорости приложенных напряжений модели реологического поведения смесей можно соотнести с классической реологической кривой следующим образом. При приготовлении смеси происходит формирование высококонцентрированной дисперсной системы твердая дисперсная фаза – жидкая дисперсионная среда, структурированной коагуляционными контактами между частицами дисперсной фазы. В процессе транспортировки смеси при действии высоких напряжений сдвига ее поведение соотносится с участками III и IV реологической кривой. На начальном этапе вязкопластического течения при достижении предела текучести τ_{k2} происходит интенсивное разрушение структуры системы, реологическое поведение соотносится с участком III (модель Бингама):

$$\tau = \tau_{k2} + \eta_m^* \dot{\epsilon}. \tag{2}$$

Смещение равновесия в сторону разрушения контактов при относительно больших напряжениях сдвига приводит к падению эффективной вязкости системы на несколько порядков:

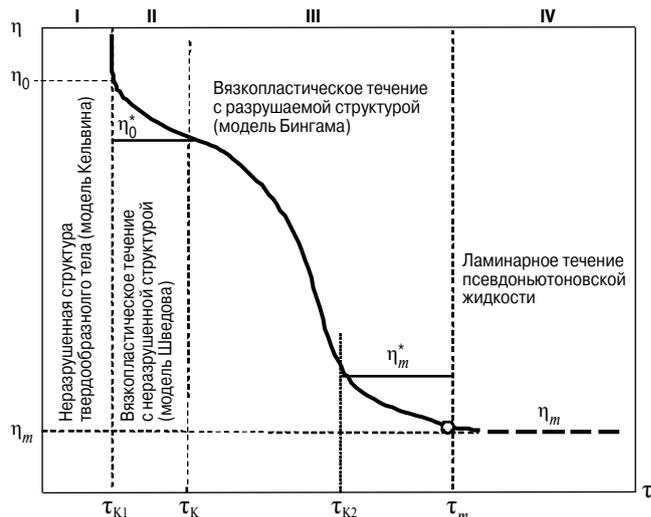


Рис. 1. Полная реологическая кривая структурированной дисперсной системы (по Ребиндеру П.А., Шукину Е.Д.)

$$\eta_m^* = \frac{\tau - \tau_{k2}}{\dot{\epsilon}}. \tag{3}$$

При перекачке смесь в условиях ламинарного течения в результате действия высоких напряжений сдвига τ_m проявляет свойства ньютоновской жидкости, отвечающие полностью разрушенной структуре дисперсной системы, и характеризуется постоянной минимальной вязкостью η_m . В итоге эффективность транспортировки смеси определяется динамической вязкостью η_m и бингамовским пределом текучести τ_{k2} смеси.

При попадании в экструдер смесь переходит в твердообразное состояние за счет восстановления коагуляционных контактов в покое. В момент экструдирования при действии относительно низких сжимающих напряжений поведение смеси может быть соотнесено с вязкопластическим течением дисперсной системы с неразрушенной структурой (модель Шведова):

$$\tau = \tau_k + \eta_0^* \dot{\epsilon}, \tag{4}$$

где τ_k – предел ползучести, соответствующий напряжению сдвига, после которого наступает вязкопластическое течение с высокой эффективной вязкостью:

$$\eta_0^* = \frac{\tau - \tau_k}{\dot{\epsilon}}. \tag{5}$$

Таким образом, экструдированность зависит от эффективной пластической вязкости η_0^* и предела ползучести τ_k .

В момент печати слоя смеси опять происходит переход в твердообразное состояние с восстановлением коагуляционной структуры, соответствующее участку I реологической кривой. Формоустойчивость слоя в момент печати может быть соотнесена со значением статического предела текучести τ_{k1} , а вязкость характеризуется максимальной величиной η_0 . Далее в процессе печати каждый слой находится под действием сжимающих напряжений от давления укладываемых выше слоев. Формоустойчивость слоя в этих условиях может быть оценена по величине пластической прочности P_m , предложенной П.А. Ребиндером для оценки прочности дисперсных систем, структура которых занимает промежуточное положение между твердым и вязкопластичным состоянием.

¹ Ребиндер П.А. Избранные труды. Поверхностные явления в дисперсных системах: Физико-химическая механика. М.: Наука, 1979. С. 104–112.
² Урьев Н.Б. Физико-химические основы технологии дисперсных систем. М.: Химия, 1988. С. 51–68.

Таблица 1

Критериальные реологические характеристики смесей

Стадии процесса 3D-печати	Оцениваемые параметры	Критериальные реологические характеристики
Транспортировка смеси из смесителя в экструдер	Транспортабельность	Предел текучести $\tau_{к2}$ (по Бингаму)
		Динамическая вязкость η_m
Экструдирование	Экструдирруемость	Предел ползучести τ_k (по Шведову)
		Пластическая вязкость η_0^*
Послойная укладка	Формоустойчивость	Статический предел текучести $\tau_{к1}$
		Статическая вязкость η_0
		Пластическая прочность P_m
Твердение напечатанных слоев	Показатели сопротивления разрушению в заданные сроки твердения	

В процессе схватывания и твердения напечатанных слоев система переходит от вязкопластичной коагуляционной структуры к формированию структуры твердого тела с коагуляционно-кристаллизационными фазовыми контактами. Соответственно, скорость печати здания должна быть соотнесена со скоростью структурообразования и твердения смесей в процессе 3D-печати.

В табл. 1 представлен перечень реологических характеристик смесей, критериальных для эффективного управления их свойствами в процессе 3D-печати, обоснованный исходя из рассмотрения моделей фундаментальной реологии.

Данные характеристики дисперсных систем традиционно определяют реометрическими методами при варьировании скорости и напряжений сдвига в широком диапазоне. Однако существует ряд факторов, препятствующих практическому использованию классических моделей макрореологии и методов реометрии в технических задачах оценки свойств смесей. Во-первых, в процессах экструзии и послойной укладки поведение смесей определяется действием нормальных сжимающих напряжений σ_{xx} , а не тангенциальных напряжений сдвига τ , используемых в реологических моделях и соответственно в реометрических измерениях. В результате сам принцип описания свойств и получения информации о них не соответствует условиям проявления этих свойств в технологическом процессе. Во-вторых, промышленно производимые реометры являются весьма дорогостоящими и сложными в использовании, поэтому высокоэффективны для научных исследований, но неприменимы для технических измерений. Разрешение данных проблем в настоящее время происходит в рамках формирования новых подходов к оценке реологического поведения вязкопластичных систем, адаптированных, в частности, к условиям 3D-печати.

Современные подходы к оценке реологического поведения дисперсных систем в процессах 3D-печати

Основой формирования данных подходов является теория течения при сдавливании (squeeze flow theory), основные положения которой обобщены в [17]. В процессе развития данной теории произведен анализ механизмов течения материала в условиях сжатия между двумя параллельными пластинами. Это позволило найти аналитические соотношения между нормальными напряжениями σ_{xx} , скоростью сжатия и классическими показателями пределов текучести и вязкости систем при действии тангенциальных напряжений сдвига τ в рамках различных реологических моделей. В результате анализа данных моделей для вязких, пластичных, вязкопластичных, эластичных и вязкоэластичных материалов были обоснованы условия их текучести при сжатии, позволяющие связать классиче-

ские реологические характеристики с параметрами действия сжимающих напряжений. На основании использования условий текучести теоретически обоснованы и экспериментально апробированы реометрические испытания при сдавливании (squeeze flow rheometry), которые оказались эффективны для широкой гаммы вязких, пластичных, вязкопластичных (полимеров, гелей, строительных паст). Метод squeeze flow rheometry стал основным при изучении реологического поведения смесей и для статических условий строительной 3D-печати, несмотря на невозможность изучения параметров тиксотропности и течения в динамических условиях. Это обусловлено его простотой и возможностью реализации на стандартных системах для механических испытаний строительных композиций, а также возможностью моделировать реологическое поведение систем в условиях экструзии и послойной укладки.

Принцип метода, сформулированный в [17], состоит в испытаниях на сдавливание между параллельными пластинами цилиндрических свежееотформованных образцов, радиус которых R равен их высоте h_0 . Могут быть реализованы два варианта испытаний: 1) сдавливание с постоянной скоростью деформирования; 2) сдавливание с постоянной скоростью нагружения.

Результаты испытаний для оценки основных реологических характеристик смесей интерпретируются с использованием базового соотношения между нормальными напряжениями σ_{xx} и пределом текучести τ при простом сдвиге, полученного в рамках теории потока при сдавливании с использованием модели Бингама и критерия текучести фон Мизеса [17]:

$$\sigma_{xx} = -\sqrt{3}\tau + 3K \frac{\dot{H}}{h_0}, \quad (6)$$

где K – начальная вязкость смеси до сжатия; h_0 – начальное расстояние между параллельными пластинами; \dot{H} – скорость сжатия.

В настоящее время сформировано и получено широкое распространение два основных варианта реализации принципов squeeze flow rheometry. Первый из них, обоснованный в работах N. Roussel'a [18, 19], реализован и с использованием стандартных систем для механических испытаний, и при применении специальной экструзионной техники [21–23]. Данный подход заключается в моделировании реологического поведения смесей в процессе экструзии при варьировании скоростей деформирования в диапазоне 0,1–5 мм/с. При проведении испытания задается постоянная скорость деформирования, в процессе испытания фиксируются кривые «нагрузка P – перемещение Δ » до максимального возможного сжатия образца. Интерпретация полученных результатов производится на основании построения

и анализа кривых зависимости приведенной нагрузки F^* от относительного изменения высоты образца h_i/R :

$$F_i^* = \frac{Ph_i}{\pi R^2}, \quad (7)$$

где $h_i = (h_0 - \Delta)$, h_0 – начальная высота образца; Δ – перемещение в i -й момент времени; величина R принимается постоянной и равной радиусу образца в начале испытания.

На кривой выделяется зона пластического поведения, в которой на основании преобразования базового соотношения (6) рассчитывается величина K_i , названная Н. Русселом оценкой предела пластичности (plastic yield value) [19]:

$$K_i(h/R) = \frac{\sqrt{3F^*}}{2}. \quad (8)$$

Второй подход обоснован и реализован в работах А. Перро [20], он предполагает моделирование параметров нагружения на первый уложенный слой от последовательно нарастающего давления укладываемых выше слоев. Испытания могут быть реализованы при варьировании скорости нагружения в диапазоне 0,1–1,5 Н/с, что отвечает различной скорости печати строительных объектов. При проведении испытания задается постоянная скорость нагружения, в процессе испытания фиксируются кривые «нагрузка P – перемещение Δ » до появления трещин в боковых гранях образца. На основании результатов эксперимента определяется структурная прочность системы и время, соответствующее началу разрушения.

Однако при использовании охарактеризованных подходов к оценке реологических свойств существуют разночтения в трактовке полученных результатов при соотнесении их как с условиями 3D-печати, так и с классическими реологическими моделями и характеристиками. В наших исследованиях ставилась задача изучения реологического поведения смесей с использованием обоих подходов squeeze flow rheometry для обоснования количественных критериев экструдированности и формоустойчивости смесей на основании соотнесения полученных результатов с классическими положениями реологии дисперсных систем.

Экспериментальная программа

Исследовались модельные системы цемент+вода (портландцемент СЕМ I 42,5) при значениях величины $V/C=0,22; 0,23; 0,24; 0,25; 0,26$. Варьирование V/C отношения рассматривалось в качестве фактора изменения концентрации дисперсной фазы в системе, который с позиций структурной реологии является главным критерием ее прочности [24].

В эксперименте использовалась свежотформованные цилиндрические образцы цементного теста размером $R=h_0=25$ мм. Изготавливалось шесть образцов, для которых сначала производилась визуальная оценка их способности сохранять форму при укладке друг на друга. Затем для проведения сдавливающих тестов каждый

отдельный образец помещался между двумя гладкими пластинами, диаметр которых соответствовал размеру образца (рис. 2); испытания проводились с использованием системы INSTRON 5982.

Для свежотформованных образцов всех серий сдавливающий тест производился с постоянной скоростью деформирования 5 мм/с, так как при данной скорости проведения испытаний наиболее адекватно моделируется поведение системы в процессе экструзии [21–23]. Полученные в процессе испытаний кривые «нагрузка P – перемещение Δ » интерпретировались в виде кривых зависимости приведенной нагрузки F^* (см. соотношение (7)) от относительного изменения высоты образца h_i/R . Для точек перегиба на данной кривой рассчитывалась величина K_i согласно соотношению (8).

Для серий образцов, которые визуально сохраняли форму, проводились испытания при постоянной скорости нагружения 0,5 Н/с, что отвечает средней скорости возрастания нагрузки при печати строительных объектов промышленно производимыми принтерами. Испытания проводились непосредственно после формирования образцов и после их выдержки в течение 30 и 60 мин. Эксперимент проводился до разрушения образцов, в процессе опытов фиксировались кривые «нагрузка P – перемещение Δ », «перемещение – время t ». Значение структурной прочности системы:

$$\sigma = \frac{P}{\pi R^2} \quad (9)$$

рассчитывалось в точках, соответствующих началу деформирования, началу трещинообразования и разрушению.

Результаты и их обсуждение

Анализ кривых $F^*=f(h_i/R)$ позволяет выделить на них три участка (рис. 3). На первом участке при действии низких сжимающих напряжений в диапазоне деформирования $\sim 0,8 < h_i/R < 1$ структура сохраняет устойчивость (placing phase по Н. Русселю [19]). В соотнесении с полной реологической кривой поведение смеси может быть охарактеризовано как вязкопластическое течение дисперсной системы с неразрушенной структурой (модель Шведова), а величина $K_i(I)$ в первой точке перегиба – с оценкой предела ползучести системы τ_k .

При возрастании напряжений на втором участке при $h_i/R < 0,8$ система пластически деформируется (perfect plate response phase по Н. Русселю [19]), а ее структура теряет устойчивость. Поэтому второй участок кривой может быть соотнесен с вязкопластическим течением дисперсной системы с интенсивно разрушаемой структурой, а величина $K_i(II)$ во второй точке перегиба – с оценкой предела текучести системы по Бингаму $\tau_{к2}$. Резкое возрастание нагрузки на третьем участке связывается [19] как с интенсификацией течения, так и с частичным удалением воды и уплотнением структуры.

В качестве комплексного параметра оценки свойств исследованных систем использован также критерий



Рис. 2. Образец цементного теста в процессе испытания на сдавливание: а – начало испытания; б – начало разрушения; в – окончание испытания

Таблица 2

Изменение структурно-механических характеристик дисперсной системы цемент+вода в зависимости от В/Ц-отношения

В/Ц	Оценка предела ползучести $K_f(I)$, кПа	Оценка предела текучести $K_f(II)$, кПа	Эластичность λ
0,24	3,98	7,49	0,59
0,25	3,38	5,96	0,55
0,26	2,06	4,39	0,51
0,27	0,26	Система теряет упруговязкопластические свойства и устойчивость, приобретает текучесть в начальный момент нагружения при $F^* < 0,3$ кПа	
0,28	0,24		

Таблица 3

Изменение прочности и деформативности дисперсной системы цемент+вода в процессе схватывания

Время выдержки образца	Наименование характеристик				
	Структурная прочность в начале деформирования σ_0 , кПа	Пластическая прочность и деформации в начале трещинообразования		Критическая прочность и деформации при разрушении	
		$\sigma_{пл}$, кПа	$\Delta_{пл}$, мм	$\sigma_{кр}$, кПа	$\Delta_{кр}$, мм
~5 мин	0,87	45,22	1,85	49,77	0,04
30 мин	4,72	33,82	0,99	41,55	0,17
60 мин	9,92	21,02	0,43	44,55	0,29

эластичности λ , впервые предложенный Н.Н. Круглицким¹:

$$\lambda = \frac{E_1}{E_1 + E_2}, \quad (10)$$

характеризующий соотношение модулей упругости E_1 и E_2 , соответствующих проявлению деформаций на различных стадиях вязкопластического течения дисперсной системы. Расчет их величин произведен согласно соотношениям:

$$E_1 = \frac{K_f(I) \cdot h_0}{\varepsilon_0}; \quad (11)$$

$$E_2 = \frac{K_f(II) \cdot h_0}{\varepsilon_2}, \quad (12)$$

где h_0 – толщина деформируемого слоя, соответствующая начальной высоте образца; ε_0 – быстрая эластическая деформация в первой точке перегиба кривой $F^* = f(h_i/R)$; ε_2 – медленная пластическая деформация при достижении второй точки перегиба кривой $F^* = f(h_i/R)$.

Установлено, что при снижении величины $\lambda < 0,5$ система теряет устойчивость, практически сразу после приложения нагрузки начинается ее течение (рис. 3, табл. 2), что полностью соответствует данным Н.Н. Круглицкого, согласно которым устойчивому состоянию дисперсных систем соответствует значение эластичности не менее $\lambda = 0,5-0,6$.

Таким образом, поведение дисперсных систем и их устойчивость в условиях действия сжимающих напряжений в процессе экструзии определяются такими структурно-механическими характеристиками смесей, как оценки пределов ползучести $K_f(I)$ и текучести $K_f(II)$ и критерий эластичности λ .

Потенциал сопротивления дисперсной системы деформированию и разрушению при возрастании нагрузки оценен на примере смеси с В/Ц=0,25. Анализ полученных экспериментальных кривых (рис. 4) показывает, что на кривых «перемещение Δ – время t » можно выделить следующие участки:

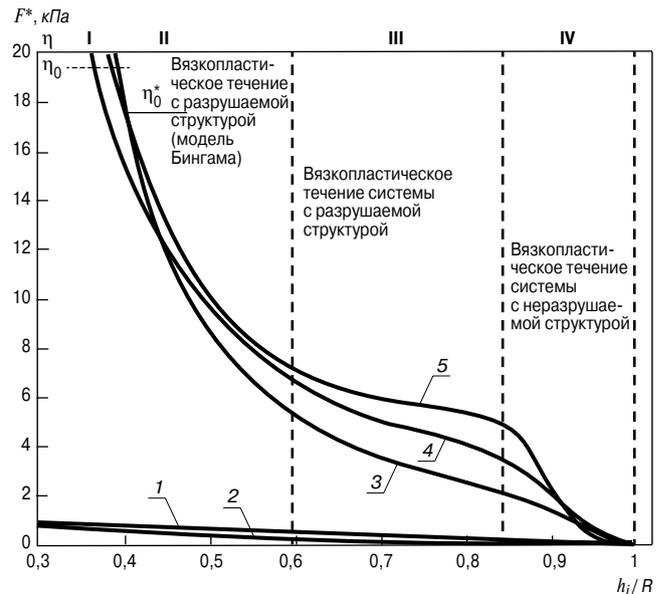


Рис. 3. Кривая зависимости приведенной сжимающей нагрузки F^* от относительного изменения высоты h_i/R образцов цементного теста при испытаниях на сдвигание с постоянной скоростью деформирования: 1 – В/Ц=0,28; 2 – В/Ц=0,27; 3 – В/Ц=0,26; 4 – В/Ц=0,25; 5 – В/Ц=0,24

– отсутствия деформаций или устойчивости, способность же системы сопротивляться деформированию можно соотносить с величиной структурной прочности σ_0 в момент начала деформирования;

– пластического деформирования, а способность системы пластически деформироваться без разрушения можно соотносить с величиной пластической прочности $\sigma_{пл}$ в момент начала трещинообразования и величиной деформаций на данном участке $\Delta_{пл}$;

– трещинообразования и разрушения, способность системы сопротивляться разрушению можно соотносить с критической величиной прочности $\sigma_{кр}$ в момент разрушения и величиной деформаций на данном участке $\Delta_{кр}$.

¹ Круглицкий Н.Н. Очерки по физико-химической механике. Киев: Наукова думка, 1988. С. 25.

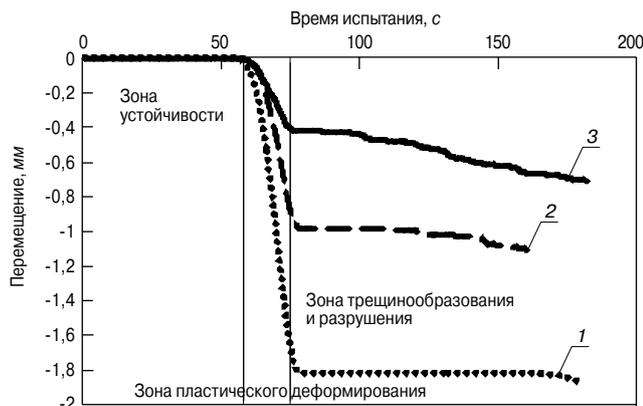


Рис. 4. Кривые деформирования образцов цементного теста в процессе испытаний на сдвливание с постоянной скоростью нагружения: 1 – свежееотформованный образец; 2 – после 30 мин выдержки; 3 – после 60 мин выдержки

Момент начала трещинообразования четко фиксируется на кривых «нагрузка P – перемещение Δ » при появлении пика резкого падения нагрузки (рис. 5). Характер деформирования и разрушения смеси закономерно изменяется в процессе ее схватывания и твердения. Система, структурированная преимущественно коагуляционными контактами между частями дисперсной фазы непосредственно после ее формирования, закономерно проявляет наименьшее значение структурной прочности и наибольшие пластические деформации (табл. 3). При этом полное разрушение системы наступает практически сразу после появления первых трещин (рис. 5).

По мере формирования коагуляционно-кристаллизационных фазовых контактов в структуре в процессе схватывания возрастает величина структурной прочности σ_0 . Одновременно резко снижается способность системы пластически деформироваться без разрушения (ее пластическая прочность $\sigma_{пл}$) и возрастает величина деформаций в период трещинообразования и разрушения. Изменяется характер разрушения: после начала трещинообразования для образцов, твердевших 30 и особенно 60 мин, характерно появление множественных пиков колебаний нагрузки на кривых « P – Δ » (рис. 5).

По мнению авторов, среди всех найденных характеристик прочности и деформативности в качестве главных количественных критериев формоустойчивости смесей для 3D-печати можно выделить величины структурной σ_0 и пластической $\sigma_{пл}$ прочности, пластических деформаций $\Delta_{пл}$. При этом для управления процессом печати слоев необходимы эффективные средства регулирования данных характеристик во времени.

Заключение

С позиций классической реологии дисперсных систем эффективное управление свойствами смесей в процессе 3D-печати должно соотноситься с регулированием таких характеристик смесей и композитов, как пределы ползучести и текучести, статическая, пластическая и динамическая вязкость, пластическая прочность смесей; показатели сопротивления разрушению композитов в заданные сроки твердения. При этом экструзируемость и формоустойчивость как критериальные параметры процесса 3D-печати главным образом зависят от предела ползучести, пластической вязкости и пластической прочности смесей.

Эффективным способом оценки реологического поведения вязкопластичных систем является метод реометрии при сдвливании, позволяющий установить количественные значения критериальных для экструзируемости и формоустойчивости параметров в условиях, адаптированных к действию сжимающих напряжений в процессе 3D-печати. В результате исследований уста-

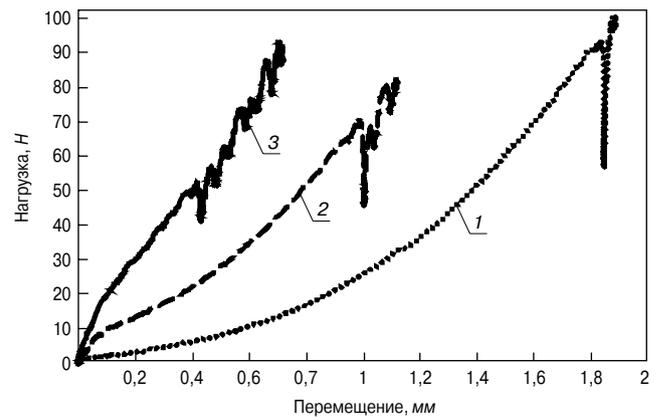


Рис. 5. Кривые моменты начала трещинообразования для образцов цементного теста в процессе испытаний на сдвливание с постоянной скоростью нагружения: 1 – свежееотформованный образец; 2 – после 30 мин выдержки; 3 – после 60 мин выдержки

новлено, что экструзируемость определяется структурно-механическими характеристиками смесей, которые могут быть установлены через оценки пределов ползучести $K_f(I)$, текучести $K_f(II)$, критерий эластичности λ , определяемые при сдвливании с постоянной скоростью деформирования. Величины структурной σ_0 и пластической $\sigma_{пл}$ прочности, пластических деформаций $\Delta_{пл}$, определяемые при сдвливании с постоянной скоростью нагружения, можно использовать в качестве количественных критериев формоустойчивости смесей.

Развитие теоретических и экспериментальных исследований связано с обоснованием и выявлением рецептурно-технологических факторов управления данными параметрами, установлением их значений, критериальных для эффективного регулирования всех стадий процесса 3D-печати.

Список литературы / References

1. Roussel N. Steady and transient flow behaviour of fresh cement pastes. *Cement and Concrete Research*. 2005. Vol. 35. Iss. 9, pp. 1656–1664.
2. Ovarlez G., Roussel N. A physical model for the prediction of lateral stress exerted by self-compacting concrete on formwork. *Materials and Structures*. 2006. No Vol. 39. Iss. 286, pp. 269–279. <https://doi.org/10.1617/s11527-005-9052-1>
3. Roussel N. A thixotropy model for fresh fluid concretes: Theory, validation and applications. *Cement and Concrete Research*. 2006. Vol. 36. Iss. 10, pp. 1797–1806.
4. Mahaut F., Mokéddem S., Chateau X., Roussel N., Ovarlez G. Effect of coarse particle volume fraction on the yield stress and thixotropy of cementitious materials. *Cement and Concrete Research*. 2008. Vol. 38. Iss. 11, pp. 1276–1285.
5. Lootens D., Jousset P., Martinie L., Roussel N., Flatt R.J. Yield stress during setting of cement pastes from penetration tests. *Cement and Concrete Research*. 2009. Vol. 39. Iss. 5, pp. 401–408.
6. Le T.T., Austin S.A., Lim S., Buswell R.A., Gibb A.G.F., Thorpe T. Mix design and fresh properties for high-performance printing concrete. *Materials and Structures*. 2012. Vol. 45. Iss. 8, pp. 1221–1232.
7. Roussel N. Simulation of fresh concrete flow. Springer: State-of-the-Art Report of the RILEM Technical Committee 222-SCF. 2014. Vol. 15. 147 p.
8. Qian Y., Kawashima S. Distinguishing dynamic and static yield stress of fresh cement mortars through thixotropy. *Cement and Concrete Composites*. 2018. No. 86, pp. 288–296.
9. 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.
10. Lecompte T., Perrot A. Non-linear modeling of yield stress increase due to SCC structural build-up at rest. *Cement and Concrete Research*. 2017. No. 92, pp. 92–97.
 11. Ma S., Qian Y., Kawashima S. Experimental and modeling study on the non-linear structural build-up of fresh cement pastes incorporating viscosity modifying admixtures. *Cement and Concrete Research*. 2018. No. 108, pp. 1–9.
 12. Maa 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.
 13. Wolfs R., Bos F., Salet T. Early age mechanical behaviour of 3D printed concrete: Numerical modelling and experimental testing. *Cement and Concrete Research*. 2018. No. 106, pp. 103–116.
 14. Panda B., Paul S.C., Mohamed N.A.N., Tay Y.W.D., Tan M.J. Measurement of tensile bond strength of 3D printed geopolymer mortar. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*. 2018. No. 113, pp. 108–116.
 15. Panda B., Tan M.J. Experimental study on mix proportion and fresh properties of fly ash based geopolymer for 3D concrete printing. *Ceramics International*. 2018. Vol. 44. Iss. 9, pp. 56–65.
 16. Paul S.C., Tay Y.W.D., Panda B., Tan M.J. Fresh and hardened properties of 3D printable cementitious materials for building and construction. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*. 2018. Vol. 18. Iss. 1, pp. 311–319.
 17. Engmann J., Servais C., Burbidge A.S. Squeeze flow theory and applications to rheometry: A review. *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*. 2005. Vol. 132. Iss. 1–3, pp. 1–27.
 18. Russel N., Lanos C. Plastic fluid flow parameters identification using a simple squeezing test. *Applied Rheology*. 2003. Vol. 13. Iss. 3, pp. 3–5.
 19. Toutou Z., Roussel N., Lanos C. The squeezing test: A tool to identify firm cement-based material's rheological behaviour and evaluate their extrusion ability. *Cement and Concrete Research*. 2005. Vol. 35. Iss. 10, pp. 1891–1899.
 20. Perrot A., Rangeard 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.
 21. Perrot A., Mélinge Y., Estellé P., Lanos C. Vibro-extrusion: a new forming process for cement-based materials. *Advances in Cement Research*. 2009. Vol. 21. Iss. 3, pp. 125–133.
 22. Perrot A., Rangeard D., Mélinge Y., Estellé P., Lanos C. Extrusion criterion for firm cement – based materials. *Applied Rheology*. 2009. No. 19, pp. 111–127.
 23. Perrot A., Mélinge Y., Rangeard D., Micaelli F., Estellé P., Lanos C. Use of ram extruder as a combined rheo-tribometer to study the behaviour of high yield stress fluids at low strain rate. *Rheologica Acta*. 2012. Vol. 51. Iss. 8, pp. 743–754.
 24. Урьев Н.Б. Физико-химическая динамика структурированных нанодисперсных систем и нанодисперсных композиционных материалов. Часть 1 // *Физикохимия поверхности и защита материалов*. 2010. Т. 46. № 1. С. 3–23.
 24. Uriev N.B. Physicochemical dynamics of structured nanodisperse systems and nanodisperses composite materials: Part I. *Fizikohimiya poverhnosti i zashchita materialov*. 2010. Vol. 46. No. 1, pp. 3–23. (In Russian).



СТРОИТЕЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ КТБ ЖБ

Более 600.000 м² объектов вводится в эксплуатацию с нашим техническим сопровождением

150 человек квалифицированного персонала

Более 2.000.000 м³ бетона проверяется ежегодно нашей лабораторией

Цена сопровождения от 40₽/1 м³ бетона и 500₽/1 ТОННУ металлоконструкций

Цена обследования зданий от 50₽/1 м²

ТЕСНОЕ НАУЧНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО С ВЕДУЩИМИ НИИ И КБ СТРАНЫ

ПРЯМАЯ СВЯЗЬ С ГЕНЕРАЛЬНЫМ ДИРЕКТОРОМ +7 (916) 770-70-61, +7 (495) 286-70-01; WWW.KTBVETON.COM; E-MAIL: KTB@KTBVETON.COM

А.А. ДАВИДЮК^{1,2}, канд. техн. наук, генеральный директор (artemd@ktbbeton.com),
Е.С. ФИСКИНД¹, гл. инженер, заслуженный строитель РФ; О.А. ГУСАРЬ², бакалавр,
В.В. БАЛАКИРЕВА², бакалавр

¹ АО «КТБ ЖБ» (109428, г. Москва, ул. 2-я Институтская, 6, стр. 15 А)

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

Преимущества в производстве и применении блоков из ячеистого бетона

Рост цен на энергоносители влечет за собой рост стоимости цемента, что приводит к повышению себестоимости строительства. В связи с этим инвесторы-застройщики и проектировщики стали чаще применять в строительстве ячеистый бетон. Данный вид бетона заслуживает широкого применения в строительстве зданий любого назначения благодаря его отличным теплотехническим качествам, эксплуатационным достоинствам, долговечности и достаточной прочности. Применение зол и шлаков в производстве ячеистых бетонов позволяет уменьшить расход дорогостоящего цемента, что в свою очередь сокращает стоимость зданий и сооружений без ухудшения качества. Исследования и промышленные внедрения технологии производства ячеистых бетонов на основе зол ТЭС позволяют дать обоснованные рекомендации по ее широкому внедрению. Использование отходов производств предоставляет возможность очистки значительных земельных площадей и препятствует дальнейшему загрязнению воздушных и водных бассейнов, улучшает экологическую обстановку в районах промышленных зон. Современное строительство, преимущественно в условиях мегаполиса, знаменуется новым направлением для России – возведением зданий повышенной этажности. В связи с этим представляется рациональным в проектах высотных зданий предусмотреть всемерное использование конструкций из ячеистых бетонов. Среди таких конструкций следует выделить широкое применение мелких блоков, пригодных для ограждения зданий любой этажности.

Ключевые слова: ячеистый бетон, золы, шлаки, вяжущее, ограждающая конструкция, экологичность, утилизация.

Для цитирования: Давидюк А.А., Фискинд Е.С., Гусарь О.А., Балакирева В.В. Преимущества в производстве и применении блоков из ячеистого бетона // *Строительные материалы*. 2018. № 12. С. 41–43. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-766-12-41-43>

A.A. DAVIDYUK^{1,2}, Candidate of Sciences (Engineering), General Manager; E.S. FISKIND¹, Chief Engineer, Honored Builder of the Russian Federation; O.A. GUSAR², Bachelor, V.V. BALAKIREVA², Bachelor

¹ JSC "Design-Technological Bureau of Concrete and Reinforced Concrete" (JSC "КТБ ЖБ") (Bldg. 15A, 6, 2-nd Institut'skaya Street, Moscow, 109428, Russian Federation)

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

Advantages in Production and Application of Cellular Concrete Blocks

The increase in prices of energy carriers leads to an increase in the cost of cement, which also leads to an increase in the cost of construction. In this regard, investor-developers and designers have become more often used cellular concrete in the construction. This type of concrete deserves wide application in the construction of buildings of any purpose due to its excellent thermal qualities, operational advantages, durability and sufficient strength. The use of ashes and slag in the production of cellular concretes makes it possible to reduce the consumption of expensive cement, which in turn reduces the cost of buildings and structures without quality deterioration. Research and industrial introductions of the technology of production of cellular concrete on the basis of TPP ashes make it possible to give reasonable recommendations for its wide implementation. The use of production wastes provides an opportunity to clean up large areas of land and prevents further pollution of air and water basins, improves the environmental situation in the areas of industrial zones. Modern construction, mainly in a metropolis, is marked by a new direction for Russia – the construction of high-rise buildings. In this regard, it seems rational to provide for the full use of structures made of cellular concrete in the projects of high-rise buildings. Among these structures it is necessary to highlight the widespread use of small blocks suitable for enclosing buildings with any number of storeys.

Keywords: cellular concrete, ashes, slag, binder, enclosing structures, ecological compatibility, utilization.

For citation: Davidyuk A.A., Fiskind E.S., Gusar O.A., Balakireva V.V. Advantages in production and application of cellular concrete blocks. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 12, pp. 41–43. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-766-12-41-43> (In Russian).

В связи с неуклонным ростом цен на энергоносители растет стоимость цемента на рынке строительных материалов, что приводит к повышению себестоимости строительства [1]. Отрадно, что в последнее время инвесторы-застройщики и проектировщики стали чаще применять в строительстве ячеистый бетон. Действительно, преимущественно для ограждающих конструкций этот материал, обладая отличными теплотехническими качествами, эксплуатационными достоинствами, долговечностью и достаточной прочностью, заслуживает более широкого применения в строительстве зданий любого назначения [2, 3].

Применение зол в производстве ячеистых бетонов, позволяющее сократить расход дорогостоящего цемента, позволит даже в условиях рыночной экономики и гонки за сверхприбылями сократить стоимость зданий и сооружений без ухудшения качества строительства [4, 5].

Исследование и промышленное внедрение технологии производства ячеистых бетонов на основе зол ТЭС, осуществленное рядом исследовательских организаций, в том числе АО «КТБ ЖБ», позволяют дать обоснованные рекомендации по ее широкому внедрению. Завод по производству изделий несет затраты только на транспортировку золы и заботится о ее сухом отборе из электрофильтров и мультициклонов. Если наладить систему использования отвальных зол, то это практически неисчерпаемый запас бесплатного сырья. Более того, использование отвальных зол позволит очистить значительные земельные площади и воспрепятствует дальнейшему загрязнению воздушных и водных бассейнов, улучшит экологическую обстановку в районах промышленных зон.

Обратимся к параметрам композиционного материала – ячеистого золобетона. При изготовлении мелких стено-

вых блоков из ячеистых бетонов на цементном вяжущем по ГОСТ 21520–89 расход цемента при плотности материала изделий D500, D600 составляет соответственно не менее 200–250 кг на 1 м³ бетона [6]. С применением золы-уноса расход цемента может быть сокращен в два раза. При этом прочность при сжатии такого материала может быть в пределах В1,5–В2,5, что вполне достаточно для кладки ненесущих стен при любом, даже высотном строительстве и для самонесущих и несущих стен при возведении малоэтажных построек [7].

Следует учесть, что при решении вопроса использования золы в каждом отдельном случае следует провести исследование этого сырья, свойства которого зависят от степени непостоянства минералогического состава угля, нестабильности режимов работы котлов, неравномерности температурного поля в топках.

Исследования показали, что активными составляющими золы, способствующими повышению прочности бетона, являются кварц, алюмокремнеземистое стекло. Инертные компоненты – муллит и корунд отрицательно влияют на свойства золобетона, также как частицы несгоревшего угля, количество которых не должно превышать 2% (ГОСТ 25818–2017) [6].

Отдельно следует упомянуть о бесцементных вяжущих на основе топливных зол. Это золощелочные и известково-золевые композиции. Золощелочные вяжущие на основе золы-уноса и золы гидроудаления получают путем затворения золы каустицированными составами (содовым плавом либо содосульфатной смесью).

Известково-золевые вяжущие можно приготовить путем затворения золы известковым молоком, которое получают добавлением в известковое тесто суперпластификатора (С-3, С-4). Такое вяжущее может быть применено в чистом виде. Однако для повышения интенсивности твердения рекомендуется введение добавки в виде цемента либо молотого доменного шлака в количестве 8–12% от массы золы [6, 8].

Перечисленные бесцементные составы вполне пригодны для приготовления ячеисто-бетонных смесей с последующим естественным твердением отформованных изделий, их пропариванием либо автоклавной обработкой [9].

Основными характеристиками бетона являются его прочность и плотность. Теплоизоляционные свойства материала прежде всего зависят от средней плотности. Некоторое влияние на теплопроводность оказывают также структура бетона и минералогический состав бетона (ГОСТ 5742–76). Прочность бетона является необходимым условием при выборе вида ограждающих конструкций здания (несущие, самонесущие, ненесущие). При больших нагрузках для обеспечения необходимой несущей способности требуется большая прочность, и наоборот, меньшая прочность достаточна для ненесущих ограждающих конструкций здания [10].

Затрагивая вопрос применения бесцементного вяжущего, уместно упомянуть шлаковые композиции. Так, в АО «КТБ ЖБ» были проведены работы по подбору составов ячеистых бетонов с использованием титанистых шлаков.

Такой газошлакобетон по своим прочностным свойствам соответствует нормативам. Экспериментальные подборы составов проводились на чувовском шлаке с получением бетона автоклавного твердения. Для активации титанистого шлака в состав вводились щелочные или сульфатные активаторы, в частности двухводный гипс в количестве 2–3% от веса шлака. Разработанный состав шлакогазобетона плотностью 600 кг/м³ имеет соотношение шлакового вяжущего и песка 1:1. При указанной плотности был получен бетон с классом по прочности при сжатии В3–3,5 морозостойкостью составила 50 циклов без потери прочности [6].

Таким образом, можно сделать вывод, что ячеистый бетон не только долговечен и прочен, но и с точки зрения использования экологичен и очень экономичен, что является одним из важнейших показателей при выборе материала для строительства [11].

Сравнительно современный этап строительства, преимущественно в условиях мегаполиса, знаменуется новым направлением для нашей страны – возведением зданий повышенной этажности. В этой связи вопросы применения эффективных материалов ограждающих конструкций приобретают первостепенное значение. Многослойность наружных стен с применением эффективной теплоизоляции приводит к большой трудоемкости их исполнения [7]. Эксплуатационные условия работы наружных стен высотных зданий обладают объективной спецификой. К особенностям такого рода следует отнести повышенную инсоляцию, знакопеременное интенсивное воздействие ветровых потоков, что создает возможность деструктивных процессов в теплоизоляционных слоях, особенно выполненных из материалов на органической основе. К этой проблеме непосредственно относятся вопросы долговечности и эксплуатационной надежности ограждений высотных зданий (ГОСТ 31359–2007). Не менее важными факторами являются вопросы энергосбережения при эксплуатации таких зданий, решение которых создает дополнительные трудности. В таких условиях облегчение ограждающих конструкций с соблюдением теплотехнических качеств является важной задачей [10]. Таким образом, представляется весьма рациональным в проектах высотных зданий предусмотреть всемерное использование конструкций из ячеистых бетонов.

С применением несущих каркасов из высокопрочных материалов ограждение наружных стен с успехом может быть выполнено из мелких стеновых ячеисто-бетонных блоков по ГОСТ 21520–89. При наличии современных технологических возможностей марка бетона таких изделий по средней плотности составляет от D 500, что позволяет даже при номенклатуре стандартных блоков соблюсти требования СНиП II-3–79 «Строительная теплотехника», включая изменения № 3 по постановлению Минстроя РФ № 18–81 от 11.08.95 и директивы постановления Госстроя России № 18–90 от 25.03.94 [12].

Следует напомнить, что в соответствии с СП 15.13330.2012 (СНиП II-22–81 «Каменные и армокаменные конструкции» (включая изменения БСТ 12–85), мелкие блоки из ячеистого бетона по предельным состояниям первой и второй групп допустимо применять для заполнения каркасов или несущих стен при любой этажности зданий.

В настоящее время при условии достаточной точности геометрических размеров блоков с отклонениями по высоте ± 1 мм; по длине и толщине ± 2 мм возможна кладка 1-й категории на клей, что предпочтительнее. В случае поставки блоков 2-й и 3-й категорий точности (отклонение по высоте ± 3 и ± 5 мм, по длине и толщине ± 5 и ± 6 мм соответственно) допустима кладка на кладочном растворе с применением нормативного легкого песка, который следует применить для исключения мостиков холода [9].

В настоящее время на высотных зданиях применяют различные системы защитно-отделочных покрытий на отnose (навесные вентилируемые фасады). Эти системы очень эффективны в сочетании с конструктивным исполнением наружных стен из ячеистого бетона. Действительно, такие системы с вентилируемым продухом способствуют интенсивному удалению излишней производственной влаги из конструкций [13]. В таком исполнении не имеет существенного значения отпуская влажность материала стен, регламентируемая в обычных конструкциях и учитываемая в теплотехнических расчетах. Кроме того, в этих условиях обеспечена

равновесная усредненная влажность материала по всей толщине конструкции. При расчете стен влажность (по массе) с некоторым запасом следует принимать равной 10% вне зависимости от параметров исходных материалов ячеисто-бетонных конструкций (ГОСТ 5742–76).

В таких условиях сопротивление теплопередаче R_0 может быть менее требуемого сопротивления теплопередаче $R_{0тp}$ в пределах 5%.

Список литературы

1. Чикатуева Л.А. Динамика развития рынка цемента России: региональные детерминанты и ценовая составляющая // *Строительные материалы*. 2005. № 8 / Бизнес. № 5. С. 4–6.
2. Ухова Т.А., Торогова П.А. Ячеистый бетон – эффективный материал для однослойных ограждающих конструкций жилых зданий // *Строительные материалы*. 2003. № 11 / Technology № 2. С. 19–20.
3. Фискинд Е.С., Ухова Т.А. Автоклавный ячеистый бетон – экономический и эффективный материал для строительства любой этажности // *Строительные материалы*. 2007. № 7. С. 8–11.
4. Вылегжанин В.П., Пинскер В.А. Газобетон в жилищном строительстве и перспективы его производства и применения в Российской Федерации // *Строительные материалы*. 2009. № 1. С. 6–8.
5. Якимечко Я.Б. Неавтоклавные газобетоны с полидисперсными наполнителями на основе отходов промышленности // *Строительные материалы*. 2009. № 1. С. 24–25.
6. Мироненко А.В., Дворкин Л.И. Бесцементные вяжущие и бетоны на основе топливных зол. М.: Стройиздат, 1991. 72 с.
7. Федин А.А. Научно-технические основы производства и применения силикатного ячеистого бетона. М.: Издательство ГАСИС, 2002. 266 с.
8. Павловский А.Д., Фискинд Е.С. Повышенная устойчивость ячеисто-бетонной смеси // *Сб. ВНИИЭСМ*. 1983. Серия 8. № 7. С. 31–32.
9. Вопросы технологии ячеистых бетонов и конструкций из них / Под ред. А.Т. Баранова, В.В. Макаревича. М.: Стройиздат, 1972. 16 с.
10. Ячеистые бетоны с пониженной объемной массой / Баранов А.Т., Макаричев В.В. (ред.). М.: Стройиздат. 1974. 118 с.
11. Лаповская С.Д., Волошина Т.Н., Гаврилюк В.П. Ячеистый бетон автоклавного твердения с улучшенными физико-техническими характеристиками // *Бетон и железобетон*. 2012. № 2. С. 7–9.
12. Рекомендации по применению стеновых мелких блоков из ячеистых бетонов. М.: ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, 1992. 127 с.
13. Грановский А.В., Джамуев Б.К., Вишневецкий А.А., Гринфельд Г.И. Экспериментальное определение нормального и касательного сцепления кладки из ячеисто-бетонных блоков автоклавного твердения на различных клеевых составах // *Строительные материалы*. 2015. № 8. С. 22–25.
14. Чернышов Е.М., Дьяченко Е.И., Акулова Н.Н., Кухтин Ю.А. Критериальная оценка и эффективные варианты стен с повышенным термическим сопротивлением. Ростов н/Д: ЮРО РААСН, 1998. 28 с.
15. Боутина Е.В., Власов В.В., Чернышов Е.М. Анализ состояния газосиликатных ограждающих конструкций. *Вестник РААСН*. Воронеж–Тверь. 2007. № 6. С. 12–14.

Убедительным примером успешного и эффективного применения ячеисто-бетонных блоков для устройства наружных стен является комплекс высотных общественных зданий на улице Новый Арбат в г. Москве [2, 3, 14, 15].

На современном этапе высотного строительства применение ячеистых бетонов экономически обосновано и не имеет сопоставимой альтернативы при сравнении с другими вариантами ограждения.

References

1. Chikatueva L.A. Dynamics of the Russian cement market development: regional determinants and price component. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2005. No. 8 / Business. No. 5, pp. 4–6. (In Russian).
2. Ukhova T.A., Torogova P.A. Cellular concrete is an effective material for single-layer walling of residential buildings. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2005. No. 8 / Technology. No. 2, pp. 19–20. (In Russian).
3. Fiskind E.S., Ukhova T.A. Autoclaved cellular concrete is an economical and effective material for the construction of any number of floors. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2007. No. 7, pp. 8–11. (In Russian).
4. Vylegzhanin V.P., Pinsker V.A. Gas concrete in housing construction and perspectives of its production and use in the Russian Federation. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2009. No. 1, pp. 6–8. (In Russian).
5. Yakimchenko Ya.B. Non-autoclave gas concrete with polydisperse fillers on the basis of industrial waste. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2009. No. 1, pp. 24–25. (In Russian).
6. Mironenko A.V., Dvorkin L.I. Bestsementnye vyazhushchie i betony na osnove toplivnykh zol [Cement-free binders and concrete on the basis of fuel ash]. Moscow: Stroyizdat. 1991. 72 p.
7. Fedin A.A. Nauchno-tekhnicheskie osnovy proizvodstva i primeneniya silikatnogo yacheistogo betona [Scientific and technical basis for the production and use of silicate cellular concrete]. Moscow: GASIS Publishing House. 2002. 266 p.
8. Pavlovskii A.D., Fiskind E.S. Increased stability of cellular concrete mixture. *Sbornik VNIIESM*. 1983. Series 8. No. 7, pp. 31–32.
9. Voprosy tekhnologii yacheistykh betonov i konstruktsii iz nikh / Pod red. A.T. Baranova, V.V. Makarevicha [Technology issues of cellular concrete and structures of them / Ed. by A.T. Baranov, V.V. Makarevich]. Moscow: Stroyizdat. 1972. 16 p.
10. Yacheistyye betony s ponizhennoi ob'emnoi massoi. Baranov A.T., Makarichev V.V. (red.) [Cellular concretes with reduced bulk weight. Baranov A.T., Makarichev V.V. (Ed.)]. Moscow: Stroyizdat. 1974. 118 p.
11. Lapovskaya S.D., Voloshina T.N., Gavrilyuk V.P. Autoclaved aerated concrete with improved physical and technical characteristics. *Beton i Zhelezobeton*. 2012. No. 2, pp. 7–9. (In Russian).
12. Rekomendatsii po primeneniyu stenovykh melkikh blokov iz yacheistykh betonov [Recommendations for the use of small wall blocks of cellular concrete]. Moscow: Central Research Institute of Building Constructions named after V.A. Kucherenko. 1992. 127 p.
13. Granovskiy A.V., Dzhamuev B.K., Vishnevskiy A.A., Grinfeld G.I. Experimental determination of normal and shear adhesion in the AAC-blocks masonry at various TLM adhesive compositions. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2015. No. 8, pp. 22–25. (In Russian).
14. Chernyshov E.M., D'yachenko E.I., Akulova N.N., Kukhtin Yu.A. Kriterial'naya otsenka i effektivnye varianty sten s povyshennym termicheskim soprotivleniem [Criterion assessment and effective wall options with high thermal resistance]. *Rostov on Don: YuRO RAASN*, 1998. 28 p.
15. Boutina E.V., Vlasov V.V., Chernyshov E.M. Analysis of the state of gas silicate enclosing structures. *Vestnik RAASN*. Voronezh-Tver. 2007. No. 6, pp. 12–14. (In Russian).

О.М. СМЕРНОВА¹, канд. техн. наук (smirnovaolgam@rambler.ru);А.М. ХАРИТОНОВ², д-р техн. наук (peepdv@mail.ru)¹ Санкт-Петербургский горный университет (199106, г. Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21-я линия, 2)² Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет (190005, г. Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, 4)

Прочностные и деформативные свойства фибробетона с макрофиброй на основе полиолефинов

Дисперсное армирование бетонов является эффективным методом повышения его предела прочности при растяжении. С этой целью можно использовать фибру на стальной, полимерной или минеральной основе. Актуален вопрос применения в составах цементных тяжелых бетонов макрофибры на полимерной основе, преимуществом которой является хорошая коррозионная стойкость по сравнению со стальной фиброй. В работе исследовано влияние макрофибры на основе полиолефинов на механические свойства тяжелого бетона классов прочности В25–В50. Установлены корреляционные зависимости прочностных свойств бетона (предел прочности при сжатии, растяжение при изгибе, прочность при одноосном растяжении) и деформативных свойств (модуль упругости, коэффициент Пуассона) от водоцементного отношения и продолжительности твердения. Повышение прочности на растяжение при изгибе у образцов с фиброй наблюдалось на всем исследованном диапазоне водоцементных отношений от 0,5 до 0,31 по сравнению с контрольным составом. При этом более интенсивный прирост повышения прочности на растяжение при изгибе происходил при снижении водоцементного отношения. Это можно объяснить тем, что плотность цементного камня повышалась с уменьшением водоцементного отношения, и это приводило к повышению сил трения между цементным камнем и фиброй. Анализ характера разрушений образцов с фиброй при разном водоцементном отношении показал, что разорванная фибра отсутствует, наблюдается выдергивание макрофибры из бетона при его разрушении. Можно предположить, что сопротивление силам трения между фиброй и цементным камнем меньше сопротивления материала фибры растяжению. Следовательно, для повышения эффективности полиолефиновой макрофибры в тяжелом бетоне необходимо совершенствовать структуру цементного камня и бетона с целью повышения его плотности.

Ключевые слова: полиолефины, макрофибра, дисперсно-армированный бетон, прочность на растяжение при изгибе, прочность при одноосном растяжении, модуль упругости, коэффициент Пуассона, водоцементное отношение, деформативные свойства.

Для цитирования: Смирнова О.М., Харитонов А.М. Прочностные и деформативные свойства фибробетона с макрофиброй на основе полиолефинов // *Строительные материалы*. 2018. № 12. С. 44–48. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-766-12-44-48>

О.М. SMIRNOVA¹, Candidate of Sciences (Engineering) (smirnovaolgam@rambler.ru);А.М. KHARITONOV², Doctor of Sciences (Engineering) (peepdv@mail.ru)¹ Saint Petersburg Mining University (2, 21-st Line, Vasilyevsky Island, Saint Petersburg, 199106, Russian Federation)² Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (4, 2-nd Красноармейская Street, Saint Petersburg 190005, Russian Federation)

Strength and Strain-Stress Properties of Fiber Concrete with Macro-fiber on the Basis of Polyolefins

Dispersed reinforcement of concrete is an effective method for increasing its tensile strength. For this purpose it is possible to use fiber on a steel, polymeric or mineral basis. The problem of application of polymer-based macro-fiber in cement heavy concrete compositions, the advantage of which is a good corrosion resistance compared to steel fiber, is relevant. The paper studies the effect of polyolefin-based macro-fiber on the mechanical properties of heavy concrete of B25–B50 strength classes. Correlation dependences of concrete strength properties (compression strength, bending tensile strength, uniaxial tensile strength) and deformation properties (modulus of elasticity, Poisson's ratio) on the water-cement ratio and the duration of hardening are established. An increase in tensile strength when bending samples containing fiber was observed in the entire studied range of water-cement ratios from 0.5 to 0.31 compared to the control composition. At the same time, a more intensive increase in tensile strength during the bending occurred with a decrease in the water-cement ratio. This can be explained by the fact that the density of cement stone increased with a decrease in the water-cement ratio, which led to an increase in friction forces between the cement stone and fiber. The analysis of the nature of the destruction of samples with fiber at different water-cement ratio showed that the ripped fiber is absent and pulling micro-fiber from concrete is observed at its destruction. It can be assumed that the resistance to the friction forces between the fiber and cement stone is less than the resistance of the fiber material to stretching. Therefore, to increase the efficiency of polyolefin macro-fiber in heavy concrete it is necessary to improve the structure of cement stone and concrete in order to increase its density.

Keywords: polyolefins, macro-fiber, disperse reinforced concrete, bending tensile strength, uniaxial tensile strength, elasticity modulus, Poisson number, water-cement ratio, strain-stress properties.

For citation: Smirnova O.M., Kharitonov A.M. Strength and strain-stress properties of fiber concrete with macro-fiber on the basis of polyolefins. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 12, pp. 44–48. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-766-12-44-48> (In Russian).

Дисперсное армирование бетонов является эффективным методом повышения предела прочности при растяжении, ударной прочности. Для этого может применяться фибра на основе стали, органических и неорганических материалов [1–8]. В настоящее время наблюдается тенденция использования в составах цементных тяжелых бетонов синтетической макрофибры [9–11]. Такая фибра изготавливается на основе полиолефиновых композиций, которые могут быть модифицированы наполнителями [12].

Современные процессы коэкструзии позволяют производить макрофибру, имеющую сердцевину, покрытую оболочкой заданной толщины. Сердцевина и оболочка состоят из двух различных полиолефиновых композиций, что позволяет более дорогие полиолефиновые композиции использовать в меньшем количестве, например в оболочке или в сердцевине [13–15].

Полиолефиновая фибра является гидрофобной и имеет поверхность, которая плохо смачивается водой [16, 17]. В связи с этим прочность сцепления между

фиброй и цементным камнем, а также трение между ними являются основными источниками, мешающими проскальзыванию фибры при разрушении образца [18]. Это подтвердили и электронно-микроскопические исследования, которые показали, что связь между полиолефиновой фиброй и цементным камнем в основном механическая, так как при анализе поверхности фибры после разрушения образца на ней не выявлено продуктов гидратации цемента [9, 10]. В работе [11] электронно-микроскопические исследования поверхности фибры после разрушения образца показали частичное проникновение гидратов в микроструктуру фибры в результате экзотермической природы реакции гидратации. Это может способствовать повышению сил трения между цементным камнем и полиолефиновой фиброй.

Относительно низкая прочность, менее 1 МПа, была получена между различными полиолефиновыми фибрами и цементным камнем при выдергивании фибры в работе [19]. Было изучено шесть видов фибры на основе различных полиолефиновых композиций и их свойства. Каждый вид фибры содержал в качестве основного полимера полипропилен или полиэтилен высокой плотности. В некоторые виды фибр были введены минеральные наполнители для увеличения модуля упругости и твердости поверхности. Химической связи за счет реакции гидратации минеральных наполнителей с цементным камнем не было обнаружено, так как наполнители, как правило, были покрыты тонкой гидрофобной полимерной пленкой. Поверхности фибр были с очень гладкой поверхностью, за исключением двухкомпонентной фибры В с шероховатой поверхностью. Ядро этой фибры полностью состояло из полипропилена, оболочка – из полипропилена с микронаполнителем из стекла. Самые высокие значения по сопротивлению выдергиванию из цементного камня были получены для фибры В [19].

Это еще раз подтверждает, что связь между различной полиолефиновой фиброй и цементным камнем в основном механическая. Уплотнение твердеющего цементного камня должно способствовать увеличению механических характеристик связи фибра–цементный камень. Плотность цементного камня и соответственно трение между фиброй и бетоном могут быть повышены за счет снижения водоцементного отношения. Реакции гидратации, протекающие со временем в цементном камне, также могут способствовать этому уплотнению. В связи с этим была поставлена цель количественно оценить влияние водоцементного отношения и продолжительность твердения на механические свойства бетона классов прочности В25–В50 с дисперсным армированием полиолефиновой макрофиброй.

Материалы

В работе использована синтетическая макрофибра Concrx ES производства Brugg Contec AG на основе полиолефинов со следующими характеристиками: предел прочности при растяжении 600 МПа; модуль упругости

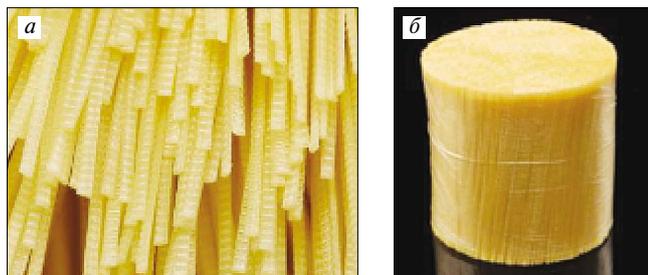


Рис. 1. Макрофибра Concrx ES (а); водорастворимая пленка-упаковка для макрофибры (б)

11000 МПа; длина волокон 50 мм; диаметр волокна 0,5 мм; отношение длины волокна к его диаметру 100; температура плавления 150°C (рис. 1) (https://www.contecfiber.com/media/datasheet_concrx_es-en.pdf).

Шероховатость поверхности макрофибры создана за счет выпуклостей, направленных поперек длины волокон, что должно способствовать повышению сил трения при проскальзывании фибры в цементном камне во время разрушения образца.

В качестве вяжущего использован портландцемент ЦЕМ I 42,5 (ЗАО «Осколцемент»), суперпластификатор на поликарбоксилатной основе Stachement 2000, щебень гранитный фракций 5–10 и 10–20, песок речной с модулем крупности 2,18.

Результаты исследования и анализ полученных данных

Прочностные свойства. Исследование влияния фибры на прочностные характеристики бетона было проведено для тяжелого бетона классов прочности В25–В50; водоцементное отношение изменялось от 0,5 до 0,31.

При испытании при сжатии отмечено, что значительного снижения предела прочности образцов с фиброй не наблюдалось, в ряде составов бетона отмечалось повышение или снижение прочности при сжатии в пределах 10% от контрольного состава без фибры, однако определенных закономерностей установлено не было.

Результаты определения предела прочности на растяжение при изгибе и на одноосное растяжение образ-

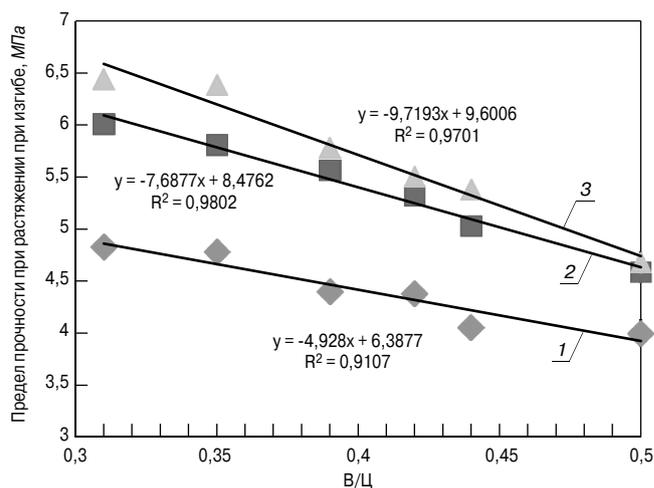


Рис. 2. Предел прочности на растяжение при изгибе: 1 – без фибры; 2 – макрофибра 3 кг/м³; 3 – макрофибра 4,5 кг/м³

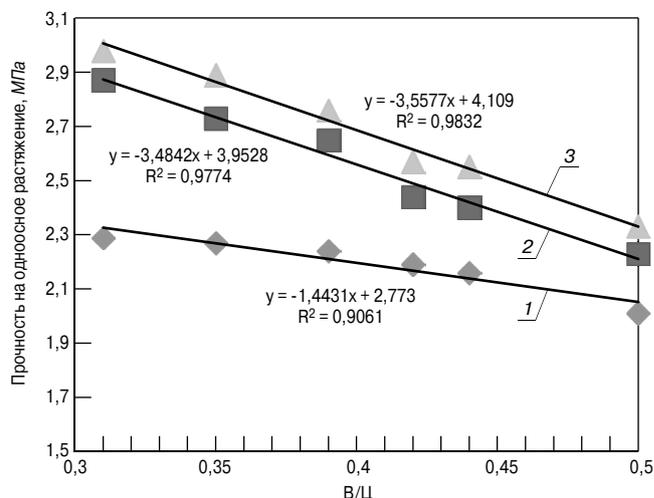


Рис. 3. Предел прочности на одноосное растяжение бетона в возрасте 28 сут: 1 – без фибры; 2 – макрофибра 3 кг/м³; 3 – макрофибра 4,5 кг/м³

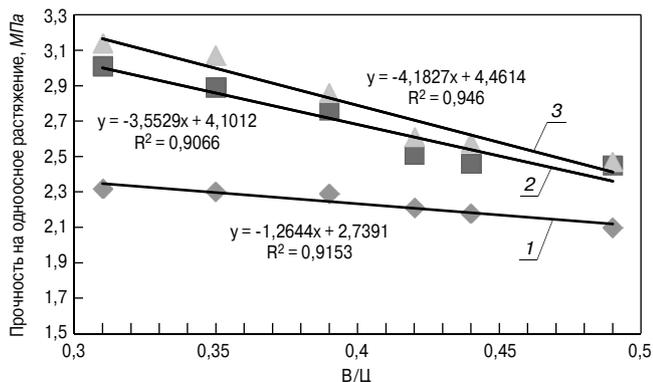


Рис. 4. Предел прочности на одноосное растяжение бетона в возрасте 90 сут: 1 – без фибры; 2 – макрофибра 3 кг/м³; 3 – макрофибра 4,5 кг/м³

цов бетона с различным содержанием фибры в возрасте 28 сут представлены на рис. 2, 3.

Повышение прочности на растяжение при изгибе образцов с фиброй по сравнению с контрольным составом наблюдалось на всем исследованном диапазоне водоцементных отношений. Следует отметить, что прирост значений был выше со снижением водоцементного отношения. Повышение предела прочности на растяжение при изгибе для образцов с макрофиброй в количестве 4,5 кг/м³ составило 17 и 33% при водоцементном отношении, равном 0,5 и 0,31 соответственно; для образцов с макрофиброй в количестве 3 кг/м³ оно составило 15 и 24% при водоцементном отношении, равном 0,5 и 0,31 соответственно в возрасте 28 сут.

Это можно объяснить тем, что плотность цементного камня повышалась с уменьшением водоцементного отношения, что приводило к повышению сил трения между цементным камнем и фиброй.

Прирост повышения прочности на одноосное растяжение бетона с фиброй по сравнению с бетоном без фибры также наблюдался со снижением водоцементного отношения. Это повышение для образцов с макрофиброй в количестве 4,5 кг/м³ составило 24 и 30% при водоцементном отношении, равном 0,5 и 0,31 соответственно; для образцов с макрофиброй в количестве 3 кг/м³ оно составило 18 и 25% при водоцементном отношении, равном 0,5 и 0,31 соответственно в возрасте 28 сут.

Как было отмечено, гидратация цементного камня со временем также способствует его уплотнению, что должно приводить к повышению сил трения между фиброй и цементным камнем. С этой целью проведены сравнительные испытания по определению предела прочности на одноосное растяжение бетона в возрасте 90 сут (рис. 4).

Повышение прочности на одноосное растяжение в возрасте 90 сут для образцов с макрофиброй в количестве 4,5 кг/м³ составило 17 и 35% при водоцементном

отношении, равном 0,5 и 0,31 соответственно; для образцов с макрофиброй в количестве 3 кг/м³ оно составило 16 и 29% при водоцементном отношении, равном 0,5 и 0,31 соответственно. При сравнении коэффициентов при неизвестной в уравнениях на диаграммах рис. 3 и 4 для образцов с макрофиброй в количестве 4,5 кг/м³ можно заключить, что прирост предела прочности на одноосное растяжение бетона в возрасте 90 сут происходит интенсивнее при снижении водоцементного отношения. Это подтверждает влияние продолжительности гидратации цементного камня на повышение его плотности, что должно приводить к повышению сил трения между фиброй и цементным камнем. Таким образом, дисперсное армирование макрофиброй с целью повышения сопротивления растягивающим напряжениям приемлемо для тяжелого бетона с достаточно низкими водоцементными отношениями.

Изломы образцов были осмотрены после испытаний на одноосное растяжение (рис. 5).

При анализе поверхности разрушений и макрофибры установлено, что разорванная фибра отсутствует, наблюдается выдергивание макрофибры из бетона при его разрушении. Можно предположить, что сопротивление силам трения между фиброй и цементным камнем меньше сопротивления материала фибры растяжению. Следовательно, для повышения эффективности полиолефиновой макрофибры в тяжелом бетоне необходимо совершенствовать структуру цементного камня и бетона с целью повышения его плотности. Повышение прочностных характеристик бетона с полиолефиновой макрофиброй предполагает обоснованный выбор состава бетона.

Деформативные свойства. Целью испытаний являлось определение призмной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона образцов бетона с добавлением фибры по методике ГОСТ 24452–80. Испытание для определения указанных показателей свойств бетона производится путем нагружения ступенями образцов-призм осевой сжимающей нагрузкой до разрушения при определении призмной прочности и до уровня 30% разрушающей нагрузки с измерением в процессе нагружения образцов их деформации для определения модуля упругости и коэффициента Пуассона.

На образце закреплялись датчики и определялся модуль упругости и коэффициент Пуассона. Точность измерения датчиков составляла 0,001 мм. База датчика при испытании для определения продольных деформаций составляла 150 мм, а при определении коэффициента Пуассона – 70 мм.

Наибольшая призмная прочность у бетона В35 составляла 45 МПа, поэтому нагружение выполнялось ступенями от 5 до 350 кН с шагом 5 кН на каждую ступень. Результаты определения модуля упругости, призмной прочности, коэффициента Пуассона показаны на рис. 6 и в таблице.



Рис. 5. Излом образца бетона после испытаний

Призмная прочность при растяжении, модуль упругости, коэффициент Пуассона при 30% от разрушающей нагрузки

Материал	Модуль упругости при 0,3 от разрушающей нагрузки, МПа	Призмная прочность при растяжении, МПа	Коэффициент Пуассона
Контрольный состав В35	27446	40,9	0,181
Бетон В35, макрофибра 3 кг/м ³	28362	43	0,102
Бетон В35, макрофибра 4,5 кг/м ³	28114	43,7	0,144
Контрольный состав В25	21988	33,6	0,219
Бетон В25, макрофибра 3 кг/м ³	22249	35,6	0,182
Бетон В25, макрофибра 4,5 кг/м ³	22448	36,4	0,152

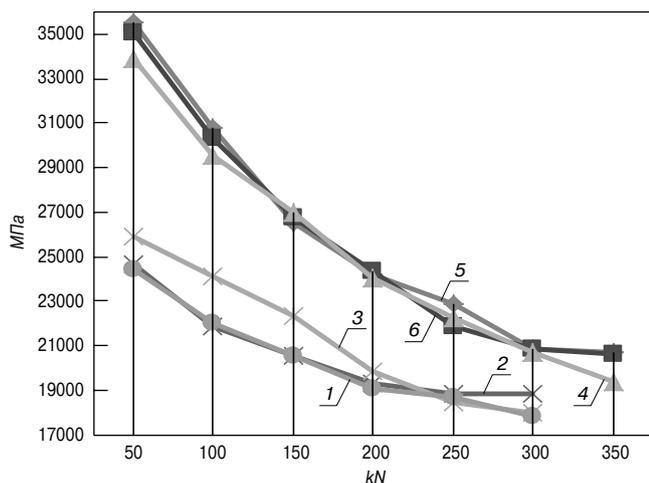


Рис. 6. Модуль упругости дисперсно-армированного бетона: 1 – бетон В25 без фибры; 2 – бетон В25, макрофибра 3 кг/м³; 3 – бетон В25, макрофибра 4,5 кг/м³; 4 – бетон В35 без фибры; 5 – бетон В35, макрофибра 3 кг/м³; 6 – бетон В35, макрофибра 4,5 кг/м³

Несмотря на то что исследуемая макрофибра относится к низко модульным разновидностям дисперсного армирования (модуль упругости $E = 0,11 \cdot 10^5$ МПа), наблюдается увеличение модуля упругости фибробетона и снижение коэффициента Пуассона. Такое влияние на свойства бетона характерно при использовании высоко модульной фибры, модуль упругости которой составляет более $0,2-0,25 \cdot 10^5$ МПа [20], например стальной ($E = 2 \cdot 10^5$ МПа) фибры. Использование полипропиленовой фибры ($E = 0,04-0,08 \cdot 10^5$ МПа) связано с уменьшением модуля упругости по мере увеличения степени армирования. Тем не менее полиолефиновая фибра за счет прочной анкеровки в цементном камне позволяет увеличить призмную прочность и жесткость бетона. Призмная прочность дисперсно-армированного бетона повысилась, что может свидетельствовать о повышении трещиностойкости бетона с фиброй.

Заключение

Получены зависимости влияния водоцементного отношения и продолжительности твердения на механические свойства бетона классов прочности В25–В50 с дисперсным армированием полиолефиновой макрофиброй. Повышение прочности на растяжение при изгибе образцов с фиброй по сравнению с контрольным составом наблюдалось на всем исследованном диапазоне водоцементных отношений от 0,5 до 0,31. При этом прирост повышения прочности на растяжение при изгибе происходил при снижении водоцементного отношения. Это можно объяснить тем, что плотность цементного камня повышалась с уменьшением водоцементного отношения, что приводило к повышению сил трения между цементным камнем и фиброй. Прирост предела прочности на одноосное растяжение бетона в возрасте 90 сут происходил интенсивнее при снижении водоцементного отношения. Это подтверждает влияние продолжительности гидратации цементного камня на повышение его плотности, что должно приводить к повышению сил трения между фиброй и цементным камнем. Для повышения эффективности полиолефиновой макрофибры в тяжелом бетоне необходимо совершенствовать структуру цементного камня и бетона с целью повышения его плотности.

Список литературы / References

- Weber Wolfgang E., Viktor Mechtcherine. Modeling the dynamic properties of fibre-reinforced concrete with different coating technologies of multifilament yarns. *Cement and Concrete Composites*. 2016. Vol. 73, pp. 257–266.

- Смирнова О.М. Влияние дисперсного армирования синтетическим макроволокном на прочность дорожного бетона // *Вестник науки и образования Северо-Запада России*. 2016. Т. 2. № 3. С. 15–19.
- Smirnova O.M. Influence of dispersed reinforcement with synthetic macrofibre on the strength of road concrete. *Vestnik nauki i obrazovaniya Severo-Zapada Rossii*. 2016. Vol. 2. No. 3, pp. 15–19. (In Russian).
- Weber W., Zastrau B.W. Analytical description of FRC subjected to transient loads. *Journal of Theoretical and Applied Mechanics*. 2013. 51 (1), pp. 183–194.
- Шангина Н.Н., Харитонов А.М. Опыт применения стеклофибробетона для реставрации декорированного подвесного потолка станции метрополитена. *Материалы семинара «Проблемы реставрации и обеспечения сохранности памятников культуры и истории»*. Санкт-Петербург. 2012. № 2011. С. 18–27.
- Shangina N.N., Kharitonov A.M. Experience of the use of glass fiber reinforced concrete for the restoration of the decorated suspended ceiling of the metro station. *Materials of the seminar «Problems of restoration and preservation of monuments of culture and history»*. Saint-Petersburg. 2012. No. 2011, pp. 18–27. (In Russian).
- Пухаренко Ю.В., Голубев В.Ю. О вязкости разрушения фибробетона // *Вестник гражданских инженеров*. 2008. № 3. С. 80–83.
- Pukharensko Yu.V., Golubev V.Yu. On the fracture toughness of fiber reinforced concrete. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*. 2008. No. 3, pp. 80–83. (In Russian).
- Пухаренко Ю.В., Пантелеев Д.А., Морозов В.И., Магдеев У.Х. Прочность и деформативность полиармированного фибробетона с применением аморфной металлической фибры // *Academia. Архитектура и строительство*. 2016. № 1. С. 107–111.
- Pukharensko Yu.V., Panteleev D.A., Morozov I.V., Magdeev W.H. Strength and deformability of poly-reinforced fiber concrete with the use of amorphous metal fiber. *Academia. Arxitektura i stroitel'stvo*. 2016. No. 1, pp. 107–111. (In Russian).
- Kharitonov A., Shangina N., Glass Fibre Reinforced concrete as a material for large hanging ceiling designs in underground station restorations. *Proceedings of the International Conference, Concrete in the Low Carbon Era*. Scotland, UK. University of Dundee. 9–11 July 2012, pp. 823–831.
- Смирнова О.М., Андреева Е.В. Свойства тяжелого бетона, дисперсно-армированного синтетическим макроволокном // *Строительные материалы*. 2016. № 11. С. 17–20
- Smirnova O.M., Andreeva E.V. Properties of heavy concrete disperse-reinforced with synthetic micro-fiber. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2016. No. 11, pp. 17–20. (In Russian).
- Yan L., Pendleton R.L., Jenkins C.H. Interface morphologies in polyolefin fiber reinforced concrete composites. *Composites, Part A*. 1998. Vol. 29A, pp. 643–650.
- Yan L., Jenkins C.H., Pendleton R.L. Polyolefin fiber-reinforced concrete composites: Part II. Damping and interface debonding. *Cement and Concrete Research*. 2000. Vol. 30 (3), pp. 403–410.
- Tagnit-Hamou A., Vanhove Y., Petrov N. Microstructural analysis of the bond mechanism between polyolefin fibers and cement pastes. *Cement and Concrete research*. 2005. Vol. 35 (2), pp. 364–370.
- Конференция «Полиолефины 2017» // *Полимерные трубы*. 2017. № 4 (58). С. 44–46.
- Conference «Polyolefins 2017». *Polimernye truby*. 2017. No. 4 (58), pp. 44–46. (In Russian).
- Zhao Ron (Rongguo), Wadsworth Larry C. Study of polypropylene/poly(ethylene terephthalate) bicomponent melt-blowing process: The fiber temperature and elongational viscosity profiles of the spinline. *Journal of*

- Applied Polymer Science*. 2003. Vol. 89, pp. 1145–1150. <https://doi.org/10.1002/app.12321>
14. Cho H.H., Kang K.H., Ito H., Kikutani T. Fine structure and physical properties of polyethylene/poly(ethylene terephthalate) bicomponent fibers in high-speed spinning. I. Polyethylene sheath/poly(ethylene terephthalate) core fibers. *Journal of Applied Polymer Science*. 2000. Vol. 77, pp. 2254–2266. [https://doi.org/10.1002/1097-4628\(20000906\)77:10<2254::AID-APP19>3.0.CO;2-M](https://doi.org/10.1002/1097-4628(20000906)77:10<2254::AID-APP19>3.0.CO;2-M)
 15. Kaufmann Josef, Lübben Jörn, Eugen Schwitter. Mechanical reinforcement of concrete with bicomponent fibers. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 2007. Vol. 38 (9), pp. 1975–1984.
 16. Pyle Russell W. Product and method for incorporating synthetic polymer fibers into cement mixtures. U.S. Patent No. 6,258,159. 10 Jul. 2001.
 17. Chatterji Jiten, et al. Cementing wells with crack and shatter resistant cement. U.S. Patent No. 6,308,777. 30 Oct. 2001.
 18. Linfa Yan, Pendleton R.L., Jenkins C.H.M.. «Interface morphologies in polyolefin fiber reinforced concrete composites.» *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 1998. Vol. 29.5, pp. 643–650.
 19. Ta-Yuan Han, et al. Influence of polyolefin fibers on the engineering properties of cement-based composites containing silica fume. *Materials & Design*. 2012. Vol. 37, pp. 569–576.
 20. Liberato Ferrara, Ozyurt Nilufer, Prisco Marco Di. High mechanical performance of fibre reinforced cementitious composites: the role of “casting-flow induced” fibre orientation. *Materials and Structures*. 2011. Vol. 44 (1), pp. 109–128.

Совершенствование карьерного транспорта



Процесс транспортирования сырьевых материалов на открытых горных работах остается самым дорогостоящим и трудоемким. Из применяемых трех основных видов транспорта на карьере промышленности нерудных строительных материалов, автотранспорт является самым распространенным. Конструкция самосвалов, предназначенных для транспортировки горной массы, постоянно совершенствуется, растет их мощность. БелАЗ создал самый мощный в мире самосвал грузоподъемностью 450 т. Его вес 360 т. Первый образец машины, выпущенный в 2013 г., эксплуатируется на угольном разрезе «Черниговец» в Кемеровской области (рис. 1).

Десятки лет назад начала разрабатываться программа управления автомобилем в автоматическом режиме, без водителя. В конце прошлого века были испытаны колесные погрузчики и самосвалы, которые работали в автоматическом режиме. Первой осуществить коммерческий проект удалось японской фирме KOMATSU. В 2005 г. были проведены промышленные испытания системы автоматизированных грузоперевозок на меднорудном карьере Коделко в Чили. А через три года компания заключила контракт о внедрении системы на этом предприятии. В настоящее время в мире более ста большегрузных самосвалов фирмы KOMATSU работают с использованием этой системы (рис. 2)

Фирма отмечает такие достоинства системы автоматизированных грузоперевозок, как сохранение стабильного режима работы, включая скорость движения, что позволяет эксплуатировать самосвал в предусмотренном проектом оптимальном режиме, благодаря чему сокращается расход топлива и увеличивается срок службы шин, уменьшается зависимость от человеческого фактора, позволяющая минимизировать паузы, сократить число поломок и тому подобных инцидентов, четко соблюдать график техобслуживания.

Система автоматизированных грузоперевозок позволяет практически исключить причины травматизма персонала, поскольку автоматическое управление из компьютерного центра исключает присутствие водителей в карьере. Кроме того, отсутствие операторов, управляющих машинами, позволяет изменить положения техники безопасности. Т. е. получить значительную экономию за счет сокращения объема горных работ, поскольку риск аварии машины несопоставим с риском нанесения травмы человеку.

В этом направлении работает и компания «Вольво». По их мнению, один оператор в состоянии управлять 3–4 гибридными машинами. Фирма создала принципиально новый вид карьерного самосвала, представляющий самоходную четырехколесную тележку с кузовом (рис. 3). Тележка снабжена аккумуляторами, так как была поставлена задача электрофицировать карьерный транспорт. И прототип самосвала HX2 был уже продемонстрирован в Ньюпорте (США). Отмечается, что за период показа не произошло ни одной поломки машины. Планируется провести испытания новой модели «Вольво SE», созданной на базе HX2, в текущем году на карьере Сканска в Швеции.

В отличие от существующей тенденции оборудовать системой автоматического управления существующие модели автомобилей с ручным управлением фирма «Вольво» разработала систему автоматического управления для машин, спроектированных специально для работы с этой системой, не имеющих кабины для водителя.

Следует отметить еще одно отличие. Система, разработанная фирмой KOMATSU, используется только на сверхмощных самосвалах, что вызвало интерес к этой системе только в США. Самосвалы фирмы «Вольво» ориентированы на карьеры небольшой производительности.

Г.Р. Буткевич, канд. техн. наук
По материалам журнала *Pit & Quarry*



*С Новым годом
и Рождеством!*



РИТЕНТ[®]
МОДИФИКАТОРЫ БЕТОНА



8 (495) 792-12-13



info@retentive.ru



retentive.ru



oooretent

С.Э. ЯНЮТИНА, начальник лаборатории (Yanutina@kgi198.gvsu.ru)

ЗАО «198 КЖИ» ХК ГВСУ «Центр» (143203, Московская обл., Можайский р-н, п. Строитель, д. 35)

Использование отходов теплоэнергетики в производстве ЖБИ для решения экологических проблем

Неоднородность состава отходов ТЭЦ в зависимости от региона добычи полезных ископаемых и способа переработки, а также способа удаления в процессе производства требует тщательного исследования влияния отходов и технологических факторов на улучшение прочностных характеристик готового железобетонного изделия. Экспериментальным путем произведен подбор составов бетонной смеси с применением золы-уноса для производства сборного железобетона по кассетной и конвейерной технологиям для получения качественной продукции. Расчет экономической эффективности был проведен для бетонов класса В40 и показал, что в условиях технологии железобетонного завода стоимость 1 м³ бетона с золой ниже бетона того же класса без золы-уноса более чем на 10%. Введение золы-уноса не ухудшило морозостойкости бетона, а значит и его долговечности.

Ключевые слова: энергоэффективность, зола-уноса, бетон, подбор состава бетонной смеси, железобетон, кассетная технология, конвейерная технология, производство железобетонных изделий, экологические проблемы.

Для цитирования: Янютин С.Э. Использование отходов теплоэнергетики в производстве ЖБИ для решения экологических проблем // *Строительные материалы*. 2018. № 12. С. 50–53. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-766-12-50-53>

S.E. YANUTINA, Head of Laboratory (Yanutina@kgi198.gvsu.ru)

ZAO «198 KZHI» HC GVSU «Center» (35, settlement of Stroitel, Mozaysky District, Moscow Oblast, 143203, Russian Federation)

The Use of Wastes of Thermal Power Sector in Production of Reinforced Concrete Products for Solving Ecological Problems

The heterogeneity of the composition of the waste of the CHP plant depending on the region of the mining and the processing method and the method of removal in the production process requires a thorough study of the impact of waste and technological factors on the improvement of the strength characteristics of the finished concrete product. The selection of concrete mix compositions with the use of fly ash for the production of precast concrete according to cassette and conveyor technologies to produce quality products was made experimentally. The calculation of economic efficiency was carried out for concrete of B40 class and showed that under the conditions of reinforced concrete plant technology the cost of 1 m³ of concrete with ash is lower than the concrete of the same class without fly ash by about 10%. The introduction of fly ash did not worsen the frost resistance of concrete, and its durability.

Keywords: power efficiency, fly ash, concrete, selection of concrete mix composition, reinforced concrete, cassette technology, conveyor technology, production of reinforced concrete products, ecological problems.

For citation: Yanutina S.E. The use of wastes of thermal power sector in production of reinforced concrete products for solving ecological problems. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 12, pp. 50–53. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-766-12-50-53> (In Russian).

В настоящее время бетон является самым популярным материалом для строительства жилых зданий и инфраструктурных объектов. Низкое воздействие бетона на окружающую среду, доступность сырья для его изготовления и возможность переработки бетонных конструкций в конце срока службы являются ключевыми характеристиками для эффективного использования этого материала в будущем.

Основным материалом для изготовления бетона является цемент, при производстве которого происходит большой выброс в атмосферу CO₂. За последние 30 лет производителям цемента удалось снизить выбросы CO₂ на 15%, в основном за счет использования альтернативных материалов и топлива. Однако производители сборного железобетона также могли бы внести посильный вклад для уменьшения выбросов CO₂ за счет уменьшения количества применяемого цемента [1].

Согласно Распоряжению Правительства РФ от 10 мая 2016 г. № 868-р «О стратегии развития промышленности строительных материалов на период до 2020 г. и дальнейшую перспективу до 2030 г.» необходимо проводить работы по вовлечению отходов в производство строительных материалов [2–3]. В век прогрессивных технологий и возможностей, казалось бы, нет ничего проще, чем создание рецептуры совершенного бетона, полно-

стью соответствующего заданным параметрам производства железобетонных конструкций. А как создать рецептуру бетона с использованием отходов промышленности для решения вопросов экологии? Вовлечь отходы в производство одного из самых востребованных материалов строительной промышленности [4–8]. Однако единого для всех производителей рецепта не существует [9–11]. Учитывая неоднородность состава отходов в зависимости от региона добычи полезных ископаемых и способа переработки, а также от способа удаления в процессе производства, в каждом конкретном случае требуется кропотливая работа по исследованию влияния отходов и технологических факторов на улучшение прочностных характеристик готового железобетонного изделия.



Таблица 1

Показатели качества золы-уноса

Показатель	Результат анализа, %	Значения показателя по ГОСТ 25818–2017, не более
SiO ₂	49,1	Не норм.
Al ₂ O ₃	38,1	Не норм.
Fe ₂ O ₃	6,01	Не норм.
CaO	2,98	10
MgO	0,4	5
SO ₃	0,42	3
Na ₂ O	0,3	3
ППП	3,7 (от 2,5 до 4)	5
Удельная поверхность (дисперсность)	620 м ² /кг	не менее 250 м ² /кг

На ЗАО «198 КЖИ» (г. Можайск, Московская обл.) за период с мая по август 2018 г. были проведены работы по подбору составов бетонной смеси класса В20–В40, применяемого для изготовления изделий по конвейерной и кассетной технологиям. Целью работы являлся подбор составов бетонной смеси с применением золы-уноса в качестве активной минеральной добавки для замещения части цемента в количестве около 10 % в 1 м³ производимой бетонной смеси; изучение влияния применения золы-уноса на прочностные показатели, а в конечном итоге на получение бетона с требуемыми марками по морозостойкости и водонепроницаемости (Рекомендации по подбору составов тяжелых и мелкозернистых бетонов к ГОСТ 27006–86. М.: ЦИТП, 1990. 303 с.).

До начала экспериментальных работ необходимо было провести оценку золы-уноса, которую впоследствии можно применять на производстве. Для этого учитывались следующие решающие факторы: близость расположения поставщика; показатели качества и однородности поступающего материала.

Была выбрана зола-уноса, полученная на Алексинской ТЭЦ (Тульская обл.), показатели качества которой представлены в табл. 1. Термоактивированная зола-унос получена из золных отходов (золоотвалы, заполненные 40–50 лет назад) Алексинской ТЭЦ путем их активации в режиме термоудара с последующим кондиционированием до соответствия требованиям ГОСТ 25818–2017 «Золы-уноса тепловых электростанций для бетонов. Технические условия».

При подборе составов бетона необходимо учитывать технологические особенности производства на каждом предприятии.

В условиях ЗАО «198 КЖИ» производство внутренних стеновых панелей осуществляется в кассетных установках. Применяемая бетонная смесь с маркой по удобоукладываемости П5 (ОК 24–25 см) подается бетоноукладчиком в отсеки кассетной установки послойно (3–4 слоя), каждый слой уплотняется вибраторными установками, расположенными только на верхней части разделительной стенки отсека, что создает дополнительные трудности для получения качественного уплотнения нижних слоев бетонной смеси и получения категории поверхности изделий А2.

При производстве изделий по конвейерной технологии бетонная смесь уплотняется за счет применения так называемой «низкочастотной» вибрации 18–20 Гц, соответственно бетонная смесь должна обладать хорошими реологическими свойствами.

Присутствие высокодисперсной золы-уноса, как самостоятельного компонента бетона позволило улучшить реологические свойства бетонной смеси, исключить ее сегрегацию, повысить прочностные показатели бетона и значительно улучшить качество поверхности и геометрию готовых изделий и конструкций. Введение золы-уноса не ухудшило морозостойкости бетона, а значит, и его долговечности. Работая как микронаполнитель, зола-уноса повышает концентрацию твердых частиц в бетонном конгломерате и снижает его пористость (табл. 2). Также положительно влияет на морозостойкость бетона уменьшение объема и размеров пор, происходящее при пуццолановой реакции. Этот эффект достаточно выражен лишь в поздние сроки твердения [4, 5].

При введении высокодисперсного компонента, такого как зола-уноса, необходимо применять высокоэффективные химические добавки на основе поликарбоксилатных эфиров. Добавки должны обладать супервдородуцирующими свойствами для компенсации расхода воды затворения и достижения низкого водоцементного отношения бетона. Важно понимать, авторы стремились получить высокофункциональный бетон с высокими потребительскими качествами, а не заменить часть цемента золой для экономии. Именно такой подход позволил ввести в рецептуру от 50 до 80 кг золы-уноса на 1 м³ бетона.

Повышение прочностных характеристик бетона достигнуто комплексным решением, в котором основную роль сыграл выбор химической добавки. Применяемый на производстве суперпластификатор «Ритент 100» на основе эфиров поликарбоксилатов эффективно справ-

Таблица 2

Определение морозостойкости бетона с золой-уноса (для бетона кассетной/конвейерной технологии) по ГОСТ 10060–2012 «Бетоны. Методы определения морозостойкости»

№ п/п	Условное обозначение бетона	Метод испытания	Размеры образцов, мм	Количество образцов в серии, шт.	Количество циклов	Марка бетона по морозостойкости
1	B20 П5 F150 W2/ B20 П5 F1100 W4	Третий ускоренный	100×100×100	12	3	F1100
2	B20 П5 F150 W2/ B20 П5 F1100 W4	Второй ускоренный	100×100×100	18	20	F1100
3	B20 П5 F150 W2/ B20 П5 F1100 W4	Третий ускоренный	100×100×100	12	3	F1100
4	B20 П5 F150 W2/ B20 П5 F1100 W4	Второй ускоренный	100×100×100	18	20	F1100

ляется с задачей водоредуцирования бетонной смеси и повышения ее удобоукладываемости.

Немаловажным свойством химических добавок является диспергация высокодисперсных частиц золы-уноса и цемента. Поскольку размер частиц применяемой золы находится в пределах 30–40 мкм, необходимо предотвращать их слипание при взаимодействии с водой. Добавка «Ритент 100», являясь сильным дефлокулянтном, значительно повышает эффективность использования веществ с высокой удельной поверхностью, таких, как цемент, зола, шлак и др. [6].

Стратегия производства высокофункционального бетона для индустриального домостроения повысит эксплуатационные и эстетические характеристики зданий, позволит создавать дома с низкой стоимостью жизненного цикла. Хотелось бы выделить приоритетность экономической составляющей производства таких бетонов. Введение в состав бетона золошлаковых отходов и эффективных химических добавок позволяет компенсировать его высокую стоимость.

Расчет экономической эффективности был проведен для бетонов класса В40 и показал, что в условиях технологии ЗАО «198 КЖИ» стоимость 1 м³ бетона с золой, применяемого на конвейерной технологии, на 113,46 р. ниже бетона того же класса без золы-уноса. Стоимость 1 м³ бетона с золой, применяемого при кассетной технологии, на 173,52 р. ниже бетона без золы-уноса.

Вторым этапом проведения работ был подбор составов бетона В20, В25, В30. Известно, что низкие классы с маркой по удобоукладываемости П5 с хорошей реологией подобрать на производстве бывает сложно из-за применяемых инертных заполнителей: пески с большим модулем крупности, щебень зачастую только одной фракции 5–20 мм. В данном случае свойство золы-уноса как микрозаполнителя помогло решить вопрос подбора составов бетонных смесей, применяемых на производстве при изготовлении изделий по кассетной и конвейерной технологиям для получения бетонов с требуемыми прочностными показателями и марками по морозостойкости и водонепроницаемости.

Важным аспектом является подбор оптимального расхода золы в бетоне. Самый достоверный способ – экспериментальный, учитывающий все особенности и требования технологии производства, а также экономические показатели. Желательно использовать высококачественные золы высокой дисперсности, относительно высокая стоимость которых будет компенсироваться уменьшением стоимости бетона, прочность которого не снижается или снижается незначительно (7).

Оптимальный расход золы-уноса для бетона конвейерной линии составил 80 кг/м³, для бетона кассет-



ной линии от 60 до 80 кг/м³, уменьшая расход при повышении класса бетона.

Гарантией успеха применения всего вышесказанного является правильный выбор цемента – главного компонента бетона. На ЗАО «198 КЖИ» применяется вяжущее стабильного и проверенного качества – портландцемент со шлаком ЦЕМ II/A-Ш 42,5Н, ГОСТ 31108–2016 производства «Тулацемент» (п. Новогуровский, Тульская обл.) с содержанием гранулированного шлака 15%. Таким образом, производимый бетон содержит композицию вяжущих веществ, из которых два компонента являются отходами промышленности. Полученный на предприятии результат вносит вклад в решение поставленной задачи перед строительной отраслью по сокращению выбросов в окружающую среду [8].

Проводимые работы по подбору составов бетонной смеси с применением золы-уноса трудоемки и выполняются только при большом желании руководителя лаборатории. Однако автор статьи призывает всех заинтересованных и увлеченных своим делом специалистов экспериментировать, а полученный результат достоин того, чтобы этим заниматься. Уникальность состава бетона и его экономическая привлекательность повышают конкурентноспособность продукции предприятия и значительно расширяют границы производственных возможностей.

Участие ЗАО «198 КЖИ» в программе утилизации отходов промышленности стало возможным благодаря поддержке генерального директора Ю.А. Неумывайченко, который уверен, что вовлечение отходов в производство строительных материалов позволит выйти на новый уровень энергоэффективности и снизить негативное влияние на окружающую среду.

Список литературы

1. Жужа Амина Куба, Алессо Римольди. Цель 2050: еще больше ЖБИ для пополнения фонда экологичных зданий // *Международное Бетонное Производство*. 2018. № 8. С. 8–9.
2. Кожухова Н.И., Лебедев М.С., Василенко М.И., Гончарова Е.Н. Воздействие зол-уноса тепловых электростанций на окружающую среду. *Сборник трудов II Международной научно-технической конференции. Энергетические системы*. 2017, С. 418–423.
3. Рояк Г.С., Грановская И.В., Стржалковская Н.В., Миленин Д.А. Портландцемент, содержащий золу-унос для предотвращения щелочной коррозии бетона // *Цемент и его применение*. 2015. № 1. С. 89–92.
4. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. М.: Стройиздат, 1998. 768 с.
5. Зоткин А.Г. Прочностные эффекты золы в бетоне // *Технология бетонов*. 2018. № 9–10. С. 44–47.

References

1. Zhuzha Amin Cuba, Alessio Rimoldi. Purpose 2050: it is even more concrete goods for replenishment of fund of eco-friendly buildings. *Mezhdunarodnoe Betonnoe Proizvodstvo*. 2018. No. 8, pp. 8–9. (In Russian).
2. Kozhukhova N.I., Lebedev M.S., Vasilenko M.I., Goncharova E.N. Impact of the evils ablations of thermal power plants on the environment. *Collection of works II of the International scientific and technical conference. Power systems*. 2017, pp. 418–423. (In Russian).
3. Royak G.S., Granovskaya I.V., Strzhalkovskaya N.V., Milenin D.A. Portlandsement containing ashes ablation for prevention of alkaline corrosion of concrete. *Tsement i ego primenenie*. 2015. No. 1, pp. 89–92. (In Russian).
4. Batrakov V.G. Modifitsirovannye betony [The modified concrete]. M.: Stroizdat, 1998. 768 p.
5. Zotkin A.G. Strength effects of ashes in concrete. *Tekhnologiya betonov*. 2018. No. 9–10, pp. 44–47. (In Russian).

6. Хигерович М.И., Байер Е.И. Гидрофобно-пластифицирующие добавки для цементов, растворов и бетонов. М.: Стройиздат, 1979. 335 с.
7. Зоткин А.Г. Бетоны с эффективными добавками. М.: Инфра-Инженерия, 2014. 160 с.
8. Баженов Ю.М. Технология бетонов. М.: АСВ, 2011. 485 с.
9. Герасимова Н.П. Зола-уноса как сырье для производства бетонных блоков при решении экологической проблемы утилизации золошлаковых отходов ТЭЦ // *Вестник Иркутского государственного технического университета*. 2016. № 6 (113). С. 122–127.
10. Зайченко Н.М., Петрик И.Ю. Высоко-функциональные бетоны с различным содержанием обогащенной золы-уноса ТЭС. Современные проблемы строительства и жизнеобеспечения: безопасность, качество, энерго- и ресурсосбережение. *Сборник статей IV Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 60-летию Инженерно-технического института Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова*. Якутск, 2016. С. 240–244.
11. Александров А.О. О применении термоактивированной золы-уноса для замены цемента в строительстве // *Цемент и его применение*. 2017. № 3. С. 88–91.
12. Рязанов А.Н., Винниченко В.И., Недосеко И.В., Рязанова В.А., Рязанов А.А. Структура и свойства известково-золяного цемента и его модификация // *Строительные материалы*. 2018. № 1–2. С. 18–22. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-756-1-2-18-22>
13. Петухов А.В., Коровкин М.О., Ерошкина Н.А., Лавров И.Ю. Перспективы развития технологии бетона с высоким содержанием золы-уноса // *Молодежный научный вестник*. 2018. № 3 (28). С. 112–118.
14. Овчинников Р.В., Авакян А.Г. Оценка золошлаковых отходов как добавки в бетон // *Новые технологии*. 2014. № 1. С. 100–107.
6. Higerovich M.I., Bayer E.I. Gidrofobno-plastifitsiruyushchie dobavki dlya tsementov, rastvorov i betonov [The hydrophobic plasticizing additives for cements, solutions and concrete]. Moscow: Stroyizdat, 1979. 335 p.
7. Zotkin A.G. Betony s effektivnymi dobavkami [Concrete with effective additives]. Moscow: Infra-Inzheneriya, 2014. 160 p.
8. Bazhenov Yu.M. Tekhnologiya betonov [Technology of concrete]. Moscow: ASV, 2011. 485 p.
9. Gerasimova N.P. Ashes ablation as raw materials for production of concrete blocks at the solution of an environmental problem of utilization of zoloshlakovy waste of combined heat and power plant. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2016. No. 6 (113), pp. 122–127. (In Russian).
10. Zaychenko N.M., Petrik I.Yu. High-functional concrete with various content of the enriched ashes ablation of thermal power plant. Modern problems of construction and life support: safety, quality, power - and resource-saving. *The collection of Articles IV of the All-Russian scientific and practical conference devoted to the 60 anniversary of Technical institute of the Northeast federal university of M.K. Ammosov*. Yakutsk. 2016, pp. 240–244. (In Russian).
11. Alexandrov A.O. About use of the thermoactivated ashes ablation for replacement of cement in construction. *Tsement i ego primenenie*. 2017. No. 3 pp. 88–91. (In Russian).
12. Riazanov A.N., Vinnichenko V.I., Nedoseco I.V., Riyanova V.A., Riyanov A.A. Structure and properties of lime-ash cement and its modification. *Stroitel'nye Materialy* [Construction materials]. 2018. No. 1–2, pp. 18–22. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-756-1-2-18-22>. (In Russian).
13. Petukhov A.V., Korovkin M.O., Eroshkina N.A., Lavrov I.Yu. The prospects of development of technology of concrete with the high content of ashes ablation. *Molodezhnyi nauchnyi vestnik*. 2018. No. 3 (28), pp. 112–118. (In Russian).
14. Ovchinnikov R.V., Avakyan A.G. Assessment of zoloshlakovy waste as additives in concrete. *Novye tekhnologii*. 2014. No. 1, pp. 100–107. (In Russian).



I Международная конференция «Композиционные материалы и конструкции в современном строительстве: FibroMix 2018»

10–12 октября 2018 г. на базе Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета (СПбГАСУ) прошла I Международная конференция «Композиционные материалы и конструкции в современном строительстве: FibroMix 2018». Ее организаторами выступили агентство «КВИНТЕТ» и Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет при спонсорской поддержке компаний ООО «БалтМонолитСтрой» (официальный дилер Концерн BASF по Северо-Западному федеральному округу), ООО «ХайдельбергЦемент Рус» и ОАО «Сланцевский цементный завод «ЦЕСЛА» (предприятие группы HeidelbergCement). В ее работе приняли участие более 100 делегатов от предприятий и научных организаций из России, Беларуси, Казахстана и Украины.

Работу конференции FibroMix предваряли курсы повышения квалификации для специалистов строительной отрасли по программе «Современные цементные композиты», на которых были освещены теоретические и практические аспекты современных проблем технологии бетонов.

В ходе основной деловой части конференции было представлено более 50 докладов, темы которых охватили все основные направления производства и использования композиционных материалов. Помимо общих, характерных для практически всех сегментов строительного материаловедения тем, были затронуты и специфические проблемы.

Научный руководитель конференции, член-корреспондент РААСН, член редакционного совета журнала «Строительные материалы»[®], доктор технических наук, профессор **Пухаренко Ю.В.** представил собравшимся «Миссию фибробетона в современном строительстве». Он отметил, что изначально конференция задумывалась как дань памяти доктору технических наук, профессору **И.А. Лобанову**, и была приурочена к его 90-летию. Игорь Александрович – один из основателей отечественной научной школы по проблеме дисперсно-армированных бетонов. Более 25 лет под его руководством велись широкие исследования в области фибробетонов, в ходе которых разработаны теоретические основы создания таких композитов, изучены возможности применения различных видов волокон и их комбинаций в качестве дисперсной арматуры, определены области рационального использования различных видов дисперсно-армированных композитов. Однако в процессе подготовки стало очевидно, что темы и проблемы

фибробетонов напрямую связаны со многими другими смежными областями строительного материаловедения, поэтому тематика докладов была существенно расширена.

С докладами на конференции выступили представители СПбГУ, ПГУПС, СПбПУ, Воронежского ГТУ, НГАСУ, Тверского ГТУ, Ивановского ГПУ, Мордовского ГУ, Иркутского НИТУ, Южно-Уральского ГУ, Забайкальского ГУ, НИИ медицинской микологии им. П.Н. Кашкина, СЗГМУ им. И.И. Мечникова, Белорусского ГУ.

Среди участников конференции были представители компаний «ЛСР Бетон», «ЛуяБетомикс», «Банг и Бонсомер», «Би Райт», «Геоизол», «Конгломерат», «Конкритлайн», «Самарский гипсовый комбинат», а также производители и поставщики фибры – компании «БАСФ» и «Фибротех», целлюлозных волокон – компания «Реттенмайер Рус», композиционных материалов – «Sika» и «Ажио», производители цемента LafargeHolcim Russia и многие другие.

Особый интерес вызвала серия докладов, посвященных теме биоразрушающих строительных материалов и конструкций и обусловленных этим экологических, ремонтно-строительных и реставрационных проблем.

По мнению первого проректора СПбГАСУ **И.Р. Луговской**, насыщенная программа, новые контакты, интересные дискуссии станут прочным «фибробетонным» фундаментом новой конференции, которая станет местом встречи профессионалов в области композиционных материалов и конструкций современной строительной отрасли.

www.baltimix.ru



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: инновации для индустриального домостроения»

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: производственный объект и 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

Партнер:

Vollert

KNAUF
Немецкий стандарт

Поддержка:



Союз Строителей Республики Беларусь



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»

Л.И. КОШЕЛЕВА, зав. отделом строительных материалов, коррозии и долговечности (ktb4@mail.ru),
С.П. МИУСОВ, гл. конструктор отдела (spmiosov@mail.ru),
Д.Г. РЯЗАНЦЕВ, зам. зав. отделом (daniil87@yandex.ru),
С.С. КОВЫРШИН, гл. специалист отдела (kaa_013@mail.ru)

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

Причины раскрытия деформационных швов фундаментов станции НПС-2 нефтепровода Куюмба – Тайшет

Рассмотрены некоторые вопросы необходимости развития теории и практики строительства в суровых климатических условиях на многолетнемерзлых грунтах. Приведена характеристика сурового климата и инженерно-геологические условия площадки станции. Представлены технические решения обеспечения надежности геотехнической системы площадки и конструктивные решения фундаментов. Проведено техническое обследование плитного ростверка с определением физико-механических свойств бетона, зафиксированы дефекты (трещины) конструкции и их параметры (ширина, глубина и протяженность). В процессе эксплуатации отмечены возможные негативные геокриологические процессы, такие как водонакопление, изменение гидрогеологического режима надмерзлотных вод, сезонное пучение. Получены результаты геомониторинга и расчета по деформациям и по прочности с физически нелинейными характеристиками материалов по II группе предельных состояний с учетом совместного влияния усилий температурных деформаций и от деформаций усадки. По результатам серии поверочных расчетов по деформациям и по прочности железобетонных ростверков резервуаров установлено, что в период первого замораживания в конструкциях ростверков наблюдаются значительные растягивающие напряжения, достигающие величин порядка $(2,34-2,44) \cdot 10^3$ кН/м². По результатам проведенных работ определены причины образования трещин в высоких плитных ростверках, эксплуатируемых в суровых климатических условиях, и сформулировано предложение о необходимости дополнительного изучения влияния фактора термостабилизации грунта на напряженно-деформированное состояние конструкций железобетонных ростверков.

Ключевые слова: суровый климат, стабилизация, температура, многолетнемерзлый грунт, бетон, трещины, деформации, геомониторинг, деформационный шов, усадка, техническое обследование, плитный ростверк, расчет, надежность.

Для цитирования: Кошелева Л.И., Миусов С.П., Рязанцев Д.Г., Ковыршин С.С. Причины раскрытия деформационных швов фундаментов станции НПС-2 нефтепровода Куюмба – Тайшет // *Строительные материалы*. 2018. № 12. С. 55–60.

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-766-12-55-60>

L.I. KOSHELEVA, Head of the Department of construction materials, corrosion and durability (ktb4@mail.ru),

S.P. MIUSOV, Chief Designer (spmiosov@mail.ru),

D.G. RYAZANTSEV, Deputy Head of Department of construction materials, corrosion and durability (daniil87@yandex.ru),

S.S. KOVYRSHIN, Chief Specialist (kaa_013@mail.ru)

Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev (NIIZHB), JSC "Research Center of Construction"

(6, 2nd Institutskaya Street, Moscow, 109428, Russian Federation)

Reasons for Disclosure of Deformation Seams of Foundations at the NPS-2 Station of the Kuyumba – Tayshet Oil Pipeline

Some issues of need for development of the theory and practice of construction under the severe climatic conditions on permafrost soils are considered. The characteristic of severe climate and engineering-geological conditions of the station site is given. Technical solutions to ensure the reliability of the geotechnical system of the site and structural solutions of the foundations are presented. Technical inspection of the slab grillage with determination of physical and mechanical properties of concrete was carried out, defects (cracks) of the structure and their parameters (width, depth and extent) were fixed. During the operation, possible negative geocryological processes such as water accumulation, change in the hydro-geological regime of suprapermafrost waters, seasonal heaving were noted. The results of geo-monitoring and the calculation of deformation and strength with physically nonlinear properties of materials for the II group of limit states with due regard for the joint effect of efforts of thermal strains and shrinkage deformations were obtained. According to the results of a series of checking calculations on deformation and strength of reinforced concrete grillages of tanks, it is established that in the period of the first freeze in the constructions of grillages there are significant tensile stresses, reaching values of about 2.34 to $2.44 \cdot 10^3$ kN/m². On the basis of conducted works, the causes of cracks formation in the high slab grillages operated under severe climatic conditions were determined, and a proposal was formulated on the need for additional study of the influence of the factor of thermal stabilization of the soil on the stress-strain state of reinforced concrete grillage structures.

Keywords: severe climate, stabilization, temperature, permafrost soil, concrete, cracks, deformations, geo-monitoring, deformation seam, shrinkage, technical inspection, slab grillage, calculation, reliability.

For citation: Kosheleva L.I., Miusov S.P., Ryazantsev D.G., Kovyrrshin S.S. Reasons for disclosure of deformation seams of foundations at the NPS-2 station of the Kuyumba – Tayshet oil pipeline. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 12, pp. 55–60. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-766-12-55-60> (In Russian).

С развитием рыночной экономики в России происходит активное освоение северных районов страны с преобладающими территориями вечномерзлых грунтов, где характерны его многоцикличные замерзания и оттаивания. В целях обеспечения надежности и долговечности возводимых сооружений требуется не только обстоятельное применение имеющегося теоретического и практического опыта, но и дальнейшее развитие теории и практики строительства в суровых климатических условиях на вечномерзлых грунтах.

Авторами проведено детальное обследование плитного ростверка фундаментов нефтеперекачивающей станции НПС-2 нефтепровода Куюмба – Тайшет по выяснению причин его деформаций и увеличению ширины деформационных швов. Общий вид станции приведен на рис. 1.

Район строительства нефтеперекачивающей станции НПС-2 расположен в суровых климатических условиях. Данный климатический район в соответствии с [1] характеризуется продолжительностью холодного периода года (со среднесуточной температурой воздуха ниже 0°С)



Рис. 1. Общий вид НПС-2

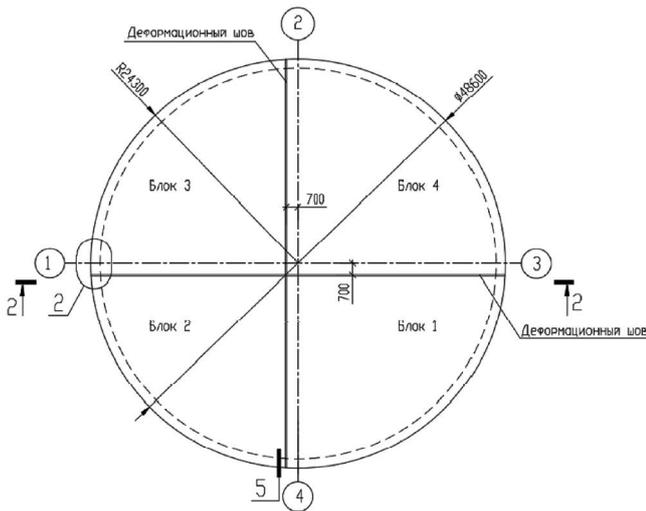


Рис. 2. Плита ростверка (разбивка плиты ростверка на блоки армирования)

190 дней в году и более; минимальная температура холодных суток -45°C ; расчетное значение перепада температуры лето–зима составляет $-57,2^{\circ}\text{C}$; расчетное значение перепада температуры зима–лето составляет $+41,8^{\circ}\text{C}$, кроме того, в основании станции распространены многолетнемерзлые грунты (ММГ).

Основание под резервуарами конструктивно выполнено в виде высоких ростверков [2], плиты которых запроектированы поверх буропускных свай длиной 12 м, диаметром 42,6 см.

Сваи – из металлических труб $\varnothing 426 \times 9$ Г2С (ГОСТ 10704-91/09 «Трубы стальные электросварные прямшовные. Сортамент»; ГОСТ 19281-89 «Прокат из стали повышенной прочности. Общие технические условия») погружены в вечноммерзлые грунты на глубину ~ 10 м. Внутри трубы заполнены сухой песчано-цементной смесью до глубины 2500 мм от планировочной отметки, выше этой отметки – бетоном класса В15. Плита ростверка – в виде диска толщиной 0,6 м и диаметром 47,6 м, разделенного на четыре сектора деформационными швами шириной 20 мм (рис. 2).

Плита объединяет 505 свай, оголовки которых входят в тело плиты на 50 мм, соединение жесткое (рис. 3, 4).

Инженерно-геологические условия площадки представлены многолетнемерзлыми делювиально-элювиальными, мезозойскими элювиальными отложениями, скальными породами: суглинками пластичномерзлыми слабльдистыми, слоистой структуры (ИГЭ-209); суглинками древесными и щебенистыми пластичномерзлыми слабльдистыми (ИГЭ-259, ИГЭ-269); супесями

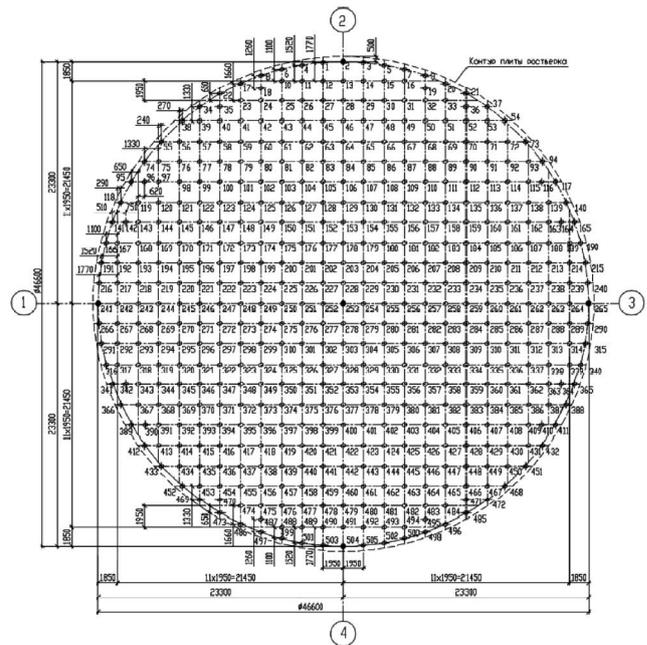


Рис. 3. План свайного поля

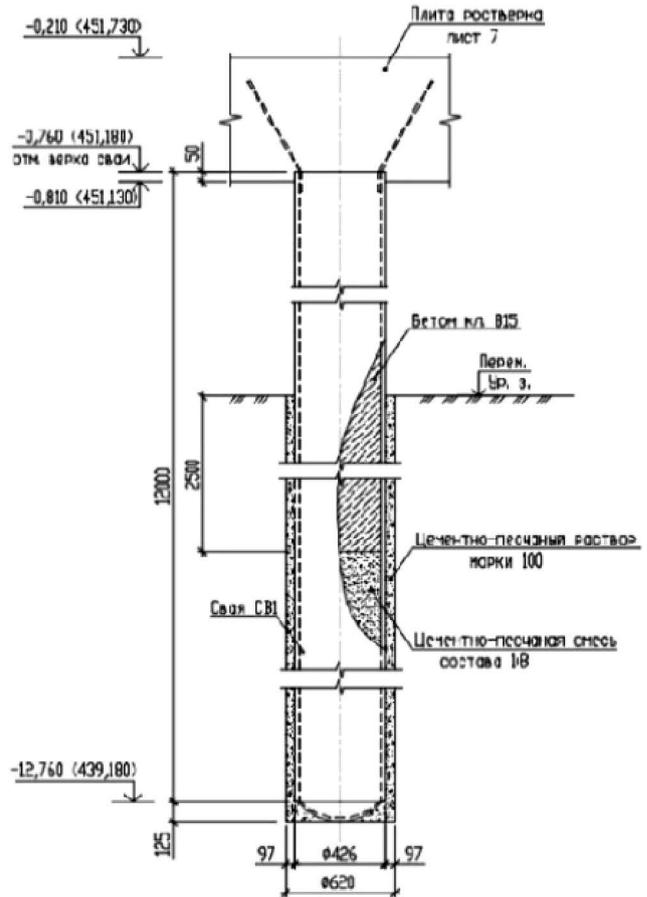


Рис. 4. Схема установки сваи СВ1 в скважине

пластичномерзлыми слабльдистыми слоистой крио-структуры (ИГЭ-309); щебенистыми и древесными грунтами твердомерзлыми слабльдистыми (ИГЭ-538, ИГЭ-548); скальными грунтами алевролитами твердомерзлыми (ИГЭ-728в, ИГЭ-728г) и песчаниками средней прочности твердомерзлыми трещиноватой крио-структуры (рис. 5–7).

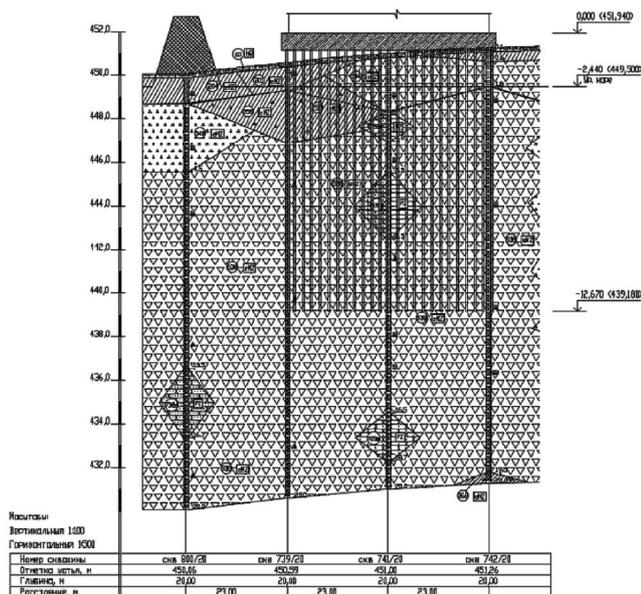


Рис. 5. Скважина 1. Инженерно-геологический разрез по линии 3–3

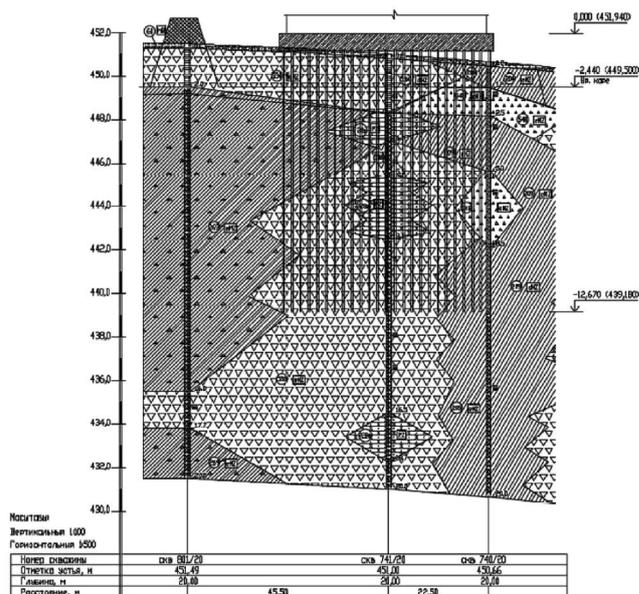


Рис. 6. Скважина 2. Инженерно-геологический разрез по линии 1–1

Литология	Номер	Категория грунтов по ГЭСН	Возраст	Полное описание грунта	Литология	Номер	Категория грунтов по ГЭСН	Возраст	Полное описание грунта
	60		hQ	Почвенно-растительный слой		269		eMZ	Суглинок щебенистый пластичномерзлый
	201		edQ	Суглинок твердый		534		eMZ	Щебенистый грунт малой степени водонасыщения
	204		edQ	Суглинок мягкопластичный		538		eMZ	Щебенистый грунт твердомерзлый
	209		edQ	Суглинок пластичномерзлый		548		eMZ	Дресвяный грунт твердомерзлый
	259		eMZ	Суглинок дресвяный пластичномерзлый		728a		PZ	Алеврит твердомомерзлый средней прочности

Рис. 7. Условные обозначения

Температурный режим мерзлых пород характеризуется колебанием от -3°C на глубине 12,5 м до температуры, близкой к 0°C . Необходимо отметить возможные негативные геокриологические процессы, такие как водонакопление, изменение гидрогеологического режима надмерзлотных вод, сезонное пучение [3].

Для обеспечения надежности геотехнической системы площадки и, следовательно, возводимого сооружения требуется минимальное вмешательство в природную среду с сохранением вечномерзлого состояния грунта как в процессе строительства, так и при эксплуатации [4]. С этой целью в процессе эксплуатации предусмотрено снижение теплового воздействия нефтеперекачивающей станции и сохранения мерзлого состояния грунтов наличием холодного продуваемого пространства под ростверками и поверхностью грунта высотой $h=163$ см и сезонным охлаждением грунтов [5–15]. При строительстве для минимизации воздействия на ММГ применены висячие сваи (рис. 4), погружение которых осуществлялось буроопускным способом при средней температуре вечномерзлого грунта по длине сваи $-0,5^{\circ}\text{C}$ и ниже в предварительно пробуренные скважины диаметром 620 мм.

В процессе строительства станции вели геомониторинг, включающий измерение вертикальных осадок фундаментов и температуры грунтов в термометрических скважинах (СОУ), а также ширины раскрытия деформационных швов и проверку работоспособности

Таблица 1
Результаты мониторинга ширины раскрытия деформационных швов ростверка резервуара № 1

Дата	Ось 1	Ось 2	Ось 3	Ось 4
	ширина шва, мм	ширина шва, мм	ширина шва, мм	ширина шва, мм
10.10.2014	18	20	21	19
05.11.2014	26	22	27	24
08.12.2014	38	34	34	29
03.01.2015	44	36	46	30
02.02.2015	51	40	53	33
02.03.2015	59	44	61	33
08.04.2015	57	41	58	30
06.05.2015	58	43	57	29
10.06.2015	58	44	59	31
08.07.2015	59	42	60	33
08.08.2015	60	45	61	32
07.09.2015	59	44	60	33
11.10.2015	60	45	61	32
11.10.2016	85	60	85	47



Рис. 8. Деформационный шов шириной 120 мм



Рис. 9. Низ плиты ростверка в зоне деформационного шва: 1 – скважина СОУ

Таблица 2

Физико-механические характеристики бетона

Фактический класс бетона по прочности на сжатие	E [кН/м ²]	Rb [МПа]	Rbt [МПа]	Mue	Rho [т/м ³]
Нормативные значения					
B15	2,4e+007	11	1,1	0,2	2,75
B25	3e+007	18,5	1,55	0,2	2,75
B(32,2) РВСП №101.1	3,33e+007	23,73	1,83	0,2	2,75
B(32,7) РВСП №101.2	3,37e+007	23,77	1,87	0,2	2,75
B(28,4) РВСП №101.3	3,125e+007	20,88	1,686	0,2	2,75
B(29,6) РВСП №101.4	3,23e+007	21,72	1,734	0,2	2,75
Расчетные значения					
B15	2,4e+007	8,5	0,75	0,2	2,75
B25	3e+007	14,5	1,05	0,2	2,75
B(32,2) РВСП №101.1	3,33e+007	18,23	1,22	0,2	2,75
B(32,7) РВСП №101.2	3,37e+007	18,27	1,226	0,2	2,75
B(28,4) РВСП №101.3	3,125e+007	16,25	1,12	0,2	2,75
B(29,6) РВСП №101.4	3,23e+007	17,26	1,142	0,2	2,75
Пониженные значения мод. упругости для вертикальных элементов					
B15*	1,44e+007	–	–	0,2	2,75
B25*	1,8e+007	–	–	0,2	2,75
B(32,2) РВСП №101.1	1,998e+007	–	–	0,2	2,75
B(32,7) РВСП №101.2	2,022e+007	–	–	0,2	2,75
B(28,4) РВСП №101.3	1,875e+007	–	–	0,2	2,75
B(29,6) РВСП №101.4	1,938e+007	–	–	0,2	2,75
Пониженные значения мод. упругости для горизонтальных элементов					
B15**	0,72e+006	–	–	0,2	2,75
B25**	0,9e+006	–	–	0,2	2,75
B(32,2) РВСП №101.1	0,999e+007	–	–	0,2	2,75
B(32,7) РВСП №101.2	1,011e+007	–	–	0,2	2,75
B(28,4) РВСП №101.3	0,937e+007	–	–	0,2	2,75
B(29,6) РВСП №101.4	0,969e+007	–	–	0,2	2,75

системы термостабилизации грунтов [5]. По результатам мониторинга установлено, что режим термостабилизации грунтов, предусматривающий сезонное охлаждение грунтов до -0,5°С в период положительной температуры воздуха, выдерживался; ширина деформационных швов изменялась в процессе заморозания грунтов и нагружения свай от 18 до 85 мм (табл. 1). Проведенным комплекс-

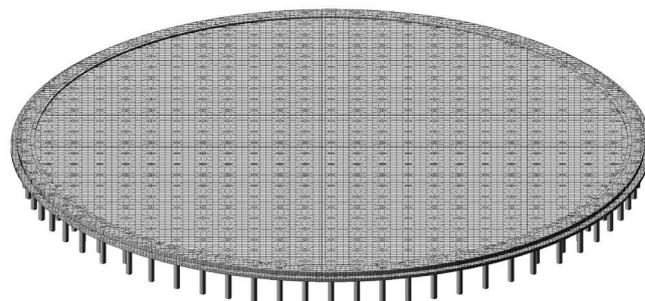


Рис. 10. Общий вид высокого плитного ростверка

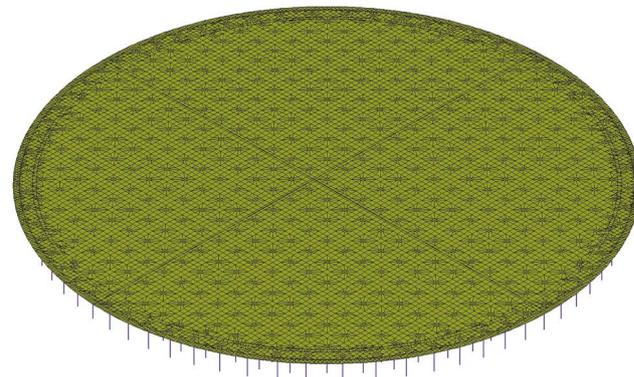


Рис. 11. Равномерно распределенные нагрузки на плиту ростверка, эквивалентные кратковременным нагрузкам вследствие деформаций усадки ($\Delta T_i = -78,1^\circ\text{C}$) и климатических воздействий лето-зима ($\Delta T_i = 57,2^\circ\text{C}$), зима-лето ($\Delta T_i = +41,8^\circ\text{C}$)

ным обследованием выявлено раскрытие деформационных швов на величину больше расчетной (45 мм), ширина деформационных швов продолжает увеличиваться и на период обследования составляла 120 мм (рис. 8, 9).

Для выяснения влияния физических свойств бетонной конструкции фундамента на увеличение ширины деформационных швов был выполнен расчет плиты ростверка по деформациям и по прочности с физически нелинейными характеристиками материалов по II группе предельных состояний с учетом совместного влияния усилий температурных деформаций и усадки. Расчет выполнен в соответствии с СП 52-105-2009 «Железобетонные конструкции в холодном климате и на вечномерзлых грунтах» с использованием программного комплекса ЛИРА САПР 2016. Общий вид плитно-го ростверка приведен на рис. 10.

Физико-механические характеристики бетона приведены в табл. 2.

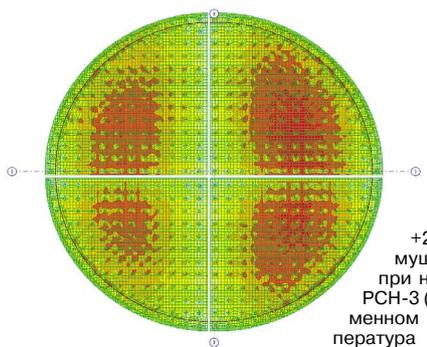


Рис. 12. Изополя напряжений N_x (кН/м²) min/max $N_x = (-1,14 - +2,25) \cdot 10^3$ кН/м² – преимущественно растяжение при нелинейном нагружении РСН-3 (1-2-3-4-7-6) и одновременном действии усадка+температура

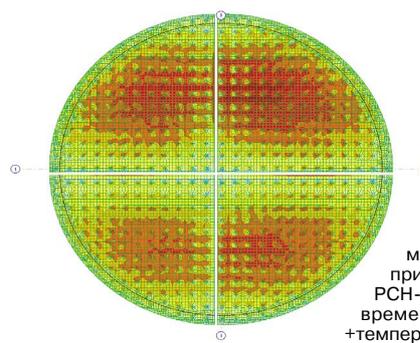


Рис. 13. Изополя напряжений N_y (кН/м²) min/max $N_y = (-1,32 - +2,209) \cdot 10^3$ кН/м² – преимущественно растяжение при нелинейном нагружении РСН-3 (1-2-3-4-7-6) и одновременном действии усадка+температура

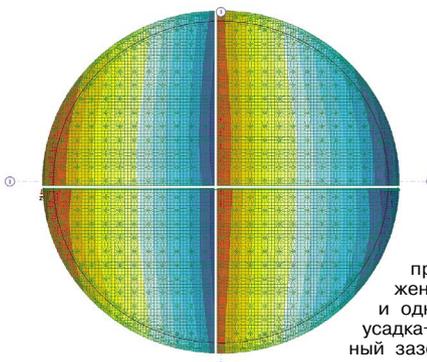


Рис. 14. Линейные деформации по -X min/max $U_x = \pm 12,7$ мм при нелинейном нагружении РСН-3 (1-2-3-4-7-6) и одновременном действии усадка+температура, суммарный зазор в деформационном шве по -X (оси 1-1) составит $\Delta t = 20+25,1 = 45,1$ мм

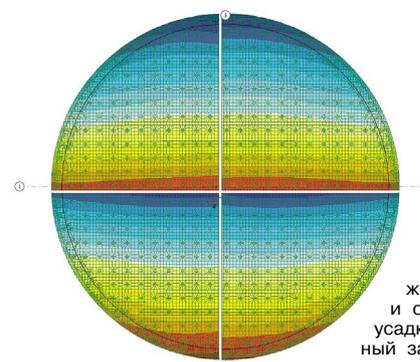


Рис. 15. Линейные деформации по -Y min/max $U_y = \pm 12,7$ мм при нелинейном нагружении РСН-3 (1-2-3-4-7-6) и одновременном действии усадка+температура суммарный зазор в деформационном шве по -Y (оси 3-3) составит $\Delta t = 20+25,1 = 45,1$ мм

Температурные нагрузки:

1. Нормативное значение изменения средней температуры по сечению элемента в холодное Δt_c время года:

$$\Delta t_c = t_c - t_{ow} = -45^\circ\text{C} - 7^\circ\text{C} = -52^\circ\text{C},$$

где $t_c = t_{ec} = t_1 - \Delta t_1 = -25^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C} = -45^\circ\text{C}$ – нормативное значение средней температуры по сечению элемента в холодное время года, принимаемое по табл. 13.1 и картам 5 и 7; $t_{ow} = 0,8t_{VII} + 0,2t_f = 0,8 \cdot 15^\circ\text{C} + 0,2 \cdot (-25^\circ\text{C}) = 12 - 5 = 7^\circ\text{C}$ – начальная температура, соответствующая замыканию конструкции в законченную систему в теплое время года; $t_{VII} = +15^\circ\text{C}$ – средняя месячная температура воздуха в июле; $t_f = -25^\circ\text{C}$ – средняя месячная температура воздуха в январе.

2. Расчетное значение изменения средней температуры по сечению элемента:

$$\Delta T_c = \Delta t_c \cdot \gamma_f = -52^\circ\text{C} \cdot 1,1 = -57,2^\circ\text{C} -$$

расчетное значение перепада температуры лето–зима.

3. Нормативное значение изменения средней температуры по сечению элемента в холодное Δt_w время года:

$$\Delta t_w = t_w - t_{oc} = +21^\circ\text{C} - (-17^\circ\text{C}) = +38^\circ\text{C},$$

где $t_w = t_{ew} = t_{VII} + \Delta t_{VII} = +15^\circ\text{C} + 6^\circ\text{C} = +21^\circ\text{C}$ – нормативное значение средней температуры по сечению элемента в холодное время года; $t_{oc} = 0,2t_{VII} + 0,8t_f = 0,2 \cdot 15^\circ\text{C} + 0,8 \cdot (-25^\circ\text{C}) = 3 - 20 = -17^\circ\text{C}$ – начальная температура, соответствующая замыканию конструкции в законченную систему в холодное время года; $t_{VII} = +15^\circ\text{C}$ – средняя месячная температура воздуха в июле; $\Delta t_{VII} = +6^\circ\text{C}$ – отклонение средней месячной температуры воздуха в июле.

4. Расчетное значение изменения средней температуры по сечению элемента:

$$\Delta T_w = \Delta t_w \cdot \gamma_f = +38^\circ\text{C} \cdot 1,1 = +41,8^\circ\text{C} -$$

расчетное значение перепада температуры зима–лето.

5. Нагрузка от деформации усадки:

$$\varepsilon_{cs} = 78,1 \cdot 10^{-5}$$

принята как температурная $\Delta T_{cs} = -78,1 \cdot 10^{-5} \text{C}^{-1}$.

Эскиз нагружений на плиту ростверка показан на рис. 11. Нагружения по всей площади равномерно распределенные, эквивалентные кратковременным нагрузкам вследствие деформаций усадки ($\Delta T_i = -78,1^\circ\text{C}$), от температурных деформаций климатических воздействий лето–зима ($\Delta T_i = -57,2^\circ\text{C}$) и зима–лето ($\Delta T_i = +41,8^\circ\text{C}$). Изополя напряжений приведены на рис. 12 и 13.

Линейные деформации по -X min/max $U_x = \pm 12,7$ мм и по -Y min/max $U_y = \pm 12,7$ мм при нелинейном нагружении и одновременном действии усадка + температура показаны на рис. 14 и 15. Как видно из представленного материала, суммарный зазор в деформационном шве по -X (оси 1-1) составил $\Delta t = 20+25,1 = 45,1$ мм и по -Y (оси 3-3) составил $\Delta t = 20+25,1 = 45,1$ мм.

По результатам серии поверочных расчетов по деформациям и по прочности железобетонных ростверков резервуаров установлено следующее:

- в период первого замораживания в конструкциях ростверков наблюдаются значительные растягивающие напряжения достигающие величины порядка $(2,34 - 2,44) \cdot 10^3$ кН/м²;
- собственные деформации секторов плит ростверков не превышают нормированных величин разности относительных осадок и предельной величины крена (п. 6.1.22 СП 43.13330.2012 (СНиП 2.09.03–85));
- фактические осадки секторов плит ростверков не превышают нормированных величин (<200 мм) по СНиП 2.09.03–85 (п.6.24);
- максимальное расчетное значение деформационных швов 45 мм.

На основании обобщения результатов проделанной работы сделаны следующие **выводы**.

1. Геометрические параметры деформационных швов меняются в процессе замерзания грунта и нагружения фундаментов.

2. Фактическое увеличение ширины деформационных швов между секторами ростверков до значения 120 мм необъяснимо внутренними физическими процессами в железобетонных ростверках и предположительно является следствием внешних воздействий –

сдвижек (деформаций) грунтового массива, которые могут быть проявлением техногенного влияния термостабилизации грунта. В связи с этим следует дополнительно изучить влияние термостабилизации на увеличение и распределение внутреннего давления в грунтовой массиве свайного поля с целью прогнозирования

добавочных деформаций и напряженно-деформированного состояния на конструкции железобетонных ростверков.

3. Необходимо дальнейшее развитие теории и практики строительства объектов в суровых климатических условиях на вечномёрзлых грунтах.

Список литературы

1. Галкин М.Л., Рукавишников А.М., Генель Л.С. Термостабилизация вечномёрзлых грунтов // *Холодильная техника*. 2013. № 10. С. 8–11.
2. Залесов А.С., Зенин С.А. Фактическое состояние и перспективные направления развития нормативной базы железобетона // *Промышленное и гражданское строительство*. 2013. № 1. С. 8–10.
3. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Кардумян Г.С. Уникальные бетоны и опыт их реализации в современном строительстве // *Промышленное и гражданское строительство*. 2013. № 1. С. 42–44.
4. Емельянов Е.И., Бондаренко В.М. Определение температуры многолетнемерзлых пород в слое годовых теплооборотов методом высокоразрешающего электрического зондирования // *Промышленное и гражданское строительство*. 2013. № 11. С. 18–21.
5. Фаликман В.Р. Наноматериалы и нанотехнологии в современных бетонах // *Промышленное и гражданское строительство*. 2013. № 1. С. 31–34.
6. Ибрагимов Э.В., Гамзаев Р.Г. Системы термостабилизации грунта для зданий и сооружений с проектным решением полов по грунту // *Журнал нефтегазового строительства*. 2014. № 1. С. 40–45.
7. Кутвицкая Н.Б., Козлова Е.Б. Проектирование инженерной защиты оснований и фундаментов объектов нефтегазоконденсатных месторождений в сложных мерзлогрунтовых условиях // *Основания, фундаменты и механика грунтов*. 2015. № 5. С. 18–22.
8. Долгих Г.М., Окунев С.Н. Анализ надежности и эффективности систем температурной стабилизации многолетнемерзлых грунтов в основаниях зданий и сооружений // *Основания, фундаменты и механика грунтов*. 2015. № 5. С. 14–17.
9. Хренов Н.Н. Некоторые рекомендации по обеспечению устойчивости свайных оснований надземной прокладки нефтепровода Заполярное – Пурпе // *Основания, фундаменты и механика грунтов*. 2016. № 2. С. 37–40.
10. Кроник Я.А. Безопасность оснований и фундаментов зданий и сооружений на многолетнемерзлых грунтах // *Основания, фундаменты и механика грунтов*. 2017. № 3. С. 36–39.
11. Мерзляков В.П. Физико-механические условия образования первичных морозобойных трещин // *Основания, фундаменты и механика грунтов*. 2016. № 4. С. 2–5.
12. Потапова О.А. Анализ влияния природных факторов на технические решения оснований и фундаментов на многолетнемерзлых грунтах // *Основания, фундаменты и механика грунтов*. 2014. № 3. С. 26–28.
13. Сахаров И.И., Парамонов В.Н., Парамонов М.В., Игошин М.Е. Деформации морозного пучения и оттаивания грунтов при работе и повреждении сезонно-охлаждающих устройств // *Промышленное и гражданское строительство*. 2017. № 12. С. 23–30.
14. Карпенко Н.И., Ерышев В.А., Латышева Е.В., Кокарев С.А. Методика описания диаграммы бетона с переменными уровнями напряжений сжатия и частичной разгрузкой // *Промышленное и гражданское строительство*. 2015. № 3. С. 12–15.
15. Набережный А.Д., Кузьмин Г.П., Посельский Ф.Ф. Анализ причин снижения несущей способности оснований и фундаментов в геокриологических условиях Якутии // *Промышленное и гражданское строительство*. 2016. № 8. С. 64–69.

References

1. Galkin M.L., Rukavishnikov A.M., Genel' L.S. Thermostabilization of permafrost soil. *Holodil'naya tekhnika*. 2013. No. 10, pp. 8–11. (In Russian).
2. Zalesov A.S., Zenin S.A. Actual state and perspective directions of development of the regulatory base of reinforced concrete. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2013. No. 1, pp. 8–10. (In Russian).
3. Kapriellov S.S., Sheinfel'd A.V., Kardumyan G.S. Unique concrete and experience of their realization in modern construction. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2013. No. 1, pp. 42–44. (In Russian).
4. Emel'yanov E.I., Bondarenko V.M. Determination of temperature of permafrost breeds in a layer of annual heatturns by method of the high-allowing electric sounding. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2013. No. 11, pp. 18–21. (In Russian).
5. Falikman V.R. Nanomaterials and nanotechnologies in modern concrete. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2013. No. 1, pp. 31–34. (In Russian).
6. Ibragimov E.V., Gamzaev R.G. The systems of thermostabilization of soil for buildings and constructions with the design solution of floors on soil. *Zhurnal neftegazovogo stroitel'stva*. 2014. No. 1, pp. 40–45. (In Russian).
7. Kutvickaya N.B., Kozlova E.B. Design of engineering protection of the bases and the bases of objects of oil-gas condensate fields in difficult merzlogruntovy conditions. *Osnovaniya, fundamenty i mehanika gruntov*. 2015. No. 5, pp. 18–22. (In Russian).
8. Dolgih G.M., Okunev S.N. The analysis of reliability and efficiency of systems of temperature stabilization of permafrost soil in foundations of buildings and constructions. *Osnovaniya, fundamenty i mehanika gruntov*. 2015. No. 5, pp. 14–17. (In Russian).
9. Hrenov N.N. Some recommendations about ensuring stability of the pile bases of elevated laying of the oil pipeline Polar – Purpe. *Osnovaniya, fundamenty i mehanika gruntov*. 2016. No. 2, pp. 37–40. (In Russian).
10. Kronik Y.A. Safety of the bases and the bases of buildings and constructions on permafrost soil. *Osnovaniya, fundamenty i mehanika gruntov*. 2017. No. 3, pp. 36–39. (In Russian).
11. Merzlyakov V.P. Physicomechanical conditions of formation of primary morozoboyny cracks. *Osnovaniya, fundamenty i mehanika gruntov*. 2016. No. 4, pp. 2–5. (In Russian).
12. Potapova O.A. The analysis of influence of natural factors on technical solutions of the bases and the bases on permafrost soil. *Osnovaniya, fundamenty i mehanika gruntov*. 2014. No. 3, pp. 26–28. (In Russian).
13. Saharov I.I., Paramonov V.N., Paramonov M.V., Igoshin M.E. Deformations of a frosty pucheniye and thawing of soil during the work and damage of the seasonal cooling devices. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2017. No. 12, pp. 23–30. (In Russian).
14. Karpenko N.I., Eryshev V.A., Latsysheva E.V., Kokarev S.A. Technique of the description of the chart of concrete with variable levels of tension of compression and partial unloading. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2015. No. 3, pp. 12–15. (In Russian).
15. Naberezhnyi A.D., Kuz'min G.P., Posel'skiy F.F. The analysis of the reasons of decrease in bearing capacity of the bases and the bases in geocryologic conditions of Yakutia. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2016. No. 8, pp. 64–69. (In Russian).

С.А. ЗЕНИН, канд. техн. наук (lab01@mail.ru), Р.Ш. ШАРИПОВ, канд. техн. наук, О.В. КУДИНОВ, инженер

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

Предложения по общим правилам расчета и конструирования сборно-монолитных каркасных безригельных конструктивных систем многоэтажных жилых и общественных зданий

Приведены положения по общим правилам расчета и конструирования сборно-монолитных каркасных безригельных конструктивных систем для зданий различного функционального назначения. Разработка общих правил расчета обусловлена недостатками существующей нормативной базы, а также большим числом вопросов проектных и экспертных организаций при разработке и оценке конструктивных решений указанных зданий. Предложены общие положения по расчету конструктивных систем, включая общий расчет конструктивной системы и расчет ее элементов и узлов. Расчеты предлагается выполнять в двухэтапной постановке. На первом этапе определяются основные параметры конструктивной системы, на втором этапе выполняются расчеты основных представителей несущих конструкций и узлов их сопряжений на действие усилий, полученных из общего расчета конструктивной системы. Помимо основных правил расчета предложены методы конструирования сборно-монолитных каркасных безригельных конструктивных систем, включая методы конструирования элементов и узлов их сопряжений.

Ключевые слова: каркас, безригельная конструктивная система, сборно-монолитные конструкции, бетон, железобетон, многоэтажные жилые и общественные здания.

Для цитирования: Зенин С.А., Шарипов Р.Ш., Кудинов О.В. Предложения по общим правилам расчета и конструирования сборно-монолитных каркасных безригельных конструктивных систем многоэтажных жилых и общественных зданий // *Строительные материалы*. 2018. № 12. С. 61–65. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-766-12-61-65>

S.A. ZENIN, Candidate of Science (Engineering) (lab01@mail.ru), R.Sh. SHARIPOV, Candidate of Science (Engineering), O.V. KUDINOV, Engineer Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev (NIIZHB), JSC "Research Center of Construction" (6, 2nd Institutskaya Street, Moscow, 109428, Russian Federation)

Suggestions for General Rules of Calculation and Design of Precast-Monolithic Frame Girderless Structural Systems of Multi-Storey Residential and Public Buildings

The provisions of the general rules of calculation and design of precast frame girderless structural systems for buildings of various functional purposes are presented. The development of general rules of calculation is due to the shortcomings of the existing regulatory framework, as well as a large number of problems of design and expert organizations when developing and evaluating structural solutions of these buildings. The general provisions for the calculation of structural systems, including the general calculation of the structural system and the calculation of its elements and components are proposed. The calculations are proposed to be performed in a two-stage formulation. At the first stage, the main parameters of the structural system are determined, at the second stage, the calculations of the main representatives of the bearing structures and their conjugation units are performed on the action of the forces obtained from the general calculation of the structural system are made. In addition to the basic rules of calculation, methods are proposed for the design of precast frame jointless structural systems, including design methods of elements and nodes of their mates.

Keywords: frame, girderless structural system, precast-monolithic structures, concrete, reinforced concrete, multi-storey residential and public buildings.

For citation: Zenin S.A., Sharipov R.Sh., Kudinov O.V. Suggestions for general rules of calculation and design of precast-monolithic frame girderless structural systems of multi-storey residential and public buildings. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 12, pp. 61–65. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-766-12-61-65> (In Russian).

Каркасные сборно-монолитные конструктивные системы с плоскими перекрытиями (безригельные системы) для многоэтажных зданий различного функционального назначения являются достаточно выгодными с точки зрения свободы объемно-планировочных решений и являются гибкими в реакции на запросы рынка недвижимости, чем выгодно отличаются от крупнопанельного домостроения. Наряду с этим данные конструктивные системы также имеют очевидные плюсы индустриального домостроения.

Однако существующая нормативная база не содержит конкретных указаний по расчету и конструированию каркасных сборно-монолитных конструктивных систем. Для решения данной проблемы лаборатория № 1 НИИЖБ им. А.А. Гвоздева в 2017 г. выполнила НИР по теме «Проведение исследования работы сборно-монолитных каркасных безригельных конструктивных систем многоэтажных жилых и общественных зданий с разра-

боткой предложений по методикам их расчета и конструирования». При выполнении научно-исследовательской работы был выполнен анализ основной нормативно-технической и методической базы по данному вопросу – как отечественной [1–9], так и зарубежной [10–16].

Результатом данной работы явились в том числе предложения по общим правилам расчета и конструирования сборно-монолитных каркасных безригельных конструктивных систем многоэтажных жилых и общественных зданий.

Для сборно-монолитных безригельных каркасных конструктивных систем должны быть сформулированы общие правила расчета. При этом следует отметить, что общие правила расчета должны быть установлены как для конструктивных систем в целом, так и для отдельных представителей несущих конструкций и узлов сопряжений данных конструкций. Необходимо отметить, что в общем случае расчеты должны выполняться в со-

ответствии с требованиями действующих нормативных документов [1–6, 17–22] с целью обеспечения необходимой пожаробезопасности, надежности, долговечности, тепло- и звукоизоляции, коррозионной стойкости, прочности, трещиностойкости и деформативности.

Можно предложить условное разбиение процесса выполнения расчетов на два этапа. На первом этапе выполняется расчет конструктивной системы в целом. На втором этапе выполняется расчет элементов конструктивной системы и узлов их сопряжений.

В общем случае в рамках расчета сборно-монолитной безригельной каркасной конструктивной системы на первом этапе должна быть оценена эксплуатационная пригодность конструктивной системы в целом. Для этого необходимо определить ряд основных параметров конструктивной системы, значения которых должны быть сопоставлены с предельно допустимыми значениями, приведенными в соответствующих нормативных документах.

Кроме того, общими правилами расчета должны быть предусмотрены требования по определению в рамках расчетов первого этапа усилий и деформаций, возникающих в основных представителях несущих конструкций, а также в узлах их сопряжений.

На втором этапе выполняются расчеты по прочности, трещиностойкости и деформациям несущих элементов конструктивной системы и узлов их сопряжений. Расчеты выполняются на действие усилий, полученных на первом этапе. По результатам указанных расчетов производится конструирование элементов и узлов их сопряжений с учетом требований действующих норм.

Далее предлагаются общие требования по выполнению расчетов сборно-монолитной безригельной каркасной конструктивной системы, ее элементов и узлов.

Для сборно-монолитной каркасной безригельной конструктивной системы необходимо выполнять следующие расчеты:

- расчет горизонтальных перемещений верха;
- расчет форм собственных колебаний;
- расчет устойчивости формы и устойчивости положения (опрокидывание);
- расчет перекосов этажных ячеек;
- расчет максимальной (средней) осадки, разности осадок фундамента;
- расчет прогибов плит перекрытий;
- расчет ускорений колебаний перекрытий верхних этажей;
- расчет усилий и перемещений, возникающих в несущих элементах, а также узлах их сопряжений по результатам общего расчета конструктивной системы.

Расчеты конструктивной системы следует выполнять с учетом стадийности возведения (при существенном изменении расчетной ситуации) и для стадии эксплуатации. Также расчет в общем случае следует выполнять в пространственной постановке с учетом совместной работы надземной и подземной частей здания, а также фундамента и основания под ним.

Расчет несущих конструктивных систем выполняют с учетом линейных (упругих) и нелинейных (неупругих) жесткостей железобетонных элементов. Линейные жесткости элементов определяются как для сплошного упругого тела. Нелинейные жесткости определяются по поперечному сечению с учетом фактически установленного армирования, возможного образования трещин и развития неупругих деформаций в бетоне и арматуре, отвечающих кратковременному и длительному действиям нагрузки.

Значения жесткостей железобетонных элементов устанавливаются в зависимости от стадии расчета, требований к расчету, а также характера напряженно-деформированного состояния элемента.

При расчете сборно-монолитных безригельных каркасных конструктивных систем следует учитывать податливость связей между несущими железобетонными элементами и конструктивные особенности горизонтальных и вертикальных стыков конструкций.

В результате расчета несущей конструктивной системы должны быть установлены следующие параметры:

- горизонтальные перемещения верха конструктивной системы;
- перекос этажных ячеек;
- прогибы плит перекрытий;
- коэффициент запаса устойчивости формы конструктивной системы;
- коэффициент запаса устойчивости положения конструктивной системы;
- ускорения колебаний перекрытия верхнего жилого этажа;
- максимальная (средняя) осадка, разность осадок фундамента;

Предельно допустимая величина ускорения колебаний в уровне перекрытия верхнего жилого этажа здания, возникающая в результате пульсаций скоростного напора ветра, устанавливается в соответствии с требованиями СП 20.13330 [2].

Горизонтальные перемещения верха конструктивной системы определяются при действии нагрузок, отвечающих соответствующей расчетной ситуации по второй группе предельных состояний (постоянные, длительные и кратковременные вертикальные и горизонтальные нагрузки с коэффициентом надежности по нагрузке, равным единице). Необходимо также учитывать податливость соединений и работу основания.

Величина горизонтальных перемещений верха здания не должна превышать предельно допустимой величины, установленной согласно требованиям СП 20.13330 [2].

Расчет перекосов вертикальных этажных ячеек выполняется от неравномерности вертикальных и горизонтальных деформаций соседних несущих конструкций стен. Данный расчет выполняется с учетом стадий возведения, а также времени и длительности приложения нагрузок. В расчете необходимо учитывать податливость соединений и работу основания.

Величина перекосов вертикальных ячеек не должна превышать $h_s/300$, где h_s – высота этажа, равная расстоянию между срединными плоскостями плит смежных этажей.

Расчет на устойчивость формы и положения выполняют на действие расчетных постоянных, длительных и кратковременных нагрузок с учетом работы основания.

Запас по устойчивости формы конструктивной системы должен быть не менее чем двукратным. Запас по устойчивости характеризует превышение эксплуатационной нагрузки на конструктивную систему, при которой возникает возможность потери общей устойчивости здания.

Расчет конструктивной системы на устойчивость положения (опрокидывание) выполняется на действие опрокидывающего (от горизонтальной нагрузки) и удерживающего (от вертикальной нагрузки) моментов. Величины моментов принимаются относительно крайней точки фундамента. Коэффициент запаса по устойчивости положения конструктивной системы должен быть более полутора.

В случае если полученные параметры конструктивной системы превышают предельно допустимые нормативными документами значения, требуется корректировка принятых проектных решений.

Для повышения пространственной жесткости (обеспечения устойчивости формы, уменьшения горизонтального перемещения верха и перекосов) применяют следующие мероприятия:

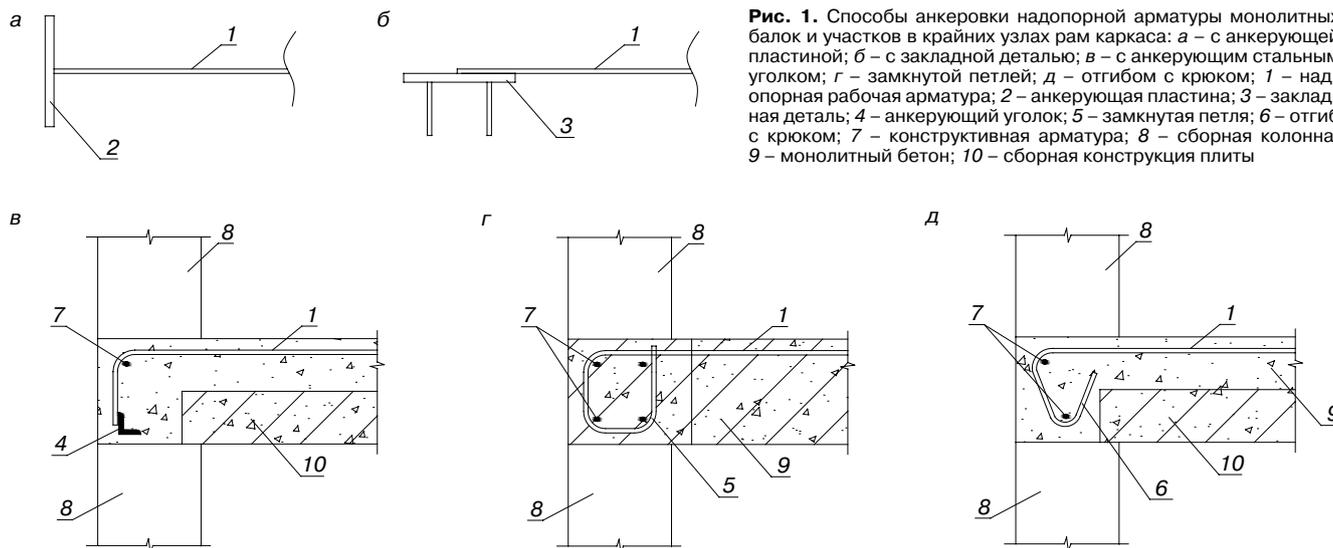


Рис. 1. Способы анкерки надпорной арматуры монолитных балок и участков в крайних узлах рам каркаса: а – с анкерующей пластиной; б – с закладной деталью; в – с анкерующим стальным уголком; г – замкнутой петлей; д – отгибом с крюком; 1 – надпорная рабочая арматура; 2 – анкерующая пластина; 3 – закладная деталь; 4 – анкерующий уголок; 5 – замкнутая петля; 6 – отгиб с крюком; 7 – конструктивная арматура; 8 – сборная колонна; 9 – монолитный бетон; 10 – сборная конструкция плиты

- увеличение количества диафрагм жесткости;
- увеличение размеров поперечных сечений вертикальных конструкций в необходимом направлении;
- уменьшение шага вертикальных несущих конструкций (пролетов плит перекрытий).

При несоблюдении условий устойчивости положения (опрокидывания) конструктивной системы выполняют корректировку конструктивной системы с целью снижения опрокидывающего момента или увеличения удерживающего. При этом допускается увеличение площади фундамента.

Прогибы из плоскости плит перекрытий определяются при действии нагрузок, отвечающих соответствующей расчетной ситуации по второй группе предельных состояний (постоянные и временные длительные нагрузки с коэффициентом надежности по нагрузке, равным единице).

Предельно допустимая величина прогибов устанавливается в соответствии с требованиями СП 20.13330 [2].

Расчет основания (несущей способности и деформации) следует выполнять в соответствии с указаниями действующих нормативных документов (СП 22.13330 [3], СП 24.13330 [4]) на действие усилий, полученных из расчета общей конструктивной системы здания. Предельные осадки основания ограничиваются в соответствии с указаниями СП 22.13330 [3].

Возникающие вследствие деформаций основания крены здания должны ограничиваться исходя из условий эксплуатации технологического оборудования, указанных в задании на проектирование.

Предельно допустимые значения совместных неравномерных деформаций основания и здания устанавливаются расчетом исходя из обеспечения необходимой прочности, устойчивости и трещиностойкости конструкций.

Расчет на устойчивость против прогрессирующего обрушения должен обеспечивать прочность и устойчивость конструктивной системы в целом при выходе из строя какого-либо фрагмента стен (допускается рассматривать наиболее опасные схемы аварийных воздействий). В случае если грунты основания здания опасны в карстовом отношении, следует также рассматривать возможность образования карстовой воронки. Данные виды расчетов выполняются по отдельным нормативным документам, а также с привлечением специализированных организаций.

По результатам общего расчета конструктивной системы в основных представителях несущих элементов

(плитах, колоннах, диафрагмах жесткости) и узлах их сопряжений (с учетом их фактической работы в конструктивной системе) должны быть установлены значения действующих усилий изгибающих и крутящих моментов, продольных и поперечных сил.

После определения действующих в основных представителях несущих элементов усилий выполняются соответствующие расчеты этих элементов и узлов их сопряжений по предельным состояниям двух групп согласно указаниям действующих нормативных документов СП 63.13330 [5], СП 16.13330 [17].

При этом для конструкций вертикальных диафрагм жесткости приведена также отдельная методика расчета.

Проверку прочности диафрагм жесткости на действие продольных сил и изгибающих моментов выполняют для нормальных сечений из условия:

$$N \cdot e \leq \gamma_d \cdot N_{ult}, \quad (1)$$

где N_{ult} – несущая способность нормального сечения диафрагмы жесткости, определяемая согласно указаниям СП 63.13330 [5] как для внецентренно сжатых конструкций (правая часть условий 8.10 и 8.16); γ_d – коэффициент условий работы диафрагмы, принимаемый равным:

$$\gamma_d = \frac{1}{1 + 0,02m + 0,05p}, \quad (2)$$

где m – число вертикальных швов между сборными элементами, для монолитных диафрагм $m=0$; p – число проемов в проверяемом горизонтальном сечении диафрагмы.

Коэффициент условий работы диафрагмы также может быть установлен экспериментальным путем.

Проверку прочности диафрагм при сдвиге выполняют по вертикальным и горизонтальным швам соединения с конструкциями колонн, плит перекрытий и покрытия, включая вертикальные швы соединения сборных диафрагм друг с другом (для составных диафрагм) из условия:

$$Q \leq \gamma_q \cdot Q_{ult}, \quad (3)$$

где Q_{ult} – несущая способность проверяемого вертикального или горизонтального сечения при сдвиге. Несущая способность определяется в зависимости от вида соединений: для соединений сборных конструкций – согласно указаниям СП 335.1325800 [21] по крупнопанельным конструктивным системам; для сборно-монолитных со-

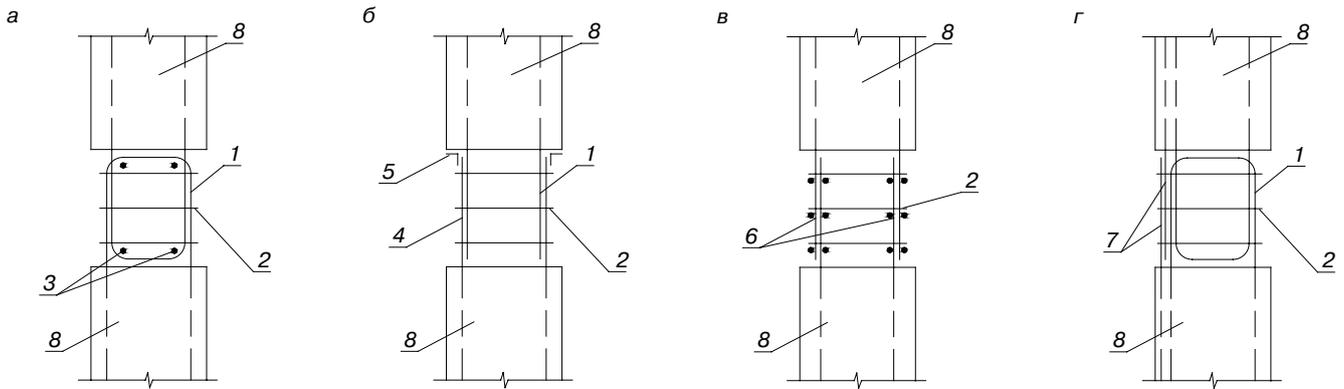


Рис. 2. Армирование стыка сборных колонн в узлах каркасных систем: а – петлевой стык внахлестку; б – стык петлевых и стержневых выпусков; в – стык внахлестку плоских арматурных каркасов; г – стык петлевых выпусков с дополнительной продольной арматурой; 1 – петлевой выпуск рабочей арматуры; 2 – хомуты; 3 – анкерующие стержни; 4 – стержневые выпуски рабочей арматуры; 5 – анкерующий уголок; 6 – выпуски плоских каркасов рабочей арматуры; 7 – дополнительная арматура; 8 – сборная колонна

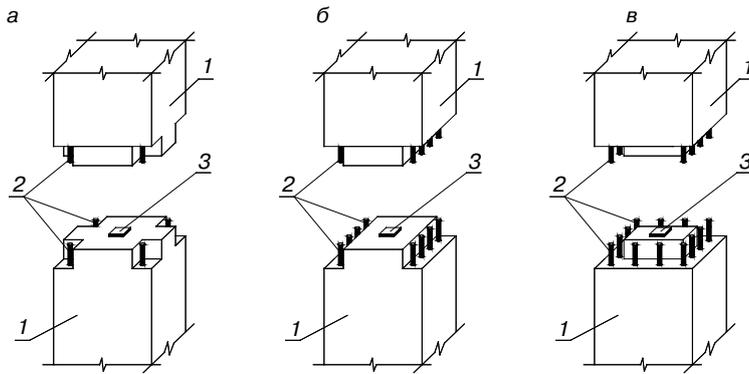


Рис. 3. Примеры плоских стыков сборных колонн с применением сварных соединений выпусков: а – с угловой подрезкой; б – с боковой подрезкой; в – с подрезкой по периметру; 1 – сборная колонна; 2 – выпуски рабочей арматуры колонны; 3 – стальная прокладка

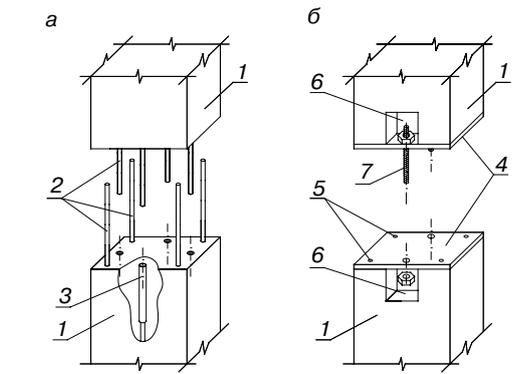


Рис. 4. Примеры плоских стыков сборных колонн с применением штепсельных и болтовых соединений: а – стык штепсельного типа; б – болтовой стык; 1 – сборная колонна; 2 – выпуски рабочей арматуры колонны; 3 – стальная трубка или канал; 4 – стальная пластина; 5 – анкера стальной пластины; 6 – проем в колонне под устройство болтового стыка; 7 – болтовое соединение

единений – согласно указаниям СП 337.1325800 [21] по сборно-монолитным конструкциям; для монолитных конструкций – согласно указаниям СП 63.13330 [5]; γ_q – коэффициент условий работы диафрагмы при сдвиге, принимаемый равным 0,75.

Также необходимо проверять прочность перемычек в диафрагмах жесткости на действие поперечных сил и изгибающих моментов.

В части конструирования элементов и стыков сборно-монолитных каркасных безригельных конструктивных систем можно отметить следующие основные моменты.

Для обеспечения необходимой анкерки растянутой рабочей арматуры (надопорной в узлах сопряжения монолитных балок с колоннами, в опорных зонах плит, в связевых поясах), устанавливаемой в монолитном бетоне, рекомендуется выполнять следующие мероприятия:

- приварку к концам стержней анкерующих пластин, уголков или закладных деталей (рис. 1, а, б);
- устройство отгибов, замкнутых петель на концах анкеруемых стержней (рис. 1, в, д);
- установку дополнительных хомутов на выпусках продольной арматуры колонн или дополнительной распределительной арматуры в местах перегибов анкеруемой арматуры.

Также предлагается предусматривать конструктивные меры для надежной анкерки выпусков продольной арматуры колонн, обеспечивающих ее работу с полным расчетным сопротивлением.

Для этой цели рекомендуется выполнение следующих мероприятий (рис. 2):

- устройство петлевых стыков арматуры внахлестку;
- применение выпусков плоских каркасов с расположением по длине нахлестки не менее двух поперечных стержней;
- приварка анкерующих пластин или уголков к стыкуемому выпуску продольной арматуры колонн.

Стыки многоэтажных сборных колонн рекомендуется проектировать плоскими с применением сварных соединений арматурных выпусков и последующей заделкой монолитным бетоном (рис. 3) либо стыков штепсельного типа с заведением выпусков рабочей арматуры на торцах одного элемента в армированные каналы другого с заполнением каналов полимерным или цементным раствором (рис. 4, а). Также при соединениях колонн могут быть использованы иные типы соединений и анкерные устройства, позволяющие воспринимать растягивающие напряжения в стыке в продольном направлении (рис. 4, б).

Также приведены рекомендации по проектированию данных каркасных систем в сейсмических районах, рекомендации по обеспечению совместной работы монолитного и сборного железобетона.

Выполненная работа предполагает, что по результатам проведенной НИР на последующих этапах могут быть разработаны как общие, так и детальные правила проектирования сборно-монолитных каркасных безригельных конструктивных систем. Данные правила могут быть сформулированы в виде отдельного норма-

тивного документа, ранг которого рекомендуется установить позже после выполнения дополнительных научно-исследовательских работ с учетом разрабатываемых и утверждаемых в настоящее время проектов новых норм.

При этом следует отметить, что перед разработкой нормативного документа необходимо выполнить ряд дополнительных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в сборно-монокристаллических каркасных безригельных конструктивных системах по следующим вопросам:

- теоретическая и экспериментальная оценка жесткости соединений конструкций перекрытий и колонн;
- теоретическая и экспериментальная оценка жесткости соединений колонн и вертикальных диафрагм жесткости;

- теоретическая и экспериментальная оценка жесткости соединений сборных многослойных панелей плит перекрытий.

Выполнение данных НИОКР позволит в значительной мере расширить и дополнить предлагаемые в настоящей работе положения и методики по проектированию и расчету сборно-монокристаллических каркасных безригельных конструктивных систем.

Список литературы

1. СП 16.13330.2017 «СНиП II-23–81* Стальные конструкции». М.: Стандартинформ, 2017.
2. СП 20.13330.2016 «СНиП 2.01.07–85* Нагрузки и воздействия». М., 2016.
3. СП 22.13330.2016 «СНиП 2.02.01–83* Основания зданий и сооружений». М.: Стандартинформ, 2017.
4. СП 24.13330.2011 «СНиП 2.02.03–85 Свайные фундаменты». М.: АО «Кодекс», 2011.
5. СП 28.13330.2012 «Защита строительных конструкций от коррозии». М.: Минрегион России, 2012.
6. СП 63.13330.2012 «СНиП 52-01–2003 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения». М., 2013.
7. Пособие по проектированию жилых зданий. Вып. 3. Ч. 1, 2. Конструкции жилых зданий (к СНиП 2.08.01–85). М.: ЦНИИЭП жилища Госкомархитектуры, 1986.
8. Ханджи В.В. Расчет многоэтажных зданий со связевым каркасом. М.: Стройиздат, 1977. 192 с.
9. Дыховичный Ю.А., Максименко В.А. Сборный железобетонный унифицированный каркас. М.: Стройиздат, 1985. 296 с.
10. BS 8110-1: 1997. Structural use of concrete – Part 1: Code of practice for design and construction. <https://csrcrecruits.files.wordpress.com/2014/04/bs8110-1-1997-structural-use-of-concrete-design-construction.pdf>
11. Elliott K.S., Tovey A.K. Precast concrete frame buildings. Design guide. British Cement Association. 1992, 96 p.
12. Design Recommendations of Precast Prestressed Hollow Core Floors. CEB-FIP Commission draft manual, 2016.
13. Design of Hybrid Concrete Buildings. The Concrete Centre, 2009.
14. Technical Manual. Deltabeam. Composite beam. Peikko Group 8/2014.
15. Design of hollow-core floors as composite members. FIP commission on prefabrication. Preliminary report, 1992.
16. PCI Manual for the design of hollow core slabs. Precast/Prestressed Concrete Institute, 1998.
17. ГОСТ 27751–2014 Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения и требования. М.: Стандартинформ, 2015.
18. СП 2.13130.2012 Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты. М.: МЧС России; ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2012.
19. СП 14.13330.2011 Строительство в сейсмических районах. Минрегион России. М.: ОАО «ЦПП», 2011.
20. СП 70.13330.2012 «Несущие и ограждающие конструкции». М.: АО «Кодекс», 2012.
21. СП 335.1325800.2017 «Крупнопанельные конструктивные системы. Правила проектирования». М., 2017.
22. СП 337.1325800.2017 «Конструкции железобетонные сборно-монокристаллические. Правила проектирования». М., 2017.

References

1. SP 16.13330.2017 “SNiP II-23–81* Steel Structures”. Moscow: Standardinform, 2017. (In Russian).
2. SP 20.13330.2016 “SNiP 2.01.07–85* Loads and Impacts”. Moscow. 2016. (In Russian).
3. SP 22.13330.2016 “SNiP 2.02.01–83* Foundations of buildings and structures”. Moscow: Standardinform. 2017. (In Russian).
4. SP 24.13330.2011 “SNiP 2.02.03–85 Pile foundations”. Moscow: JSC “Code”. 2011. (In Russian).
5. SP 28.13330.2012 “Protection of building structures against corrosion”. Moscow: Ministry of Regional Development of Russia. 2012. (In Russian).
6. SP 63.13330.2012 “SNiP 52-01–2003 Concrete and reinforced concrete structures. The main provisions”. Moscow: 2013. (In Russian).
7. Posobiye po proyektirovaniyu zhilykh zdaniy. Vyp. 3. Chast’ 1, 2. Konstruktsii zhilykh zdaniy (k SNiP 2.08.01–85) [Handbook for the design of residential buildings. Issue 3. Part 1, 2. Designs of residential buildings (to SNiP 2.08.01–85)., 1986.]. Moscow: TSNIIEP zhilishcha of the State Committee on Architecture. 1986.
8. Khandzhi V.V. Raschet mnogoetazhnykh zdaniy so svyazevym karkasom [Calculation of multi-storey buildings with a tie frame]. Moscow: Stroyizdat. 1977. 192 p.
9. Dykhovichnyy Yu.A., Maksimenko V.A. Sbornyy zhelezobetonnyy unifitsirovanny karkas [Precast reinforced concrete unified frame]. Moscow: Stroyizdat. 1985. 296 p.
10. BS 8110-1: 1997. Structural use of concrete – Part 1: Code of practice for design and construction. <https://csrcrecruits.files.wordpress.com/2014/04/bs8110-1-1997-structural-use-of-concrete-design-construction.pdf>
11. Elliott K.S., Tovey A.K. Precast concrete frame buildings. Design guide. British Cement Association. 1992, 96 p.
12. Design Recommendations of Precast Prestressed Hollow Core Floors. CEB-FIP Commission draft manual, 2016.
13. Design of Hybrid Concrete Buildings. The Concrete Centre, 2009.
14. Technical Manual. Deltabeam. Composite beam. Peikko Group 8/2014.
15. Design of hollow-core floors as composite members. FIP commission on prefabrication. Preliminary report, 1992.
16. PCI Manual for the design of hollow core slabs. Precast/Prestressed Concrete Institute, 1998.
17. GOST 27751–2014 Reliability of building structures and bases. Basic provisions and requirements. Moscow: Standardinform, 2015. (In Russian).
18. SP 2.13130.2012 Fire protection systems. Providing fire resistance of objects of protection. Moscow: MES of Russia; FSBI VNIIPOMES of Russia, 2012. (In Russian).
19. SP 14.13330.2011 Construction in seismic areas. Ministry of Regional Development of Russia. Moscow: OJSC “ZPP”, 2011. (In Russian).
20. SP 70.13330.2012 Bearing and enclosing structures. Moscow: JSC “Code”, 2012. (In Russian).
21. SP 335.1325800.2017 “Large-panel structural systems. Design rules”. Moscow, 2017. (In Russian).
22. SP 337.1325800.2017 “Reinforced concrete prefabricated monolithic structures. Design rules”. Moscow, 2017. (In Russian).

В.Ф. СТЕПАНОВА, д-р техн. наук (vstepanova@mail.ru),

С.Е. СОКОЛОВА, инженер (sokolova-niizhb@mail.ru),

А.Л. ПОЛУШКИН, инженер (polushkin-niizhb@inbox.ru)

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

Вторичная защита железобетонных конструкций системами покрытий на основе органических составов

Рассмотрены актуальные вопросы повышения долговечности железобетонных конструкций, эксплуатируемых в средне- и сильноагрессивных средах, путем применения вторичной защиты на основе органических составов. Вторичная защита заключается в нанесении на поверхность бетона систем защитных покрытия, пропиточных композиций и других материалов, ограничивающих или исключающих воздействие агрессивной среды на железобетонные конструкции. В настоящее время разработаны Методические рекомендации по вторичной защите железобетонных конструкций с использованием систем покрытий на основе органических составов. Методические рекомендации разработаны в развитие положений СП 28.13330.2017 «СНиП 2.03.11–85 «Защита строительных конструкций от коррозии» в части вторичной защиты поверхностей железобетонных конструкций системами покрытий на основе анализа и обобщения теоретических и экспериментальных исследований, проведенных в НИИЖБ с учетом накопленного опыта их практического применения.

Ключевые слова: долговечность зданий и сооружений, вторичная защита бетонных конструкций от коррозии, системы антикоррозионных покрытий, критерии оценки, эксплуатация в агрессивных средах.

Для цитирования: Степанова В.Ф., Соколова С.Е., Полушкин А.Л. Вторичная защита железобетонных конструкций системами покрытий на основе органических составов // *Строительные материалы*. 2018. № 12. С. 66–70. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-766-12-66-70>

V.F. STEPANOVA, Doctor of Sciences (Engineering) (vstepanova@mail.ru),

S.E. SOKOLOVA, Engineer (sokolova-niizhb@mail.ru),

A.L. POLUCHKIN, Engineer (polushkin-niizhb@inbox.ru)

Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev (NIIZHB), JSC "Research Center of Construction" (6, 2nd Institutskaya Street, Moscow, 109428, Russian Federation)

Secondary Protection of Reinforced Concrete Structures with Coating Systems Based on Organic Compounds

The topical issues of improving the durability of reinforced concrete structures, operating in medium and highly aggressive environments, through the use of secondary protection on the basis of organic compounds are considered. Secondary protection is the application of protective coating systems, impregnating compositions and other materials that limit or exclude the impact of aggressive environment on reinforced concrete structures to the surface of concrete. Methodical recommendations was developed in the development of the provisions of SP 28.13330.2017 "SNiP 2.03.11–85" Protection of building structures against corrosion "in terms of the secondary protection of surfaces of reinforced concrete structures with coating systems on the basis of the analysis and generalization of theoretical and experimental studies conducted in NIIZHB with due regard for the accumulated experience of their practical application.

Keywords: durability of buildings and structures, secondary protection of concrete structures against corrosion, systems of anti-corrosion coatings, criteria of assessment, operation in aggressive environments.

For citation: Stepanova V.F., Sokolova S.E., Poluchkin A.L. Secondary protection of reinforced concrete structures with coating systems based on organic compounds. *Straitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 12, pp. 66–70. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-766-12-66-70> (In Russian).

Одним из перспективных методов повышения долговечности железобетонных конструкций, работающих в средне- и сильноагрессивных средах, является применение вторичной защиты. Вторичная защита железобетонных конструкций реализуется после изготовления (возведения) конструкций и выполняется при недостаточности мер первичной защиты.

Вторичная защита заключается в нанесении на поверхность бетона систем защитных покрытия, пропиточных композиций и других материалов, ограничивающих или исключающих воздействие агрессивной среды на конструкции. Защиту железобетонных конструкций предусматривают со стороны непосредственного воздействия на них агрессивной среды и назначают в зависимости от вида и степени ее агрессивности.

Основным критерием оценки вторичной защиты является обеспечение долговечности конструкций на весь расчетный срок эксплуатации с минимальными затратами на восстановительные работы.

При условии правильного выбора методов вторичной защиты долговечность конструкций может быть обеспечена, а межремонтные сроки увеличены в 2–3 раза [1].

В Российской Федерации защита от коррозии бетонных и железобетонных конструкций регламентируется в настоящее время СП 28.13330.2017 «Защита строительных конструкций от коррозии», СП 72.13330.2016 «Защита строительных конструкций и сооружений от коррозии», СП 229.1325800.2014 «Железобетонные конструкции подземных сооружений и коммуникаций. Защита от коррозии» и ГОСТ 31384–2017 «Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии. Общие технические требования».

В зарубежных нормативных документах антикоррозионная защита бетонных и железобетонных конструкций регламентируется Европейским стандартом в области защиты и ремонта сооружений от коррозии EN 1504 «Products and systems for the protection and repair of concrete structures. Definitions, requirements, quality control and evaluation of conformity (Part's: 1–10)» – «Продукты и системы для защиты и ремонта бетонных конструкций. Определения, требования, контроль качества и оценка соответствия».

В вышеуказанных отечественных нормативных документах представлены способы вторичной защиты,

представлены группы лакокрасочных материалов с указанием их стойкости в агрессивных средах, приведены виды лакокрасочных покрытий с использованием органических составов (тонкослойных, толстослойных, комбинированных, пропиточно-кольматирующих), указан основной тип действия и свойства покрытий в зависимости от типа пленкообразующего в системе. Однако после вступления в силу Федерального закона о «Техническом регулировании» и изменения подходов к разработке стандартов торговые марки составов и систем покрытий не нашли отражения в нормативных документах. Технические требования к вторичной защите в указанных документах не нормируются за исключением общей толщины систем покрытий и величины прочности сцепления покрытий с защищаемой поверхностью бетона. Свойства систем покрытий (химстойкость, трещиностойкость, проницаемость и т. д.) характеризуются лишь качественно, что затрудняет сравнение и взаимозаменяемость различных систем, особенно при разработке новых составов покрытий с равноценными или улучшенными свойствами.

Следует также иметь в виду, что за последние годы произошло многократное увеличение ассортимента и объемов производства отечественных лакокрасочных материалов на органической основе, применяемых на практике для вторичной защиты. Вместе с тем значительная часть рекомендуемых ранее действующими нормативными документами отечественных защитных составов на органической основе не производится или производится по другим нормативам, а строительные организации и предприятия зачастую используют материалы, не прошедшие должной проверки.

Требования к вторичной защите бетона устанавливаются также многочисленными отраслевыми документами и стандартами организаций (ЦНИИС, ВНИИЖТ, Газпром, Мосэнерго и др.), в которых подробно представлены системы покрытий на основе материалов отечественных и зарубежных производителей с указанием торговых марок составов. Эти документы носят обязательный характер лишь на отдельных предприятиях, их разрабатывающих.

Совершенно очевидно, что острая необходимость обновления рекомендательных документов в области вторичной защиты железобетонных конструкций назрела давно. Необходимо создание современной отечественной базы конкурентоспособных систем защитных покрытий на основе органических составов для вторичной защиты железобетонных конструкций, что позволит повысить долговечность зданий и сооружений в целом.

Специалистами лаборатории коррозии и долговечности бетонных и железобетонных конструкций НИИЖБ им. А.А. Гвоздева (подразделение АО «НИЦ «Строительство») разработаны «Методические рекомендации по вторичной защите железобетонных конструкций с использованием органических составов».

Методические рекомендации разработаны в развитии положений СП 28.13330.2017 «СНиП 2.03.11–85 «Защита строительных конструкций от коррозии» в части вторичной защиты поверхностей железобетонных конструкций системами покрытий на основе органических лакокрасочных составов, на основе анализа и обобщения теоретических и экспериментальных исследований покрытий, проведенных в последние годы с учетом накопленного опыта их практического применения.

Разработанные Методические рекомендации распространяются на вторичную защиту поверхностей железобетонных конструкций на объектах промышленного и гражданского строительства, на производство окрасочных работ в условиях заводов-производителей

железобетонных конструкций, а также на строительномонтажных площадках.

Рекомендации содержат требования к защищаемой поверхности; требования к материалам и к системам покрытий; требования к технологии их нанесения; требования к правилам приема и методам контроля систем покрытий, требования по технике безопасности и охране окружающей среды.

Меры вторичной защиты железобетонных конструкций назначают с учетом вида и особенностей защищаемой конструкции, ее назначения, технологии изготовления, возведения, условий эксплуатации, состояния поверхности, расположения арматуры, допустимости и ширины раскрытия трещин, вида и степени агрессивности среды, возможного способа нанесения и толщины системы покрытия, ориентировочного срока службы в эксплуатационных условиях.

Основными требованиями к системам покрытий на основе лакокрасочных органических составов, предназначенных для защиты железобетонных конструкций, являются: стойкость в среде эксплуатации и в окружающей среде; стойкость к щелочной среде бетона; повышенная адгезия к бетонной поверхности и сцепление между отдельными слоями системы; высокая водонепроницаемость; низкая проницаемость для углекислого газа (CO_2); отсутствие охрупчивания при низкой температуре; возможность возобновления ранее нанесенной системы; положительные результаты опытного нанесения покрытия на натурный фрагмент строительных конструкций; срок службы системы, соответствующий периоду между этапами мониторинга и межремонтному сроку.

Определяющим условием для получения покрытия требуемого качества является правильный выбор лакокрасочного материала. Но этого недостаточно. Необходима квалифицированная разработка системы покрытия и технологии его нанесения. В понятие системы входит совокупность подготовительных (грунтовочных и шпатлевочных) слоев с покрывными. Назначение грунтовочных слоев – обеспечить адгезионную связь между окрашиваемой бетонной поверхностью и последующими слоями системы. Покрывными слоями называют основную защитную пленку лакокрасочного материала определенной толщины, наносимую на подготовительные слои, обладающую к ним высокой адгезией и обеспечивающую защитные свойства всей системы покрытия. При составлении системы покрытия используют, как правило, лакокрасочные материалы с одним типом пленкообразующей основы.

Основными показателями качества систем покрытий на бетоне являются: водонепроницаемость, водопоглощение, диффузионная проницаемость, морозостойкость, адгезионная прочность сцепления с основанием, химическая стойкость, трещиностойкость, паропроницаемость, декоративность и другие свойства [2–4].

Значения показателей, характеризующих качество систем покрытий бетона, должны быть установлены в нормативных или технических документах на системы, а также в проектной документации на конкретные объекты и могут подвергаться проверочным испытаниям в аккредитованных лабораториях в соответствии с ГОСТ 31383–2008 «Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии. Методы испытаний».

При проведении комплексной оценки, для подтверждения свойств систем покрытий, определенных в технической документации, проводятся испытания по основным эксплуатационным свойствам.

Основной эффект защитного действия системы покрытия определяют при его оптимальной толщине, как правило, путем сопоставления показателей качества бетонов с системой покрытия и контрольного состава бетона (без защиты).

Показатели эксплуатационных свойств систем покрытий на бетоне

Показатель эксплуатационных свойств	Метод испытания	Требования
Внешний вид покрытия	ГОСТ 9.407.84	В соответствии с технической документацией на систему покрытия конкретной марки
Цвет покрытия	ГОСТ 29319–92	В соответствии с рекомендациями по цветовому решению, указанными в технической документации
Толщина покрытия	ГОСТ 31993–2013	В соответствии с технической документацией на систему покрытия конкретной марки
Адгезия покрытия на бетоне методом решетчатых надрезов, баллы, не более	ГОСТ 28574–2014	2
Адгезия покрытия на бетоне методом отрыва, МПа, не менее		1
Водонепроницаемость бетона с покрытием в сравнении с водонепроницаемостью бетона без покрытия	ГОСТ 31383–2008	Увеличение марки не менее чем на две ступени
Снижение диффузионной проницаемости для углекислого газа бетона с покрытием по сравнению с бетоном без покрытия, %, не менее		50
Морозостойкость покрытия на бетоне (число циклов замораживания-оттаивания) по сравнению с бетоном без покрытия	ГОСТ 31383–2008	Увеличение не менее чем на 100 циклов
Трещиностойкость покрытия на бетоне ¹ , мм, не менее		0,3
Сопrotивление паропрооницанию ² , м ² ·ч·Па/мг	ГОСТ 25898–2012	В соответствии с требованиями технической документации на систему покрытия

Примечания: ¹ Значение показателя «трещиностойкость» устанавливается при защите железобетонных конструкций, допускающих образование и раскрытие трещин в процессе эксплуатации. ² Сопrotивление паропрооницанию лакокрасочного покрытия, нанесенного на бетон, определяют как разность между сопротивлением паропрооницанию бетона с покрытием и сопротивлением паропрооницанию бетона.

Показатели эксплуатационных свойств систем покрытий на бетоне и методы их определения приведены в табл. 1.

К мерам вторичной защиты, рассматриваемым в разработанных Методических рекомендациях, относятся защита поверхностей железобетонных конструкций:

- лакокрасочными тонкослойными покрытиями;
- лакокрасочными толстослойными покрытиями;
- уплотняющей пропиткой материалами проникающего действия.

Все вышеперечисленные системы защиты в настоящее время являются наиболее перспективными и широко применяемыми в отечественной и зарубежной практике для вторичной защиты железобетонных конструкций [5, 6]. В Методических рекомендациях представлено более 60 различных систем защитных покрытий на основе органических составов отечественных и зарубежных производителей с указанием торговых марок лакокрасочных материалов. Далее рассмотрим некоторые из них.

Лакокрасочные химически стойкие тонкослойные покрытия (толщиной до 250 мкм), адгезионно связанные с поверхностью бетона, являются эффективным средством защиты конструкций, эксплуатируемых в средне- и высокоагрессивных газовоздушных средах. К ним относятся: каучуковые, кремнийорганические, перхлорвиниловые и поливинилхлоридные, полиакриловые, полисилоксановые, полиуретановые, сополимер-винилхлоридные, хлорсульфированные полиэтиленовые, эпоксидные, эпоксидно-каучуковые.

Лакокрасочные толстослойные покрытия, которые разрабатываются, как правило, на основе материалов с высоким сухим остатком, выполняют одновременно функции гидроизоляции и антикоррозионной защиты. Толстослойные покрытия надежно защищают поверхность бетона от воздействия различных агрессивных

сред, повышают сохранность арматуры в бетоне, стойкость бетона к воздействиям знакопеременных температур, предотвращают попадание влаги в тело бетона.

Уплотняющая пропитка поверхностного слоя бетона пропиточно-кольматирующих композиций на органической основе является эффективным методом защиты железобетонных конструкций, подвергающихся механическим нагрузкам [8, 9]. Метод заключается в заполнении пор бетона материалом, который снижает его проницаемость и придает поверхностному слою гидрофобные свойства. В высокоагрессивных средах применяют комбинированные системы, в которых поверх пропиточного слоя наносят полимерные эластичные покрытия, совместимые с данным подслоем [10].

Для защиты железобетонных конструкций, допускающих в процессе эксплуатации образование и раскрытие трещин на поверхности бетона, следует применять системы трещиностойких лакокрасочных покрытий. К числу этих покрытий, выдерживающих без разрушения ширину раскрытия трещины в бетоне не менее 0,3 мм, относятся: каучуковые, полиуретановые, полимочевинные, хлорсульфированные полиэтиленовые, эпоксидно-каучуковые. Особенно эффективно применение трещиностойких покрытий для защиты тонкостенных конструкций, подвергающихся при эксплуатации деформациям вследствие температурных перепадов или вибрации, в результате которых, как известно, обычные жесткие химически стойкие лакокрасочные покрытия (перхлорвиниловые, эпоксидные и др.) быстро разрушаются.

Среди систем трещиностойких покрытий следует выделить класс полиуретановых материалов. Полиуретаны – это высокомолекулярные полимерные соединения, полученные взаимодействием полигликолей или полиэфиров с диизоцианатами с образованием уретано-

Таблица 2

Результаты испытаний систем защиты Силор и Силор+УТК-М

Показатель, единица измерения	Обозначение НТД на испытание	Результаты испытаний		
		Бетон с покрытием		Бетон без покрытия
		Силор	Силор+УТК-М	
Адгезия покрытия к бетону, МПа	ГОСТ 28574–2014		2,5	–
Водонепроницаемость, МПа: – прямое давление – обратное давление	ГОСТ 31383–2008	W16 –	W18 W10	W4 –
Водопоглощение, %	ГОСТ 12730.3–78	0,8	0,6	4,5
Морозостойкость, циклы	ГОСТ 31383–2008	500	600	200
Трещиностойкость, мм	ГОСТ 31383–2008	–	0,7	–
Истираемость, г/см ²	ГОСТ 13087–81	–	0,04	0,86

Таблица 3

Результаты испытаний систем защиты Polimast

Показатель, единица измерения	Обозначение НТД на испытание	Результаты испытаний		
		Бетон с покрытием		Бетон без покрытия
		Polimast 1	Polimast 2	
Адгезия покрытия к бетону, МПа	ГОСТ 28574–2014	3,3	3,3	–
Водонепроницаемость, МПа: – прямое давление – обратное давление	ГОСТ 31383–2008	Не менее W18 W10	Не менее W18 W8	W4 –
Водопоглощение, %	ГОСТ 12730.3–78	0,2	0,2	4,1
Морозостойкость, циклы	ГОСТ 31383–2008	Не менее 800	Не менее 800	150
Трещиностойкость, мм	ГОСТ 31383–2008	1,3	0,4	–
Истираемость, г/см ²	ГОСТ 13087–81	0,04	0,05	0,89
Эффективный коэффициент диффузии CO ₂ , см ² /с	ГОСТ 31383–2008	0,27·10 ⁻⁶	0,43·10 ⁻⁶	3,42·10 ⁻⁴
Проницаемость хлорид-ионов, % от массы цемента	Методика НИИЖБ	Следы в поверхностном слое		> 0,45

вых, амидных, мочевиных и других функциональных групп, способных образовывать трехмерные шитые структуры. Свойства полиуретанов могут варьироваться в очень широких пределах и зависят от химической природы молекул, которые участвуют в реакции поликонденсации с полиизоцианатом. Полиуретановые материалы характеризуются быстрым набором твердости, а полиуретановые покрытия – хорошими декоративными и эксплуатационными свойствами (высокая деформативность, эластичность и трещиностойкость, высокая адгезия к бетону и сопротивление к истиранию).

Материалы на основе уретанов являются одним из наиболее быстрорастущих секторов лакокрасочной промышленности, которые широко и успешно применяются в промышленном и гражданском строительстве, в том числе для защитных покрытий [11–13]. Полиуретановые лакокрасочные материалы достаточно дороги, но если принять во внимание их долговечность (от 20 до 30 лет) и уникальные эксплуатационные свойства покрытий, то их применение экономически целесообразно.

В качестве примера оценки эффективности применения вторичной защиты на бетоне приведены результаты испытаний трещиностойких полиуретановых систем на основе органических составов, разработанных и выпускаемых отечественными производителями.

В табл. 2 и 3 приведены результаты испытаний пропиточной композиции, тонкослойных и толстослойных систем полиуретановых защитных покрытий под торговыми марками Силор и Polimast по основным показателям качества на бетоне по сравнению с незащищенным бетоном.

Применение систем покрытий на основе органических составов Силор и Силор+УТК-М на бетоне позволяет повысить морозостойкость и морозосолеустойкость бетона в 2,5–3 раза по сравнению с незащищенным бетоном, повысить величину водонепроницаемости бетона при прямом давлении воды на 6–7 ступеней (с W4 до W16–W18), значительно снизить водопоглощение бетона и обеспечить высокую адгезионную прочность сцепления системы покрытия с бетонным основанием (не менее 2,5 МПа). Показатель истираемости бетона с системой покрытия Силор+УТК-М составляет 0,04 г/см², т. е. значительно ниже показателя истираемости бетона (0,86 г/см²) без вторичной защиты, что позволяет применять систему покрытия для железобетонных конструкций, работающих в условиях повышенной интенсивности движения.

Рассмотренные системы Силор+УТК-М и Polimast на основе органических составов могут быть рекомендованы для защиты железобетонных конструкций, эксплуатируемых в условиях воздействия средне- и сильноагрессивных сред (в соответствии с СП 28.13330 и ГОСТ 31384), для гидроизоляции подземных сооружений (СП 229.1325800) во всех видах промышленного и гражданского строительства.

Таким образом, при правильном выборе способов вторичной защиты и систем покрытий на основе органических составов долговечность железобетонных конструкций может быть обеспечена и межремонтные сроки увеличены в 2–3 раза.

Выводы.

Разработанные Методические рекомендации по вторичной защите железобетонных конструкций с исполь-

зованием систем покрытий на основе органических лакокрасочных составов позволили создать базу современных конкурентоспособных антикоррозионных покрытий для защиты и продления сроков службы конструкций различного назначения, эксплуатируемых при воздействии агрессивных сред. Методические рекомендации могут быть использованы как при новом строительстве, так и при реконструкции действующих предприятий.

Методические рекомендации могут применяться при производстве работ по вторичной защите в условиях строительной площадки, а также на предприятиях и предназначены для использования широким кругом специалистов, чья деятельность связана с эксплуатацией зданий и сооружений различного назначения, в том числе для специалистов проектных организаций; организаций-разработчиков и поставщиков строительных материалов; государственных и других органов экспертизы и согласования; надзорных служб в области строительства.

Список литературы

1. Железобетон в XXI веке: Состояние и перспективы развития бетона и железобетона в России. М.: Готика, 2001. 684 с.
2. Степанова В.Ф., Соколова С.Е., Полушкин А.Л. Выбор критериев оценки и основных показателей качества антикоррозионных покрытий на бетоне // *Строительные материалы*. 2000. № 10. С. 12–13.
3. Соколова С.Е. Эффективные способы вторичной защиты железобетонных конструкций // *Бетон и железобетон*. 2013. № 1. С. 29–32.
4. Брок Т., Гротэклаус М., Мишке П. Европейское руководство по лакокрасочным покрытиям / Под ред. У. Цорлля. М.: Пэйн-Медиа, 2015. 548 с.
5. Овчинников И.Г., Ликверман А.И., Распоров О.Н., Иванов Е.С., Мезенов В.М., Овчинников И.И. Защита от коррозии металлических и железобетонных мостовых конструкций методом окрашивания. Саратов: Кубик, 2014. 504 с.
6. Ходаков А.Е., Точеный А.Е., Беляева С.В., Никонова О.Г., Пакрастиньш Л. Особенности применения российских и европейских стандартов в области ремонта и защиты бетонных конструкций от коррозии // *Строительство уникальных зданий и сооружений*. 2015. № 3 (30). С. 129–142.
7. Степанова В.Ф., Соколова С.Е., Полушкин А.Л. Эффективные системы покрытий для защиты бетонных и железобетонных конструкций от коррозии // *ДОРОГИ. Инновации в строительстве*. 2015. № 44. С. 70–73.
8. Лобковский В.П., Полинский Г.И., Евсеев И.В., Степанова В.Ф., Соколова С.Е., Полушкин А.Л. Кремнийорганическая композиция ВВМ-М для защиты строительных конструкций зданий и сооружений от атмосферных воздействий // *ЛакоКрасочная Промышленность*. 2011. № 4. С. 30–32.
9. Степанова В.Ф., Соколова С.Е., Полушкин А.Л. Эффективные способы вторичной защиты для повышения долговечности зданий и сооружений // *Вестник «НИЦ «Строительство»*. 2017. № 1 (12). С. 126–133.
10. Степанова В.Ф., Соколова С.Е., Королева Е.Н. Основа обеспечения долговечности зданий и сооружений в современном строительстве. *Сб. науч. тр. (к 60-летию института): «Наука строительному производству»*. М.: ОАО «НИИМосстрой», 2016. С. 26–37.
11. Meier-Westhues U. Polyurethanes: Coatings, Adhesives and Sealants. Vincentz Verlag. 2007. 548 p.
12. Figovsky O., Shapovalov L., Leykin A. et al. Advances in the field of nonisocyanate polyurethanes based on cyclic carbonates // *Chemistry & Chemical Technology*. 2013. Vol. 7. No. 1, pp. 79–87.
13. Delebecq E., Pascault J-P., Boutevin B., Ganachaud F. On the versatility of urethane/urea bonds: reversibility, blocked isocyanate, and nonisocyanate polyurethane // *Chemical Reviews*. 2013. Vol. 113, pp. 80–118. DOI: 10.1021/cr300195n

References

1. Zhelezobeton v 21 veke: Sostoyanie i perspektivy razvitiya betona i zhelezobetona v Rossii [Reinforced Concrete in the 21st Century: Condition and Prospects for the Development of Concrete and Reinforced Concrete in Russia]. Moscow: Gotica. 2001. 684 p.
2. Stepanova V.F., Sokolova S.E., Polushkin A.L. Selection of evaluation criteria and key quality indicators of anti-corrosive coatings on concrete. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2000. No. 10, pp. 12–13. (In Russian).
3. Sokolova S.E. Effective methods of secondary protection of reinforced concrete structures. *Beton i zhelezobeton*. 2013. No. 1, pp. 29–32. (In Russian).
4. Brock T., Grotaklaus M., Mischke P. Evropeyskoe rukovodstvo po lakokrasochnym pokrytiyam [European paint coatings manual. Edited by Zorlle U.]. Moscow: Paint-Media. 2015. 548 p.
5. Ovchinnikov I.G., Likvervan A.I., Rasporov O.N., Ivanov E.S., Mezenov V.M., Ovchinnikov I.I. Zashchita ot korrozii metallicheskih i zhelezobetonnykh mostovykh konstrukciy metodom okrashivaniya [Protection against corrosion of metal and reinforced concrete bridge structures by staining]. Saratov: Kubik. 2014. 504 p.
6. Khodakov A.E., Tochenyy M.V., Belyaeva S.V., Nikonova O.G., Pakrastinsh L. Features of using the Russian State Standards and the Eurocodes for the protection and repair of concrete structures. *Stroitel'stvo unikalnykh zdaniy i sooruzeniy*. 2015. No. 3 (30), pp. 129–142. (In Russian).
7. Stepanova V.F., Sokolova S.E., Polushkin A.L. Effective coating systems for protecting concrete and reinforced concrete structures from corrosion. *DOROGI. Innovacii v stroitel'stve*. 2015. No. 44, pp. 70–73. (In Russian).
8. Lobkovskiy V.P., Polinskiy G.I., Evseev I.V., Stepanova V.F., Sokolova S.E., Polushkin A.L. Siliconorganic composition VVM-M for the protection of building structures of buildings and structures against atmospheric influences. *LakoKrasochnaya Promyshlennost*. 2011. No. 4, pp. 30–32. (In Russian).
9. Stepanova V.F., Sokolova S.E., Polushkin A.L. Effective methods of secondary protection to improve the durability of buildings and structures. *Vestnik «NIC «Stroitel'stvo»*. 2017. No. 1 (12), pp. 126–133. (In Russian).
10. Stepanova V.F., Sokolova S.E., Koroleva E.N. The basis for ensuring the durability of buildings and structures in modern construction. *Collection of scientific works (to the 60th anniversary of the Institute): "Science of building production"*. Moscow. OAO «NIIMosstroy». 2013, pp. 26–37. (In Russian).
11. Meier-Westhues U. Polyurethanes: Coatings, Adhesives and Sealants. Vincentz Verlag. 2007. 548 p.
12. Figovsky O., Shapovalov L., Leykin A. et al. Advances in the field of nonisocyanate polyurethanes based on cyclic carbonates. *Chemistry & Chemical Technology*. 2013. Vol. 7. No. 1, pp. 79–87.
13. Delebecq E., Pascault J-P., Boutevin B., Ganachaud F. On the versatility of urethane/urea bonds: reversibility, blocked isocyanate, and nonisocyanate polyurethane. *Chemical Reviews*. 2013. Vol. 113, pp. 80–118. DOI: 10.1021/cr300195n

УДК 669.162.212

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-766-12-71-75>

С.В. ФЕДОСОВ¹, д-р техн. наук, академик РААСН, президент (president@ivgpu.com);
 А.М. ИБРАГИМОВ², д-р техн. наук (igasu_alex@mail.ru),
 Л.Ю. ГНЕДИНА², канд. техн. наук

¹ Ивановский государственный политехнический университет (153037, г. Иваново, ул. 8 Марта, 20)

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

Проектирование конструкции стенки доменной печи из эффективных материалов.

Часть 3. Математическая модель процесса теплопереноса

Данная работа является третьей частью цикла статей под общим названием «Проектирование конструкции стенки доменной печи из эффективных материалов». В части 1 с подзаголовком «Постановка задачи и предпосылки расчета» рассмотрены типовые многослойные ограждающие конструкции доменной печи. Приведено описание слоев, входящих в состав этих конструкций. Основное внимание уделено футеровочному слою. Кратко описан процесс выплавки чугуна и температурные режимы в характерных слоях внутренней среды печи. На основе теории А.В. Лыкова проанализированы исходные уравнения, описывающие взаимосвязанный перенос теплоты и массы в твердом теле применительно к поставленной задаче адекватного описания процессов с целью дальнейшего рационального проектирования многослойной ограждающей конструкции доменной печи. Априори ограждение с математической точки зрения рассматривается как неограниченная пластина. В части 2 с подзаголовком «Решение краевых задач теплопереноса» рассматриваются краевые задачи теплопереноса в отдельных слоях конструкции с различными граничными условиями, приводятся их решения, которые являются базовыми при разработке математической модели нестационарного процесса теплопереноса в многослойной ограждающей конструкции. В части 3 представлена математическая модель процесса теплопереноса в ограждении и алгоритм ее реализации. Предлагаемая математическая модель позволяет решить следующие задачи: оценить теплофизическое состояние проектируемых конструкций при различных режимах эксплуатации и, как следствие, рационально их запроектировать под конкретный режим или диапазон режимов; рассчитать поле температуры в сложных в конструктивном отношении многослойных конструкциях, например когда расположение слоев дискретно; при замере температуры в характерных точках (на стыках слоев и поверхностях конструкции) модель позволяет определить теплофизические характеристики материалов, составляющих обследуемую конструкцию; при лабораторных испытаниях позволяет существенно сократить время испытания, у исследователей появляется возможность не дожидаться установления регулярного режима; появляется возможность отказаться от климатической камеры и дорогостоящего приборного обеспечения экспериментов и исследований; при решении обратной задачи непосредственно определить сопротивление теплопередаче всей слоистой конструкции и отдельных ее слоев из неустановившегося температурного поля.

Ключевые слова: температурное поле, многослойные конструкции, математическая модель, теплоперенос.

Для цитирования: Федосов С.В., Ибрагимов А.М., Гнедина Л.Ю. Проектирование конструкции стенки доменной печи из эффективных материалов. Часть 3. Математическая модель процесса теплопереноса // *Строительные материалы*. 2018. № 12. С. 71–75.

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-766-12-71-75>

S.V. FEDOSOV¹ Doctor of Sciences (Engineering), Academician of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (RAACS), President (president@ivgpu.com); A.M. IBRAGIMOV², Doctor of Sciences (Engineering), (igasu_alex@mail.ru); L.Yu. GNEDINA², Candidate of Sciences (Engineering)

¹ Ivanovo State Polytechnic University (20, 8 Marta Street, Ivanovo, 153037, Russian Federation)

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

Design of the Blast Furnace Wall Structure Made of Efficient Materials.

Part 3. Mathematical Model of Heat Transfer Process

This work is the part 3 of a series of articles under the title "Design of the blast furnace wall made of effective materials." In the part 1 with the subtitle "Problem statement and calculation prerequisites" typical multilayer enclosing structures of the blast furnace are considered. A description of the layers that make up these structures is given. The main attention is paid to the lining layer. The process of cast iron smelting and temperature conditions in the characteristic layers of the internal environment of the furnace are briefly described. On the basis of the theory of A.V. Lykov, the initial equations describing the interrelated transfer of heat and mass in a solid body are analyzed in relation to the set problem – an adequate description of the processes for the further rational design of a multilayer enclosing structure of a blast furnace. A priori, enclosing is considered from a mathematical point of view as an unlimited plate. In the part 2 with the subtitle "Solution of boundary value problems of heat transfer" the boundary value problems of heat transfer in separate layers of the structure with different boundary conditions are considered, their solutions, which are basic when developing a mathematical model of the unsteady heat transfer process in a multilayer enclosing structure, are given. The part 3 presents a mathematical model of the heat transfer process in the enclosing structure and the algorithm for its implementation. The proposed mathematical model makes it possible to solve the following problems: to estimate the thermo-physical condition of the designed structures under different operating conditions and, as a result, to design them rationally for a specific mode or range of modes; calculate the temperature field in structurally complex multilayer structures, for example, when the arrangement of layers is discrete; when measuring the temperature at characteristic points (at the joints of layers and surfaces of the structure), it makes it possible to determine the thermal characteristics of the materials that make up the surveyed structure; in the course of laboratory tests can significantly reduce the test time, the researchers have the opportunity not to wait for the establishment of a regular regime; there is an opportunity to abandon the climate chamber and expensive instrumentation experiments and research; when solving the inverse problem, directly determine the resistance to heat transfer of the entire layered structure and its individual layers from an unsteady temperature field.

Keywords: temperature field, multilayer structures, mathematical model, heat transfer.

For citation: Fedosov S.V., Ibragimov A.M., Gnedina L.Yu. Design of the blast furnace wall structure made of efficient materials. Part 3. Mathematical model of heat transfer process. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 12, pp. 71–75. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-766-12-71-75> (In Russian).

Расчет температурных полей в многослойной конструкции с помощью аналитических решений (9), (23) и (32), полученных в [1], и их сопряжений на каждом временном интервале осуществляем следующим образом.

Для удобства восприятия приведем формулы из [1].
 Для задачи 1 (см. рис. 2 [1]).

Граничные условия:

$$t(\delta, \tau) = t_{\delta}. \quad (3)$$

Общее решение задачи в безразмерных переменных имеет вид [2]:

$$T(\bar{x}, Fo) = T_{\delta} \left(\frac{Bi \cdot \bar{x} + 1}{Bi + 1} \right) - 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{Bi \sin \mu_n (\bar{x} - 1)}{Bi + \cos^2 \mu_n} \exp(-\mu_n^2 Fo) \cdot \left[\int_0^1 T_0(\xi) \sin(\mu_n (1 - \xi)) d\xi - \frac{T_{\delta}}{\mu_n} \right], \quad (9)$$

где:

$$T(\bar{x}, Fo) = \frac{t(x, \tau) - t_{\delta}}{t_{\delta}}, \quad (10)$$

$$\bar{x} = x/\delta - \text{безразмерная координата}; \quad (11)$$

$$Fo = a\tau/\delta^2 - \text{критерий Фурье}; \quad (12)$$

$$Bi = \alpha_{\text{в}} \delta / \lambda - \text{критерий Био}; \quad (13)$$

$$\mu_n - \text{корни характеристического уравнения} \quad (14)$$

$$\mu_n = -Bi \operatorname{tg} \mu_n;$$

ξ – безразмерная текущая координата.

Примечание. Индекс (1), указывающий на принадлежность выкладок к первому слою, для простоты записи опущен.

Для задачи 2 (см. рис. 3 [1]).

Граничные условия:

$$-\lambda \frac{\partial t(0, \tau)}{\partial x} = q_2; \quad (17)$$

$$t(\delta, \tau) = t_{\delta}. \quad (18)$$

Общее решение задачи получено в [3] и имеет вид:

$$T(\bar{x}, Fo) = Ki \left[(1 - \bar{x}) - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{8 \cos(\mu_n \bar{x})}{\pi^2 n^2} \exp\left(-\frac{\pi^2 n^2}{4} Fo\right) \right] + \sum_{n=1}^{\infty} 2 \cos(\mu_n \bar{x}) \exp\left(-\frac{\pi^2 n^2}{4} Fo\right) \int_0^1 T_0(\xi) \cos(\mu_n \xi) d\xi. \quad (23)$$

Характеристическое уравнение: $\cos \mu_n = 0$.

Для задачи 3 (см. рис. 4 [1]).

Граничные условия:

$$-\lambda \frac{\partial t(0, \tau)}{\partial x} = q_3; \quad (26)$$

$$-\lambda \frac{\partial t(0, \tau)}{\partial x} = \alpha_{\text{н}} [t(\delta, \tau) - t_{\text{с}}]. \quad (27)$$

Общее решение задачи получено в [4] и имеет вид:

$$T(\bar{x}, Fo) = -Ki \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2Bi \cos(\mu_n \bar{x})}{\mu_n^2 (Bi + \sin^2 \mu_n)} \exp(-\mu_n^2 Fo) + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2Bi \cos(\mu_n \bar{x})}{\mu_n^2 (Bi + \sin^2 \mu_n)} \exp(-\mu_n^2 Fo) \int_0^1 T_0(\xi) \cos(\mu_n \xi) d\xi. \quad (32)$$

Характеристическое уравнение: $\mu_n = Bi \operatorname{ctg} \mu_n$.

Величина температурного градиента Γ_1 :

$$\frac{\partial T(\bar{x}, Fo)}{\partial \bar{x}} = T_{\delta} \left(\frac{Bi}{Bi + 1} \right) + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{Bi \mu_n \cos[\mu_n (1 - \bar{x})]}{Bi + \cos^2 \mu_n} \exp(-\mu_n^2 Fo) \cdot \left[\int_0^1 T_0(\xi) \sin(\mu_n (1 - \xi)) d\xi - \frac{T_{\delta}}{\mu_n} \right]. \quad (33)$$

Величина температурного градиента Γ_2 :

$$\frac{\partial T(\bar{x}, Fo)}{\partial \bar{x}} = -Ki + Ki \sum_{n=1}^{\infty} \frac{8 \mu_n \sin(\mu_n \bar{x})}{\pi^2 n^2} \exp\left(-\frac{\pi^2 n^2}{4} Fo\right) - \sum_{n=1}^{\infty} 2 \mu_n \sin(\mu_n \bar{x}) \exp\left(-\frac{\pi^2 n^2}{4} Fo\right) \int_0^1 T_0(\xi) \cos(\mu_n \xi) d\xi. \quad (34)$$

Величина температурного градиента Γ_3 :

$$\frac{\partial T(\bar{x}, Fo)}{\partial \bar{x}} = +Ki \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2Bi \mu_n \sin(\mu_n \bar{x})}{\mu_n^2 (Bi + \sin^2 \mu_n)} \exp(-\mu_n^2 Fo) - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2Bi \mu_n \sin(\mu_n \bar{x})}{\mu_n^2 (Bi + \sin^2 \mu_n)} \exp(-\mu_n^2 Fo) \int_0^1 T_0(\xi) \cos(\mu_n \xi) d\xi. \quad (35)$$

В начальный момент времени температура ограждающей конструкции имеет равномерное распределение и равна t_{δ} (рис. 1, а). По уравнению (9) рассчитывают поле температуры в первом слое конструкции для первого малого интервала времени (рис. 1, б). Далее определяют величину температурного градиента на границе II слоев 1 и 2 по выражению (33). В том случае, если градиент температуры (Γ_1) равен нулю, то по выражению (9) рассчитывают температурное поле в первом слое для следующего временного интервала (рис. 1, в). Если температурный градиент (Γ_1) отличен от нуля, то его величина закладывается в качестве граничного условия второго рода (17) в задаче 2. В этом случае величина теплового потока (q_2) и критерий Кирпичева (K_i) определяются путем умножения величины температурного градиента (Γ_1) на коэффициент теплопроводности первого слоя (λ_1). По выражению (23) рассчитывают поле температуры во втором слое (рис. 1, д). Полученное новое значение температуры второго слоя в месте контакта слоев 1 и 2 задается в качестве граничного условия первого рода (3) в задаче 1 [1]. С новым значением граничного условия (3) задачи 1 рассчитывают поле температуры в первом слое для следующего интервала времени и т.д., до момента, когда градиент (Γ_2), определяемый выражением (34), не станет отличен от нуля (рис. 1, е). Величина отличного от нуля градиента (Γ_2) закладывается в качестве граничного условия второго рода (26) в задаче 3. В этом случае величина теплового потока (q_3) и критерий K_i определяются путем умножения величины температурного градиента (Γ_2) на коэффициент теплопроводности второго слоя (λ_2). По выражению (32) рассчитывают поле температуры в третьем слое (рис. 1, ж). Полученное новое значение температуры третьего слоя на границе III в месте контакта слоев 2 и 3 задается в качестве граничного условия первого рода (18) в задаче 2. С новым значением граничного условия первого рода (18) в задаче 2 рассчитывается поле температуры во втором слое (рис. 1, и). Полученное новое значение температуры второго слоя в месте контакта слоев 1 и 2 задается в качестве граничного условия первого рода (3) в задаче 1. С новым значением граничного условия (3) задачи 1 рассчитывают поле температуры в первом слое для следующего интервала времени (рис. 5, к) и т.д., до момента, когда градиент (Γ_3), опре-

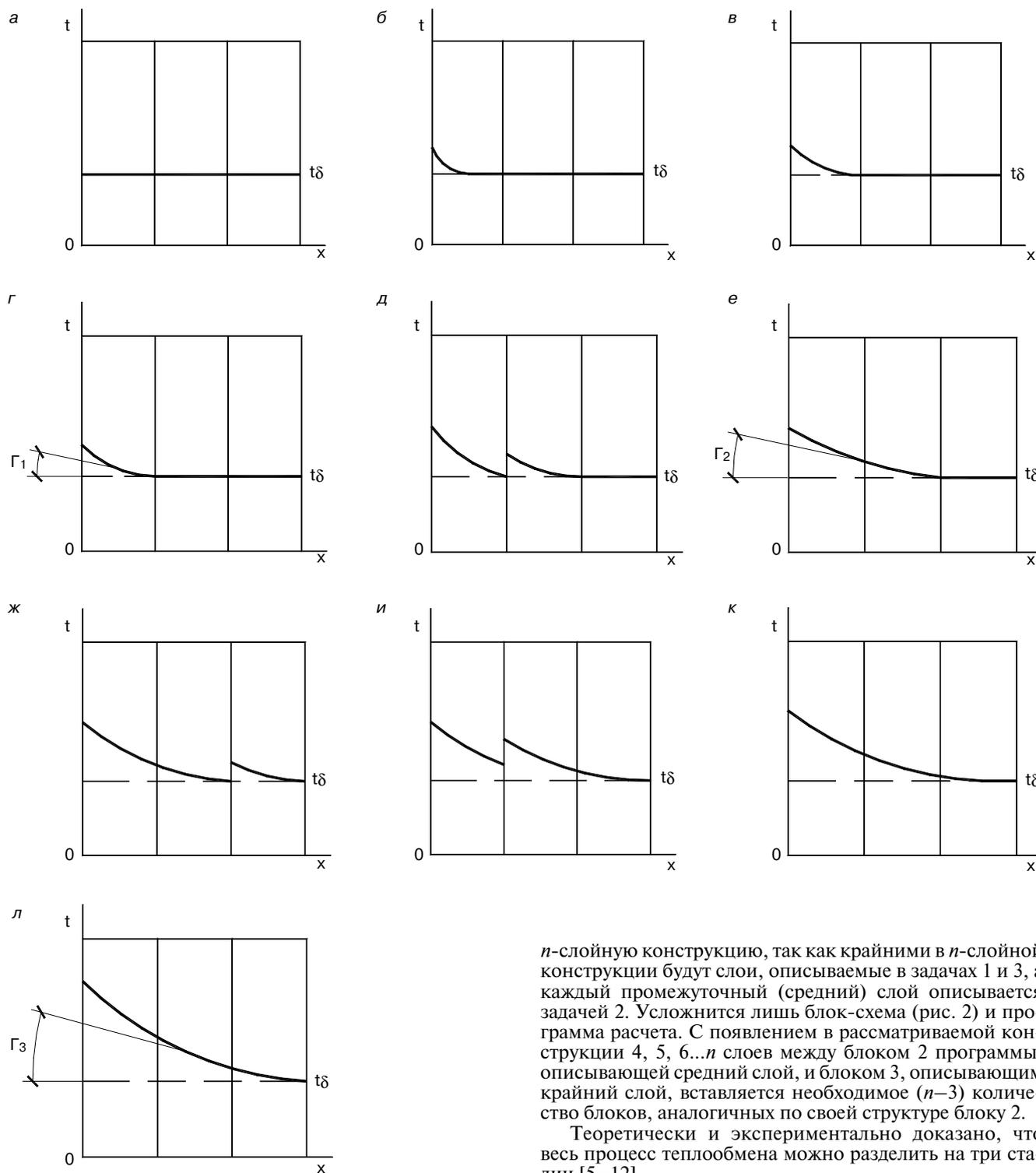


Рис. 1. Графическая иллюстрация методики расчета

деляемый выражением (35), не станет отличен от нуля (рис. 1, л). Тогда методом последовательных приближений рассчитывается момент, когда $t_{\delta 3} = t_n$; именно для этого момента в зависимости от поставленной задачи окончательно рассчитывают все параметры многослойной ограждающей конструкции.

Приведенный алгоритм разработан для трехслойной конструкции. В задачах 1 и 3 рассмотрены крайние (наружные) слои, в задаче 2 – средний слой [1]. Не составляет особого труда распространить этот алгоритм на

n -слойную конструкцию, так как крайними в n -слойной конструкции будут слои, описываемые в задачах 1 и 3, а каждый промежуточный (средний) слой описывается задачей 2. Усложнится лишь блок-схема (рис. 2) и программа расчета. С появлением в рассматриваемой конструкции 4, 5, 6... n слоев между блоком 2 программы, описывающей средний слой, и блоком 3, описывающим крайний слой, вставляется необходимое ($n-3$) количество блоков, аналогичных по своей структуре блоку 2.

Теоретически и экспериментально доказано, что весь процесс теплообмена можно разделить на три стадии [5–12].

Стадия 1. Нерегулярный режим. Тепловой режим неупорядочен и сильно зависит от начального распределения температуры. При стадии 1 необходимо исследовать ряды (9), (23) и (32) [2] при малых значениях F_0 , но именно эта стадия наиболее близко описывает реальные условия теплопередачи через ограждение, например колебания внешней температуры, запуск и остановка печи, режимы сезонной эксплуатации и т. д.

Стадия 2. Регулярный режим. Изменение температуры описывается первым членом рядов выражений (9), (23) и (32) [1] и не зависит от начального распределения температуры. Методы стадии 2 называют методами регулярного теплового режима, они заложены в методику

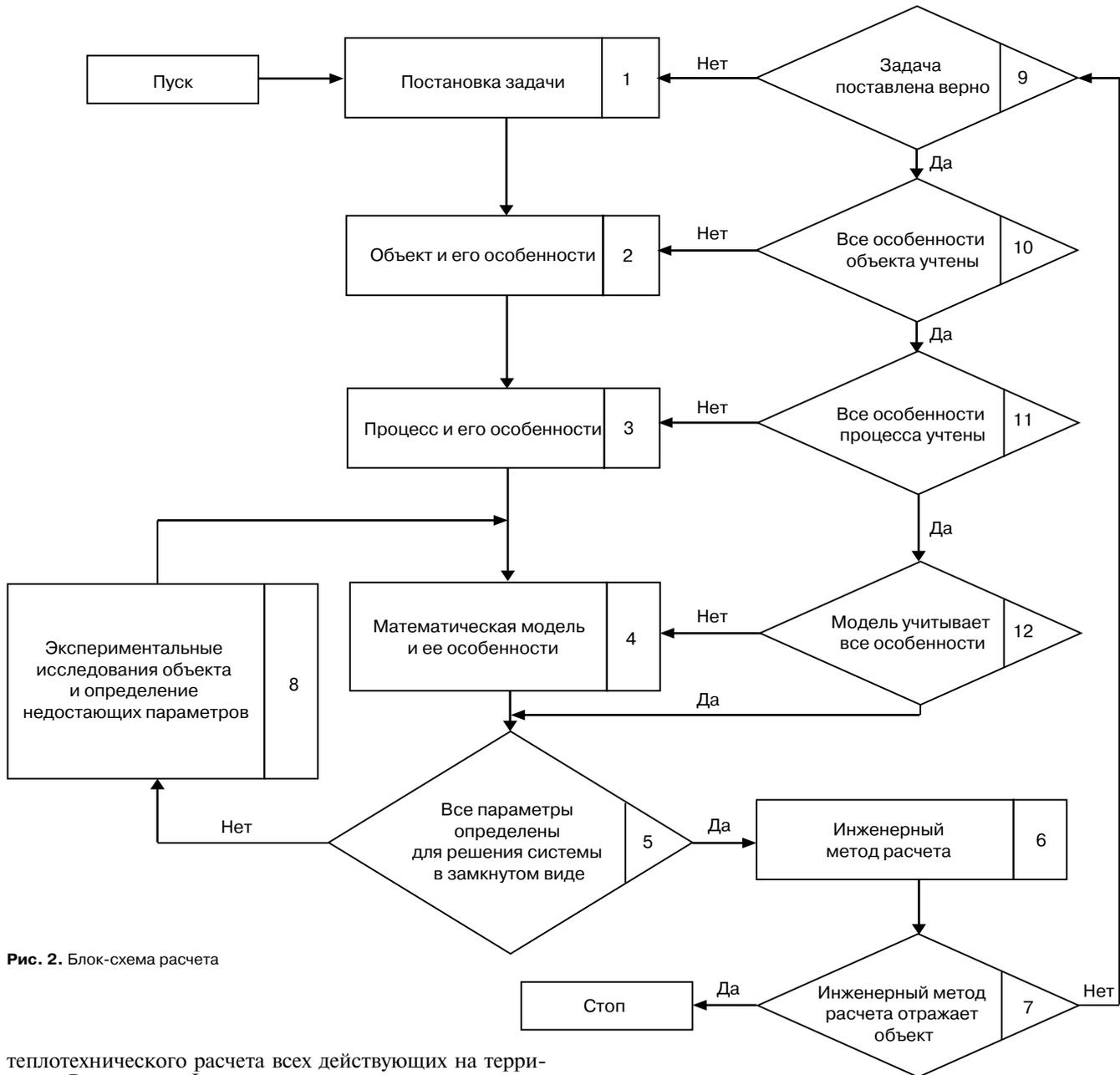


Рис. 2. Блок-схема расчета

теплотехнического расчета всех действующих на территории Российской Федерации нормативных документов.

Стадия 3. Температура всех точек тела одинакова и равна температуре окружающей среды.

С теоретической точки зрения одной из сторон анализа решений вида (9), (23) и (32) [2] является определение времени и последовательности наступления регулярного (рабочего) теплового режима, именно временной фактор является существенным при решении многих задач теплопередачи.

Предлагаемая математическая модель позволяет решить следующие задачи:

- оценить теплофизическое состояние проектируемых конструкций при различных режимах эксплуатации и, как следствие, рационально их запроектировать под конкретный режим или диапазон режимов;
- рассчитать поле температуры в сложных в конструктивном отношении многослойных конструкциях, например когда расположение слоев дискретно;
- при замере температуры в характерных точках (на стыках слоев и поверхностях конструкции) модель позволяет определить теплофизические характеристики материалов, составляющих обследуемую конструкцию;

- при лабораторных испытаниях позволяет существенно сократить время их проведения, у исследователей появляется возможность не дожидаться установления регулярного режима;

- появляется возможность отказаться от климатической камеры и дорогостоящего приборного обеспечения экспериментов и исследований;

- при решении обратной задачи непосредственно определить сопротивление теплопередаче всей слоистой конструкции и отдельных ее слоев из неустановившегося температурного поля.

Критериями достоверности разработанной методики расчета явились:

- тождественность решений, полученных по методике СП и по предлагаемой методике при $\tau = \infty$;
- отклонение расчетных данных от экспериментальных не превышает 14%;
- апробация методики при натурных исследованиях многослойной конструкции (ограждающей конструкции доменной печи) с последующим вскрытием тех мест кон-

струкции, в которых методика показала отсутствие утеплителя или снижение его теплотехнических свойств и, как следствие перегрев кожуха и неоправданные теплопотери.

Предлагаемая методика расчета реализована и позволяет моделировать во времени распределение температурного поля в толще ограждающей конструкции. Блок-схема программы расчета приведена на рис. 2.

Все вышеизложенное позволяет рекомендовать разработанную математическую модель теплопереноса

в многослойной ограждающей конструкции доменной печи к практическому применению.

Представление результатов счета в цифровом и графическом виде, а также возможность варьирования различных параметров задачи позволяют смоделировать практически любую ситуацию и провести ее всесторонний анализ. Достоверность полученных результатов зависит от адекватности математического моделирования кинетики процессов.

Список литературы

1. Ибрагимов А.М., Липенина А.В., Гнедина Л.Ю. Проектирование конструкции стенки доменной печи из эффективных материалов. Ч. 2. Решение краевых задач теплопереноса // *Строительные материалы*. 2018. № 5. С. 73–76. DOI: <https://doi.org/doi.org/10.31659/0585-430X-2018-759-5-73-76>
2. Лыков А.В., Михайлов Ю.А. Теория переноса энергии и вещества. Минск: Изд. АН БССР, 1959. 330 с.
3. Федосов С.В., Гнедина Л.Ю. Нестационарный теплоперенос в многослойной ограждающей конструкции. *Проблемы строительной теплофизики систем обеспечения микроклимата и энергосбережения в зданиях: Сборник докладов четвертой научно-практической конференции*. 27–29 апреля 1999. Москва. 1999. С. 343–348.
4. Федосов С.В., Ибрагимов А.М., Гнедина Л.Ю., Гущин А.В. Математическая модель нестационарного теплопереноса в многослойной ограждающей конструкции. *Доклады XII российско-польского семинара «Теоретические основы строительства»*. Варшава, 2003. С. 253–261.
5. Ибрагимов А.М., Липенина А.В. Проектирование конструкции стенки доменной печи из эффективных материалов. Ч. 1. Постановка задачи и предпосылки расчета // *Строительные материалы*. 2018. № 1–2. С. 70–74. DOI: <http://10.31659/0585-430X-2018-757-3-70-74>
6. Федосов С.В. Аналитическое описание тепло-влагопереноса в процессе сушки дисперсных материалов при наличии термодиффузии и внутреннего испарения влаги // *Журнал прикладной химии*. 1986. Т. 59. № 3. С. 2033–2038.
7. Федосов С.В., Кисельников В.Н. Тепло-влагоперенос в сферической частице при конвективной сушке во взвешенном состоянии // *Известия вузов. Химия и химическая технология*. 1985. Т. 28. № 2. С. 14–15.
8. Федосов С.В., Зайцев В.А., Шмелев А.Л. Расчет температурных полей в цилиндрическом реакторе с неравномерно распределенным источником теплоты. *Состояние и перспективы развития электротехнологии. Тезисы докладов всесоюзной научно-технической конференции*. Иваново, 1987. С. 28.
9. Федосов С.В., Кисельников В.Н., Шертаев Т.У. Применение методов теории теплопроводности для моделирования процессов конвективной сушки. Алма-Ата: Гылым, 1992. 168 с.
10. Чизильский Э. Вентилируемые конструкции наружных стен // *Жилищное строительство*. 1996. № 10. С. 25–27.
11. Шмелев А.Л., Федосов С.В., Зайцев В.А., Сокольский А.И., Кисельников В.Н. Моделирование нестационарного теплопереноса в реакторе гидролиза цианосодержащих полимеров. Ивановский химико-технологический институт. 1988. 10 с. Деп. в НИИТЭХИМ. № 1076-ХП88.
12. Шмелев А.Л. Непрерывный способ получения водорастворимых полимеров на основе полиакрилонитрила с высоким содержанием основного вещества. Дисс ... канд. техн. наук. Иваново, 1998.

References

1. Ibragimov A.M., Lipenina A.V., Gnedina L.Yu. Design of the blast furnace wall structure made of efficient materials. Part 2. Solution of boundary problems of heat transfer. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 5, pp. 73–76. DOI: <https://doi.org/doi.org/10.31659/0585-430X-2018-759-5-73-76> (In Russian).
2. Lykov A.V., Mikhailov Yu.A. Teoriya perenosa energii i veshchestva [The theory of energy and matter transfer]. Minsk: Publishing House Academy of Sciences of the BSSR. 1959. 330 p.
3. Fedosov S.V., Gnedina L.Yu. Non-stationary heat transfer in a multilayered enclosing structure. In the book. *Problems of building thermal physics systems for microclimate and energy saving in buildings: Collection of reports of the fourth scientific-practical conference*. April 27–29, 1999. Moscow: NIISF. 1999, pp. 343–348. (In Russian).
4. Fedosov S.V., Ibragimov A.M., Gnedina L.Yu., Gushchin A.V. Mathematical model of non-stationary heat transfer in a multilayered enclosing structure. *Reports of the XII Russian-Polish seminar "Theoretical bases of construction"*. Warsaw. 2003, pp. 253–261.
5. Ibragimov A.M., Lipenina A.V. Design of the blast furnace wall structure made of efficient materials. Part 1. Statement of a problem and calculation prerequisites. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 3, pp. 70–74. DOI: <http://10.31659/0585-430X-2018-757-3-70-74> (In Russian).
6. Fedosov S.V. Analytical description of heat and moisture transport in the process of drying dispersed materials in the presence of thermal diffusion and internal evaporation of moisture. *Zhurnal prikladnoi khimii*. 1986. Vol. 59. No. 3, pp. 2033–2038. (In Russian).
7. Fedosov S.V., Kisel'nikov V.N. Heat transfer in a spherical particle with convective drying in a suspended state. *Izvestiya vuzov. Khimiya i khimicheskaya tekhnologi*. 1985. Vol. 28. No. 2, pp. 14–15. (In Russian).
8. Fedosov S.V., Zaitsev V.A., Shmelev A.L. Calculation of temperature fields in a cylindrical reactor with a nonuniformly distributed source of heat. *The state and prospects of development of electrical technology. Abstracts of the All-Union Scientific and Technical Conference*. Ivanovo. 1987, p. 28. (In Russian).
9. Fedosov S.V., Kisel'nikov V.N., Shertaev T.U. Primenenie metodov teorii teploprovodnosti dlya modelirovaniya protsessov konvektivnoi sushki [Application of the methods of the theory of heat conduction for the modeling of convective drying processes]. Alma-Ata: Gylym. 1992. 168 p.
10. Chizil'skii E. Ventilated structures of external walls. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 1996. No. 10, pp. 25–27. (In Russian).
11. Shmelev A.L., Fedosov S.V., Zaitsev V.A., Sokolsky A.I., Kisel'nikov V.N. Simulation of non-stationary heat transfer in a reactor for the hydrolysis of cyanide-containing polymers. Ivanovo Institute of Chemical Technology. 1988. 10 p.
12. Shmelev A.L. Continuous method of obtaining water-soluble polyacrylonitrile-based polymers with a high content of the basic substance. Diss... Candidate of Sciences (Engineering). Ivanovo. 1998.

Н.В. ЛИЧМАН, канд. техн. наук (Lina777751@mail.ru)

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

190005, г. Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, 4

К вопросу о терминах «серное связующее» и «серное вяжущее» в серосодержащих композиционных материалах

Отмечается актуальная проблема произвольного использования в научной литературе терминов «серное связующее» и «серное вяжущее» в условиях роста научного и промышленного интереса ко вторичному продукту металлургии и нефтепереработки – технической сере. В качестве связующего в серных композиционных материалах серу используют не в чистом виде, а модифицируют химически активными добавками и наполнителями. Продукты этих двух видов модификации существенно отличаются по составу и свойствам, что логично отразить в терминологии и классификации. В статье предлагается вариант разграничения терминов на основе методов модификации серы с целью создания единой терминологии в научной и технической документации.

Ключевые слова: сера, связующее, вяжущее, серные композиты, терминология.

Для цитирования: Личман Н.В. К вопросу о терминах «серное связующее» и «серное вяжущее» в серосодержащих композиционных материалах // *Строительные материалы*. 2018. № 12. С. 76–80. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-766-12-76-80>

N.V. LICHMAN, Candidate of Sciences (Engineering)

Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (4, 2-ya Krasnoarmeiskaya Street, St. Petersburg, 190005, Russian Federation)

To the Issue of Using the Terms “Sulfur as Bonding Agent” and “Sulfur as Binding Agent” in Sulfur Composites

The article highlights the problem associated with an arbitrary use of the terms “bonding agent” and “binding agent” applied in regard of sulfur in conditions of increasing interest, both in science and in industry, to technical sulfur, a byproduct of metallurgy and oil refining. As a bonding agent, sulfur is not used in its native pure forms, it is modified with chemically active additives and fillers. The products of these two modification types differ significantly in the composition and properties. This should be reflected by means of corresponding terminology and classification. In order to create a unified terminology in scientific and technical documentation, the article offers a variant of these terms' differentiation on the basis of sulfur modification methods.

Keywords: sulfur, bonding agent, binding agent, sulfur composites, terminology.

For citation: Lichman N.V. To the issue of using the terms “sulfur as bonding agent” and “sulfur as binding agent” in sulfur composites // *Stroitel'nyye Materialy* [Construction Materials]. 2018. № 12, pp. 76–80. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-766-12-76-80>.

В поисках новых, более дешевых и доступных для строительства связующих и пропиточных материалов многие исследователи обращают внимание на использование расплава серы. Серные композиционные материалы (СКМ), общим компонентом которых является сера, получают все большее распространение в строительной индустрии России [1–8]. Тому есть ряд объективных причин, главной из которых следует признать растущий дисбаланс производства-потребления серы. К субъективным причинам относятся особенности серы как термопластичного связующего: ее расплав быстро твердеет при охлаждении, надежно связывая заполнители; обладает хорошей адгезией к заполнителям бетона и арматуре; механической прочностью; низкой вязкостью; низкой химической активностью; гидрофобностью, высокой химической стойкостью к ряду агрессивных сред, наконец, доступностью. Недостатки — термусадка и хрупкость — минимизируются температурной, химической и механической модификацией. Поэтому в современной стройиндустрии сера используется не в чистом виде, а в модифицированном.

Разработка бетонов на модифицированной сере потребовала создания соответствующей терминологии и логической классификации. Принимая за основу общепринятую классификацию полимербетонов, предложенную профессором В.В. Патуровым [9], Ю.И. Орловский и А.Н. Волгушев предложили к ней классификацию серных бетонов, по которой эти материалы были отнесены к группе бетонов на неорганических полимерах, и дополнили ее рядом новых терминов. Однако исследователям не удалось провести четкого разграничения понятий **серное связующее** и **серное вяжущее**.

У каждого из ведущих специалистов в области серных композитов в разных работах, а иногда и в одной и той же работе на разных страницах (см. таблицу) имеет место произвольное употребление терминов «связующее» и «вяжущее» по отношению к сере и ее модификациям, что вносит определенную путаницу для технологов и начинающих исследователей.

Тот факт, что вяжущие материалы с наполнителем и без него существенно различаются по свойствам, не вызывает сомнений, как и то, что такое различие должно быть закреплено терминологически во избежание путаницы. Терминов здесь множество кроме «вяжущее» и «связующее»: «связка», «адгезив», «клей», «мастика», даже слово «цемент» в переводной литературе зачастую имеет не точное, а нарицательное значение. Технологом, занятым в промышленности строительных материалов (как в производстве последних, так и при их использовании), привычнее употреблять термин «вяжущее» применительно к неорганическим веществам; в то же время технологом-органикам, работающим со стройматериалами, и в частности с лаками, красками и композитами, чаще приходится оперировать термином «связующее». Отсутствие четкого теоретического единообразия породило ложные стереотипы, что подтверждает практика строительных форумов, а также частные беседы со специалистами.

Эти разночтения могут быть оправданы следующим утверждением А.Н. Бобрышева, приведенным в работе «Физика и синергетика дисперсно-неупорядоченных конденсированных композитных систем»: «...термины **вяжущее** и **связующее**, в сущности, отражают одно и то же свойство матричного материала и могут использо-

Использование терминов «связующее» и «вяжущее» для технической серы

Автор, источник	Сера — связующее	Сера — вяжущее
Орловский Юрий Игоревич		
Ю.И. Орловский, Л.Е. Труш, Е.В. Юрьева. Исследование свойств модифицированных серных вяжущих // <i>Известия вузов: Строительство и архитектура</i> . 1985. № 4. С. 66–69	—	«Термопластичное связующее на основе серы получают сплавлением серы с тонкодисперсными наполнителями...» (Т. е. здесь сера выступает в роли вяжущего . – Авт.) С. 66.
Ю.И. Орловский. Технология изготовления и свойства серного бетона // <i>Известия вузов: Строительство и архитектура</i> . 1986. № 12. С. 51–53.	—	«Основные предпосылки к использованию серы в качестве вяжущего : свойство расплавленной серы быстро твердеть при охлаждении, надежно связывая заполнители» (с. 51.)
Ю.И. Орловский. Бетоны, модифицированные серой: Автореф. дис. ... техн. наук. Харьков, 1992	«Анализируя свойства твердой серы и ее расплава , можно сделать вывод, что... она может успешно использоваться в качестве термопластичного связующего ». С. 12–13	—
Ю.И. Орловский. Особенности технологии производства полимерсеробетонов и изделий на их основе // <i>Бетон и железобетон</i> . 1993. № 4. С. 27–29	«Основной недостаток серы как термопластичного связующего заключается в высокой хрупкости...». С. 27.	—
Волгушев Алексей Николаевич		
А.Н. Волгушев, Н.Ф. Шестеркина, В.А. Елфимов. Применение серы и ССО в технологии производства строительных конструкций и изделий // <i>Строительные материалы</i> . 1990. № 10. С. 21–23	« Связующим в СБ является сера». С. 21.	И тут же на стр. 21 далее: «...для производства СБ в качестве вяжущего могут быть использованы кроме серы ССО ...»
В.А. Елфимов, А.Н. Волгушев. Подбор составов серных бетонов // <i>Строительные материалы</i> . 1991. № 10. С. 28–29	«Прочностные свойства затвердевшего бетона (полимербетона) обуславливаются составом мастики, т. е. водоцементным отношением В/Ц для бетона и отношением СВ:Н для полимербетона (где СВ и Н – содержания связующего и мелкодисперсного наполнителя в полимербетоне)». С. 28.	—
А.Н. Волгушев, Н.Ф. Шестеркина. Производство и применение серных бетонов // <i>Обзорная информация. Материально-техническое снабжение. Сер. 1. Экономия и рациональное использование сырьевых, топливно-энергетических и других материальных ресурсов</i> . М.: ЦНИИТЭИСКМ, 1991. Вып. 3. 51 с.	«В состав серных бетонов входят связующие , минеральные заполнители и наполнители, модифицирующие добавки. Связующим для серных бетонов является техническая сера, или серосодержащие отходы ». (обозначать одним термином серу и ССО, имеющие очень разный состав (серы в них бывает меньше 10%), нельзя. – Авт.) С. 3.	—
А.Н. Волгушев. Серное вяжущее и композиции на его основе // <i>Бетон и железобетон</i> . 1997. № 5. С. 46–48	«Исследованиями НИИЖБ показано, что из серы можно получать вяжущее путем модификации ее минеральным порошком и в некоторых случаях химическими добавками. Серное вяжущее можно использовать вместо цемента для получения бесцементных композиций». (значит, сера здесь – связующее. – Авт.) С. 46.	—
А.Н. Волгушев. Новое поколение бесцементных бетонов на основе термопластичного серного вяжущего // <i>Технологии бетонов</i> . 2009. № 2 (31). С. 28–30	А.Н. Волгушев вводит новую аббревиатуру ТПСВ – термопластичное серное вяжущее: «Термопластичное серное вяжущее (ТПСВ) получают из технической серы, модификатора и минерального мелкодисперсного наполнителя путем их совмещения». (значит, сера здесь – связующее. – Авт.) С. 29.	—

Порфирьева Резида Тимерхановна		
Р.Т. Порфирьева, А.А. Юсупова, Т.Г. Ахметов. Технология и структурообразование в серных композициях // <i>Вестник Казанского технологического университета</i> . 2003. № 1. С. 59–65	«Для количественной оценки влияния природы взаимодействия в контакте «наполнитель – связующее» необходимо располагать зависимостями свойств связующего от энергетических свойств поверхности наполнителя применительно к конкретным вяжущим веществам». (значит, сера здесь – <i>связующее</i> . – Авт.) С. 60.	«Как известно, повышение физико-механических свойств композиционных материалов обусловлено образованием новых дополнительных химических связей между молекулами самого вяжущего и наполнителя ». (а здесь сера уже <i>вяжущее</i> . – Авт.) С. 62.
Примечания. 1. В таблице не приводятся выдержки из работ последних лет. 2. Полушириное начертание принадлежит автору.		

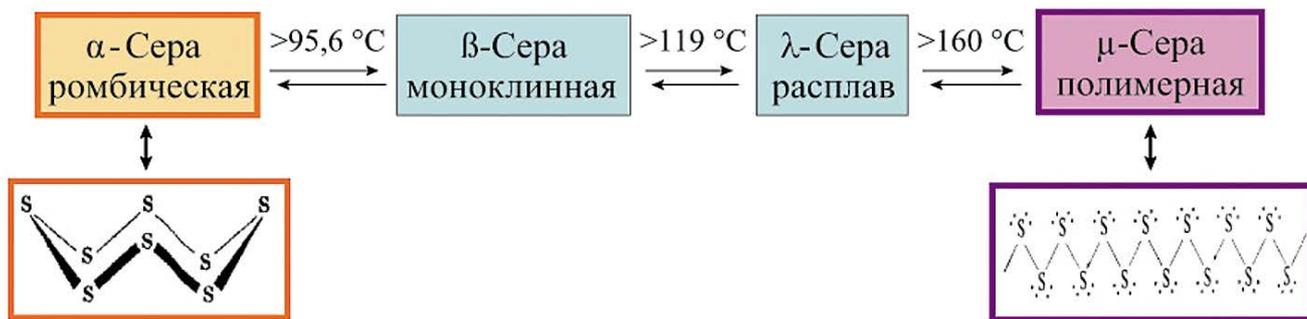


Рис. 1. Основные температурные модификации серы, важные для производства серных композитов

ваться наравне» [10]. Однако следует признать, что употребление терминологических синонимов в пределах одной научной работы, а то и одного абзаца (см. таблицу) нежелательно. Поэтому есть смысл определиться с терминологией и классификацией.

Автором настоящей статьи сделана попытка логически разделить эти понятия и предложить единую терминологию, в основу которой заложены способы модификации серы, важные для разработки технологических приемов производства серных композитов и технической документации. Достижение обозначенной цели актуально сейчас, когда в РФ после многочисленных успешных научных разработок признали серные композиционные материалы перспективными.

Различают три способа модификации серы: температурный (энантиотропные переходы модификаций серы при изменении температуры), химический (введение пластификаторов и стабилизаторов) и механический (введение структурообразующих наполнителей). Согласно структурному подходу, каждая из составляющих, в зависимости от ее вида и количественного соотношения в составе, определяет свойства композиции в целом.

Температурная модификация серы. Разнообразие свойств серы обусловлено присущим ей полиморфизмом: на определенных этапах нагревания расплав серы имеет различный состав — так называемые температурные модификации. Поэтому продукты охлаждения расплава и их свойства напрямую зависят от температурно-временной предыстории.

При производстве СКМ в пределах технологического температурного режима важными аллотропными модификациями серы являются ее α -, β - и μ -разновидности (рис. 1). При 120–159°C расплавленная сера состоит преимущественно из аморфной серы S_λ , вязкость которой, как и у обычных жидкостей, падает с ростом температуры, достигая минимума при 155°C.

Однако следует учитывать, что все температурные модификации при охлаждении расплава со временем переходят в устойчивую α -модификацию (S_α). Поэтому продукты температурных модификаций серы не стоит

разделять на отдельные классификационные пункты — это *серное связующее (СС)*.

Химическая модификация серы. Чтобы стабилизировать нужные температурные модификации серы во времени, придать ей улучшенные технологические или эксплуатационные свойства, используют малые количества определенных химических добавок. В частности, ими стабилизируют полимерную модификацию серы, которая улучшает физико-механические характеристики и химическую стойкость серных композитов.

В результате температурной и химической модификаций преобладающим компонентом в массовом соотношении серы: химическая добавка остается сера. Такие модификации называют модификациями I рода. Тогда по аналогии с полимербетонами, где роль связующего выполняют сами полимеры, логично серу и ее температурные модификации, стабилизированные химически, тоже считать связующим в серных композитах. То есть в результате модификаций I рода получают устойчивое во времени *серное модифицированное связующее (СМС)*.

Механическая модификация серы. Затвердевший расплав серы не обладает достаточной прочностью. В связи с этим основой технологии получения качественных и долговечных композитов на основе серного связующего является так называемое модифицирование II рода, или механическое модифицирование серы минеральным порошком.

Из работ А.Н. Бобрышева и Ю.С. Кузнецова [10] следует, что композиционные материалы содержат по меньшей мере два обязательных компонента: матричный материал (ММ) на основе неорганических вяжущих или органических связующих (ими могут быть разновидности серы — продукты модификаций I рода) и частицы дисперсного наполнителя, хаотически распределенные по объему матричного материала.

Поэтому логично полагать, что матричным материалом в серных композитах будет расплав серы (серное связующее), т. е. продукты его температурной и химической модификаций (серное модифицированное связующее). Совмещением ММ и дисперсного наполнителя (механическим модифицированием) существенно из-

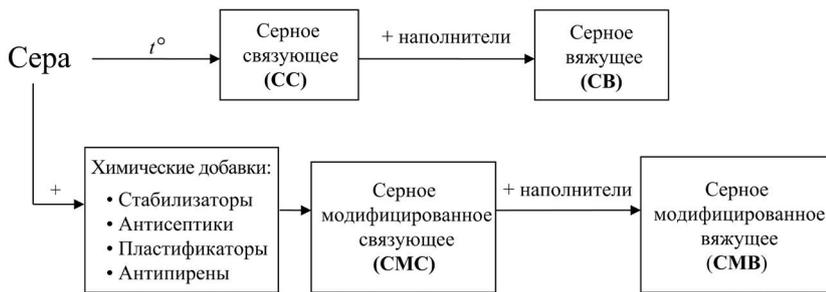


Рис. 2. Классификация серных связующих и вяжущих по методам модификации серы

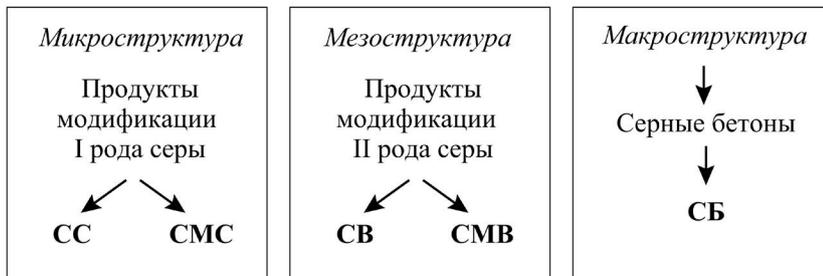


Рис. 3. Микро-, мезо- и макроструктура серных композитов



Рис. 4. Области применения серных композитов разных структурных уровней

меняют состав, снижая в нем содержание серы вдвое и более. При этом получается совершенно новый композиционный материал с другими физико-механическими и химическими свойствами, который и используют в качестве вяжущего материала вместо цементного, гипсового и прочих видов вяжущих. Поэтому логично серу, механически модифицированную наполнителями (продукт модификации II рода), точнее, получаемый на ее основе композиционный материал, называть *серным вяжущим (СВ)*. Тогда серное вяжущее, модифицированное химическими добавками, будет считаться *серным модифицированным вяжущим (СМВ)* (рис. 2).

Согласно полиструктурной теории, композиционные строительные материалы представляются составленными из многих структур (от атомных и молекуляр-

ных до грубых макроструктур в объеме всего изделия), переходящих одна в другую по принципу «структура в структуре» [11, 12]. Тогда, согласно предлагаемой терминологии, при исследованиях закономерностей структурообразования на каждом уровне и практической технологии для серных композитов достаточно выделить микро-, мезо- и макроструктуру (рис. 3) [13]:

- микроструктура — сера, серное связующее;
- мезоструктура — сера с наполнителями, серное вяжущее (серная мастика);
- макроструктура — серное вяжущее с наполнителями (серный бетон).

В серных композитах для каждого структурного уровня устанавливаются показатели качества, по которым проводится оптимизация. При этом продукты каждого структурного уровня являются самодостаточными композиционными материалами со своими областями применения (рис. 4).

При переходе на следующий структурный уровень (к новому материалу) оптимизированные рецептура и технология предыдущего уровня уточняются [13].

Учитывая термопластичность и гидрофобность всех видов серных композитов (от связующих до бетонов), из них можно готовить сухие строительные смеси, которые удобно транспортировать на дальние расстояния. В том числе и поэтому каждый такой товарный продукт должен иметь закрепленную за ним терминологию во избежание путаницы.

Предложенная в статье терминология касается серных композитов на основе чистой и технической серы, где преобладающим компонентом является сера. Сложнее обстоит дело с серосодержащими отходами (ССО), со значительным содержанием минеральных примесей различных фракций. ССО могут сильно отличаться по количеству серы (от 7 до 70% и более), а в минеральной части — еще и по химическому и гранулометрическому составу (мастичные, растворные и бетонные). При производстве серных композитов ССО подвергаются обязательной корректировке состава и часто — фракционированию или размолу. Т. е. они являются полуфабрикатом, а не товарным продуктом. Поэтому терминология и классификация ССО и серных композитов на их основе — это отдельный вопрос, требующий обсуждения.

Список литературы

1. Середин Б.Н., Страхова Н.А., Эльмурзаев А.А., Кортювенко Л.П. Производство и использование модифицированной серы в композиционных материалах // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер. Строительство и архитектура*. 2016. Вып. 45 (64). С. 67–75.
2. Нагибин Г.Е., Личман Н.В., Федорова Е.Н., Добросмыслов С.С., Личман Я.В. Применение серы и серных вяжущих для создания защитного поверхностного слоя хвостохранилищ для снижения их пыления // *Экология и промышленность России*. 2014. № 2. С. 22–26.
3. Королев Е.В., Баженов Ю.М., Альбакасов А.И. Радиационно-защитные и химически стойкие серные строительные материалы. Оренбург: ИПКОГУ, 2010. 364 с.

References

1. Seredin B.N., Strakhova N.A., Ehl'murzaev A.A., Kortovenko L.P. Production and usage of modified sulfur in composite materials. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Ser.: Stroitel'stvo i arkhitektura*. 2016. No. 45 (64), pp. 67–75. (In Russian).
2. Nagibin G.E., Lichman N.V., Fyodorova E.N., Dobrosmyslov S.S., Lichman Ya.V. The use of sulfur and sulfur binding materials for creating a protective surface layer of tailing facilities to reduce dusting. *Ehkologiya i promyshlennost' Rossii*. 2014. No. 2, pp. 22–26. (In Russian).
3. Korolyov E.V., Bazhenov Yu.M., Al'bakasov A.I. Radiatsionno-zashchitnye i khimicheski stoykie sernyestroitel'nye materialy [Radiation-protective and chemical-resistant sulfur-based construction materials]. Orenburg: IPK OGU, 2010. 364 p.

4. Галдина В.Д. Серобитумные вяжущие. Омск: СибАДИ, 2011. 124 с.
5. Дошлов О.И., Калапов И.А. Новые дорожные битумы на основе органического вяжущего, модифицированного технической серой и полимерными добавками // *Вестник Иркутского государственного технического университета*. 2015. № 11 (106). С. 107–111.
6. Нагибин Г.Е., Добросмыслов С.С., Задов В.Е., Суходоева Н.В., Федорова Е.Н., Личман Н.В. Поведение серных вяжущих и композиций на их основе при различных температурах // *Известия КГАСУ*. 2013. № 4 (26). С. 245–251.
7. Пухаренко Ю.В., Личман Н.В., Староверов В.Д., Черевко С.А. Некоторые особенности подбора состава серобетона // *Вестник гражданских инженеров*. 2014. № 2 (43). С. 97–102.
8. Гладких В.А., Королев Е.В. Технико-экономическая эффективность применения сероасфальтобетонов // *Вестник МГСУ*. 2013. № 4. С. 76–83.
9. Патуроев В.В. Полимербетоны. М.: Стройиздат, 1987. 286 с.
10. Бобрышев А.Н., Ерофеев В.Т., Козомазов В.Н. Физика и синергетика дисперсно-неупорядоченных конденсированных композитных систем. СПб.: Наука, 2012. 476 с.
11. Соломатов В.И. Развитие полиструктурной теории композиционных строительных материалов // *Материалы юбилейной конференции*. М.: МИИТ, 2001. С. 56–66.
12. Бобрышев А.Н., Козомазов В.Н., Бабин Л.О., Соломатов В.И. Синергетика композиционных материалов. Липецк: НПО «Ориус», 1994. 151 с.
13. Королев Е.В., Болтышев С.А. Серные композиты специального назначения. Пенза: Пенз. гос. ун-т архит. и стр.-ва, 2008. 212 с.
4. Galdina V.D. Serobitumnye vyazhushchie [Sulfur bitumen binders]. Omsk: SibADI. 2011. 124 p.
5. Doshlov O.I., Kalapov I.A. New road bitumen on the basis of organic binders modified by technical sulfur and polymer additives. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2015. No. 11 (106), pp. 107–111. (In Russian).
6. Nagibin G.E., Dobrosmyslov S.S., Zadvov V.E., Sukhoedova N.V., Fyodorova E.N., Lichman N.V. The behavior of sulfur-based mortars and sulfur concretes at different temperatures. *Izvestiya KGASU*. 2013. No. 4 (26), pp. 245–251. (In Russian).
7. Pukharenko Yu.V., Lichman N.V., Staroverov V.D., Cherevko S.A. Some features of selecting sulfur concrete composition. *Vestnik Grazhdanskikh Inzhenerov*. 2014. No. 2 (43), pp. 97–102. (In Russian).
8. Gladkikh V.A., Korolyov E.V. Technical and economic efficiency of using sulfur asphalt concrete. *Vestnik MGSU*. 2013. No. 4, pp. 76–83. (In Russian).
9. Paturiov V.V. Polimerbetony [Polymer concrete]. Moscow: Stroyizdat, 1987. 286 p.
10. Bobryshev A.N., Erofeev V.T., Kozomazov V.N. Fizika i sinergetika dispersno-neuporyadochennykh kondensirovannykh kompozitnykh sistem [Physics and synergy of depressively disordered condensed composite materials]. St. Petersburg: Nauka. 2012. 476 p.
11. Solomatov V.I. Development of poly-structural theory of composite building materials. *Materials of the Jubilee conference*. Moscow: MIIT. 2001, pp. 56–66. (In Russian).
12. Bobryshev A.N., Kozomazov V.N., Babin L.O., Solomatov V.I. Sinergetika kompozitsionnykh materialov [Synergy of composite materials]. Lipetsk: Orius, 1994. 151 p.
13. Korolyov E.V., Boltyshev S.A. Sernye kompozity spetsial'nogo naznacheniya [Sulfur composites of special purpose]. Penza: Penza State University of Architecture and Civil Engineering Publ., 2008. 212 p.

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!



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



**Reliable Platform of
Over 30 Years' Great Influence!**

**June 18th~21st, 2019
Canton Fair Complex, Guangzhou**

Sponsored by: China Ceramic Industrial Association

Organized by: Unifair Exhibition Service Co., Ltd.

Co-Sponsors: China Building Materials Federation, China Building Ceramics & Sanitaryware Association,
CCPIT Building Materials Sub-Council



UNIFAIR
EXHIBITION SERVICE

Tel: 0086 - 20 - 8327 6369 / 6389

Email: ceramicschina@unifair.com

Facebook: @Ceramics China Twitter: @ceramics_china

Web: www.ceramicschina.com.cn