

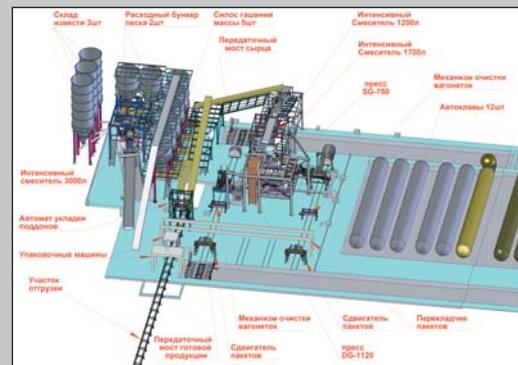
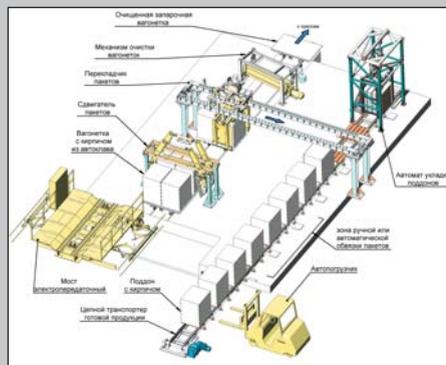
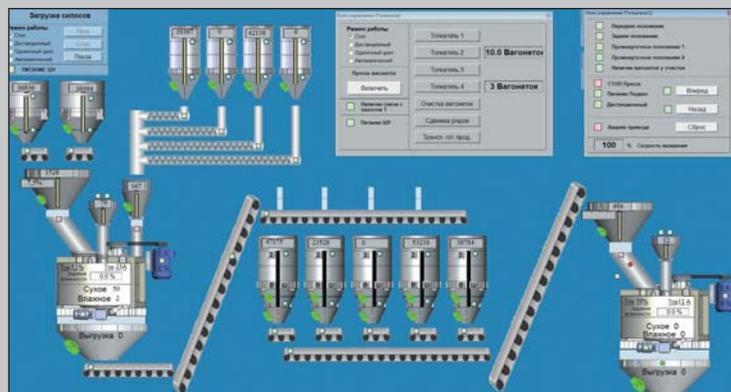
# СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ<sup>®</sup> №9



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ ИЗДАЕТСЯ С 1955 г. WWW.RIFSM.RU WWW.JOURNAL-CM.RU СЕНТЯБРЬ 2018 г. (763)

## ПРЕДПРИЯТИЕ ТЯЖЁЛОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ ИНВЕСТ-ТЕХНОЛОГИЯ

- **ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ** для заводов силикатного кирпича: гидравлические прессы с системой НСМПМ, интенсивные смесители с весовыми дозаторами, внутренний транспорт, оборудование для упаковки
- **ПРОЕКТИРОВАНИЕ** новых заводов и модернизация действующих
- **АВТОМАТИЗАЦИЯ** технологических процессов

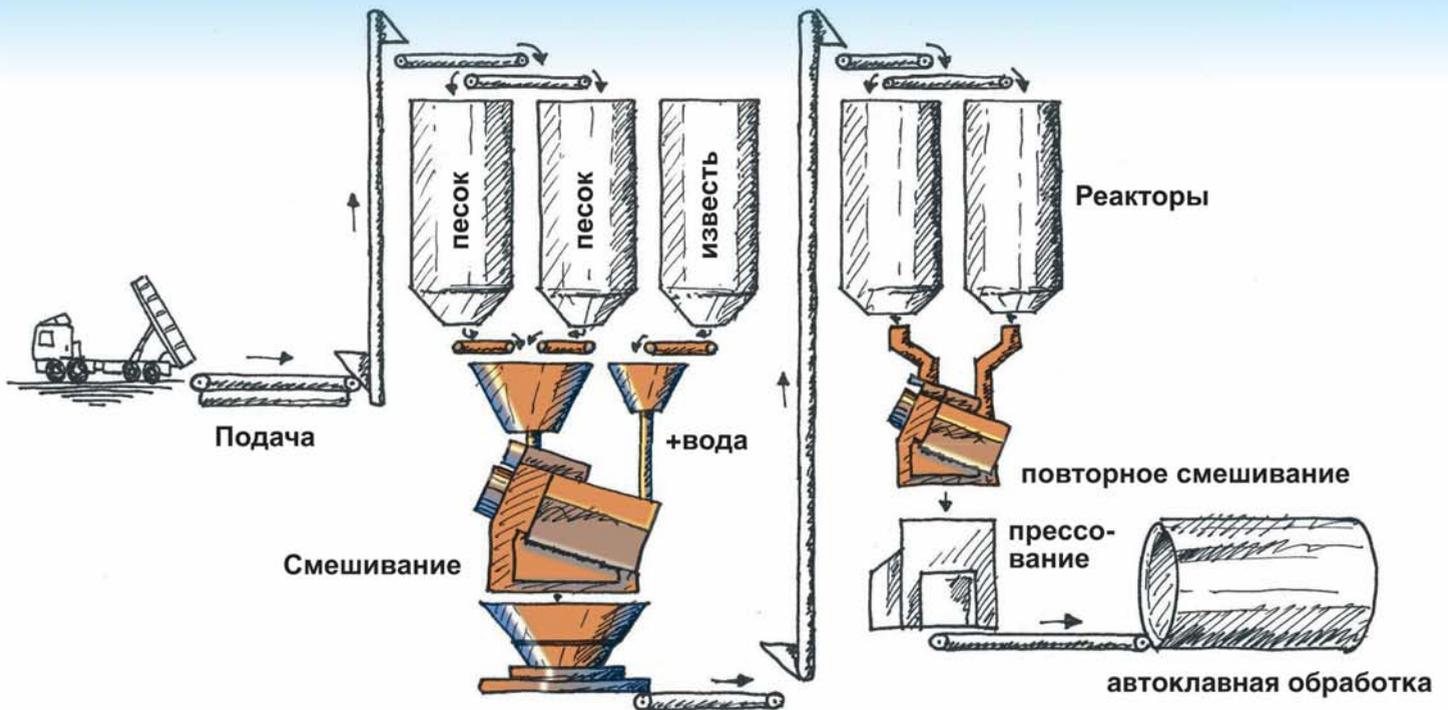


### ОСНОВНЫЕ ПРЕИМУЩЕСТВА

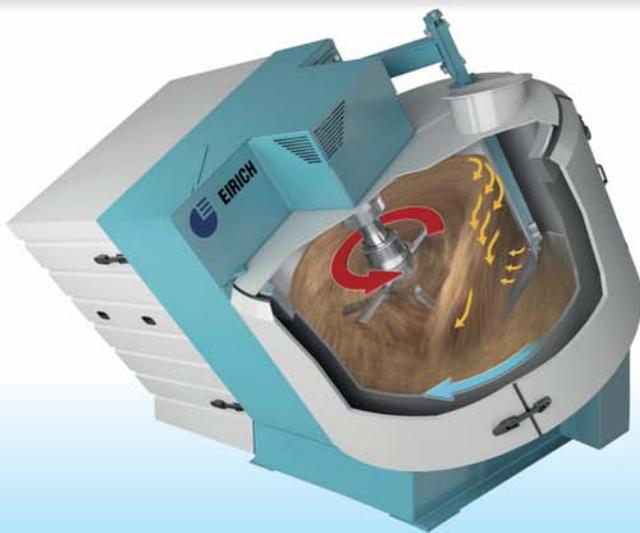
- **НАДЕЖНОСТЬ РАБОТЫ** – гарантия 3 года
- **ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ**  
(потребление электроэнергии на единицу продукции меньше в 4–7 раз)
- **ВЫСОКОЕ КАЧЕСТВО ВЫПУСКАЕМОЙ ПРОДУКЦИИ**
- **ПРОСТОТА И УДОБСТВО ОБСЛУЖИВАНИЯ**



**EIRICH**



## Уникальный принцип смешивания для приготовления силикатной смеси высшего качества



**Техника смешивания · Взвешивание и дозирование · Машины и установки**  
**Техника автоматического управления · Инжиниринг**

реклама



The Pioneer in Material Processing®  
Новатор в приготовлении смесей

ООО Айрих Машинентехник  
ул. Уржумская, 4, строение 2  
129343 Москва, Российская Федерация  
Телефон: (495) 7716880, факс: (495) 7716879  
E-mail: info@eirich.ru, Internet: www.eirich.ru

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

# СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ®

## №9

Основан в 1955 г.

(763) сентябрь 2018 г.

**Учредитель журнала:**  
ООО Рекламно-издательская  
фирма «СТРОЙМАТЕРИАЛЫ»  
Свидетельство о регистрации  
ПИ №77-1989  
**Входит в Перечень ВАК,**  
государственный проект **РИНЦ,**  
Russian Science Citation Index  
на платформе Web of Science

**Главный редактор:**

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

**Редакционный совет:**

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

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

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

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

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

**ВЕРЕЩАГИН В. И.,**  
д-р техн. наук, профессор (Томск)

**ГОРИН В. М.,**  
канд. техн. наук, президент Союза  
производителей керамзита  
и керамзитобетона (Самара)

**ЕРОФЕЕВ В. Т.,**  
д-р техн. наук, профессор,  
Академик РААСН (Саранск)

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

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

**КРИВЕНКО П. В.,**  
д-р техн. наук, профессор (Украина)

**ЛЕОНОВИЧ С. Н.,**  
д-р техн. наук, профессор (Беларусь)

**ЛЕСОВИК В. С.,**  
д-р техн. наук, профессор,  
член-корреспондент РААСН (Белгород)

**МУРТАЗАЕВ С. -А. Ю.,**  
д-р техн. наук, профессор (Грозный)

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

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

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

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

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

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

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

**ШЛЕГЕЛЬ И. Ф.,**  
канд. техн. наук (Омск)

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

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

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

**Силикатные строительные материалы**

Г.А. ЗИМАКОВА, В.А. СОЛОНИНА, М.П. ЗЕЛИГ, В.С. ОРЛОВ

**Роль алевропелитов в формировании свойств  
известково-силикатных материалов автоклавного твердения ..... 4**

**Россия. Революция. 100 лет спустя (Информация) ..... 10**

Г.В. КУЗНЕЦОВА, А.А. ШИНКАРЕВ, Н.Н. МОРОЗОВА, А.З. ГАЗИМОВ

**Добавки для прямой технологии производства силикатного кирпича ..... 12**

В.Д. КОТЛЯР, А.В. КОЗЛОВ, О.И. ЖИВОТКОВ, Г.А. КОЗЛОВ

**Силикатный кирпич на основе зольных микросфер и извести ..... 17**

**Оценка и прогнозирование вариантов технологического процесса  
в двухшахтной регенеративной печи (Информация) ..... 22**

А.Н. ВОЛОДЧЕНКО, В.В. СТРОКОВА

**Разработка научных основ производства силикатных  
автоклавных материалов с использованием глинистого сырья ..... 25**

**Нормативная база отрасли**

И.С. КУЗНЕЦОВА, В.Г. РЯБЧЕНКОВА, М.П. КОРНЮШИНА

**Новый свод правил по обследованию зданий и сооружений после пожара ..... 32**

**Кадры для отрасли**

В.С. ГРЫЗЛОВ

**Экспертно-индикаторный подход оценки усвоения компетентностей  
в инженерно-строительном образовании ..... 35**

**Материалы и конструкции**

В.Г. ХОЗИН, Н.М. КРАСИНИКОВА, Э.В. ЕРУСЛАНОВА

**Легкие поризованные бетоны на основе сухих смесей ..... 40**

В.Ф. СТЕПАНОВА, А.В. БУЧКИН, Е.Ю. ЮРИН

**Исследование свойств тяжелого бетона на крупном заполнителе,  
армированного неметаллической базальтовой фиброй ..... 46**

В.В. ГРАНЕВ, А.Н. МАМИН, Э.Н. КОДЫШ,  
К.И. ЕРЕМИН, М.Н. ЕРШОВ, Г.Р. ШНЕЙДЕРОВ

**Некоторые свойства порошкового металла при его лазерном напылении  
для восстановления сечений стальных строительных конструкций ..... 54**

А.Д. ЖУКОВ, К.А. ТЕР-ЗАКАРЯН, И.В. БЕССОНОВ, В.С. СЕМЕНОВ, А.В. СТАРОСТИН

**Системы строительной изоляции с применением пенополиэтилена ..... 58**

Н.С. СОКОЛОВ

**Определение типа заглубленной конструкции усиления основания  
под насыпью высокоскоростной железнодорожной магистрали ..... 62**

САЙЕД ХЕМЕДА, МЕРВАТ ХАЛИЛ, ШОЕБ АХМЕД, АХМЕД АБД ЭЛ АЗИЗ

**Механические характеристики реставрационных растворов  
на основе нано-модифицированной извести ..... 66**

**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®

№9

Founded in 1955 (763) September 2018

**Editor-in-chief**

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

**Editorial Board**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**Silicate building materials**

G.A. ZIMAKOVA, V.A. SOLONINA, M.P. ZELIG, V.S. ORLOV

**Role of Aleuropelites in Formation of Properties  
of Lime-Silicate Materials of Autoclaved Hardening** .....4

**Russia. Revolution. 100 Years Later (Information)** .....10

G.V. KUZNETSOVA, A.A. SHINKAREV, N.N. MOROZOVA, A.Z. GAZIMOV

**Additives for Direct Technology of Silicate Brick Production** .....12

V.D. KOTLYAR, A.V. KOZLOV, O.I. ZHIVOTKOV, G.A. KOZLOV

**Calcium-Silicate Brick On The Basis Of Microspheres And Lime** .....17

**Assessment and Prediction of Variants of the Technological Process  
in the Double-Shaft Regenerative Furnace (Information)** .....22

A.N. VOLODCHENKO, V.V. STROKOVA

**Development of Scientific Bases for Production of Silicate Autoclave Materials  
Using Clay Raw Materials** .....25

**Normative base of the industry**

I.S. KUZNETSOVA, V.G. RYABCHENKOVA, M.P. KORNUSHINA

**New Code of Rules for Inspection of Buildings and Structures after a Fire** .....32

**Personnel for the industry**

V.S. GRYZLOV

**Expert-Indicator Approach to Evaluation of Learning of Competencies  
in Engineering-Construction Education** .....35

**Materials and structures**

V.G. KHOZIN, N.M. KRASNIKOVA, E.V. ERUSLANOVA

**Light Porous Concretes on the Basis of Dry Mixtures** .....40

V.F. STEPANOVA, A.V. BUCHKIN, E.Yu. YURIN

**Investigation of the Properties of Heavy Concrete on a Large Aggregate  
Reinforced with Nonmetallic Basalt Fiber** .....46

V.V. GRANEV, A.N. MAMIN, E.N. KODYSH,  
 K.I. EREMIN, M.N. ERSHOV, G.R. SHNEJDEROV

**Some Properties of Powder Metal during its Laser Deposition  
to Restore the Cross Sections of Steel Building Structures** .....54

A.D. ZHUKOV, K.A. TER-ZAKARYAN, I.V. BESSONOV, V.S. SEMENOV, A.V. STAROSTIN

**Systems of Construction Insulation with the Use of Foam Polyethylene** .....58

N.S. SOKOLOV

**Definition of the Type of a Buried Structure for Base Strengthening Beneath  
the Embankment of High-Speed Railway** .....62

SAYED HEMEDA, MERVAT KHALIL, SHOEB AHMED, AHMED Abd el AZIZ

**Mechanical Characterization of Nano-modified Lime-Based Restoration Mortars** ....66

# Строительные материалы № 9

## Иновационные разработки в проектировании

Н.В. ДУБЫНИН, Т.Н. КОЛЕСНИКОВА, З.К. ПЕТРОВА,  
Л.Б. КОЛОГРИВОВА, К.И. ЕРЕМИН, Г.П. ТОНКИХ

**Архитектурно-технические решения, строительные технологии и нормативные требования  
к панорамному остеклению высотных зданий** ..... 75

А.Н. ДАВИДЮК, Д.И. КРАВЧЕНКО, С.В. НИКОЛАЕВ,  
А.И. СЕРДЮК, Ю.Г. ХАЮТИН, А.К. ШРЕЙБЕР, Б.В. ПРЫКИН

**Применение вспененного этиленвинилацетата в сопряжениях элементов строительных конструкций** ..... 80

# Stroitel'nye Materialy No. 9

## Innovative developments in design and engineering

N.V. DUBYNIN, T.N. KOLESNIKOVA, Z.K. PETROVA,  
L.B. KOLOGRIVOVA, K.I. EREMIN, G.P. TONKIKH

**Architectural-Technical Solutions, Construction Technologies and Regulation Requirements  
to Panoramic Glazing of High-Rise Buildings** ..... 75

A.N. DAVIDUK, D.I. KRAVCHENKO, S.V. NIKOLAEV,  
A.I. SERDYUK, Yu.G. KHAYUTIN, A.K. SHREIBER, B.V. PRYKIN

**The Use of Foamed Ethylene Vinyl Acetate in Connections of Elements of Building Structures** ..... 80

## Уважаемые коллеги!

Подписку на журнал «Строительные материалы»® всегда можно оформить через редакцию.

Для этого необходимо прислать заявку в произвольной форме  
по эл. почте: [mail@rifsm.ru](mailto:mail@rifsm.ru) или по тел.: (499) 976-22-08, 976-20-36

В заявке надо указать название организации (для выставления счета),  
юридический и почтовый адреса, телефон и контактное лицо.

Открыта подписка на электронную версию журнала: [journal-cm.ru](http://journal-cm.ru)  
и на сайте издательства «Стройматериалы» <http://rifsm.ru/page/5/>

На почте подписку можно оформить:



По объединенному каталогу  
«Пресса России»

индекс **70886**



По каталогу агентства  
«Роспечать»

индекс **79809**

Г.А. ЗИМАКОВА, канд. техн. наук (zimakovaga@tyuiu.ru),  
В.А. СОЛОНИНА, канд. техн. наук (soloninava@tyuiu.ru),  
М.П. ЗЕЛИГ, инженер (zeligmp@tyuiu.ru), В.С. ОРЛОВ, инженер (orlovvs1@tyuiu.ru)

Тюменский индустриальный университет (625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38)

## Роль алевропелитов в формировании свойств известково-силикатных материалов автоклавного твердения

Представлены результаты исследований влияния алевропелитовых пород ишимской свиты юга Тюменской области на процессы синтеза структурообразующих гидросиликатов и формирование свойств известково-силикатного материала, получаемого при автоклавном твердении. Изложены особенности уплотняемости силикатной массы и установлено, что введение алевропелитов улучшает формовочные свойства и повышает пластическую прочность. Выявлено, что в процессе гидротермального синтеза смеси с использованием алевропелитов основными структурообразующими фазами являются ксонотлит, аномальный тоберморит, тоберморит триклинной сингонии. В статье приведены результаты электронной микроскопии, подтверждающие положительную роль алевропелитов на процессы синтеза. Влияние алевропелитов на степень уплотнения сырьевой массы и процессы физико-химического взаимодействия при гидротермальном режиме позволяют обеспечить повышение прочности и водостойкости силикатного камня.

**Ключевые слова:** силикатный кирпич, силикатный камень, тонкодисперсные компоненты, алевропелит, поровая структура, структурообразующие гидратные фазы.

**Для цитирования:** Зимакова Г.А., Солонина В.А., Зелиг М.П., Орлов В.С. Роль алевропелитов в формировании свойств известково-силикатных материалов автоклавного твердения // *Строительные материалы*. 2018. № 9. С. 4–9. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-763-9-4-9>

G.A. ZIMAKOVA, Candidate of Sciences (Engineering) (zimakovaga@tyuiu.ru), V.A. SOLONINA, Candidate of Sciences (Engineering) (soloninava@tyuiu.ru), M.P. ZELIG, Engineer (zeligmp@tyuiu.ru), V.S. ORLOV, Engineer (orlovvs1@tyuiu.ru)  
Industrial University of Tyumen (38, Volodarskogo Street, Tyumen, 625000, Russian Federation)

### Role of Aleuropolites in Formation of Properties of Lime-Silicate Materials of Autoclaved Hardening

The results of studies of the influence of aleuropolite rocks of the Ishim Suite of the South of the Tyumen region on the synthesis of structure-forming hydrosilicates and the formation of properties of lime-silicate material obtained by autoclave hardening are presented. The peculiarities of the compactibility of the silicate mass and it is found that the introduction of aleuropolites improves the molding properties and increases the plastic strength. It is revealed that in the process of hydrothermal synthesis of the mixture with the use of aleuropolites, the main structure-forming phases are xonotlite, abnormal tobermorite, tobermorite of triclinic crystal system. The article presents the results of electron microscopy, confirming a positive role (effect) of aleuropolites on the processes of synthesis. The impact of aleuropolites on the degree of compaction of the raw mass and the processes of physical and chemical interactions during hydrothermal regime makes it possible to improve the strength and water resistance of silicate stone.

**Keywords:** silicate brick, silicate stone, fine disperse components, aleuropolite, porous structure, structure forming hydrate phases.

**For citation:** Zimakov G.A., Solonina V.A., Zelig M.P., Orlov V.S. Role of aleuropolites in formation of properties of lime-silicate materials of autoclaved hardening. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 9, pp. 4–9. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-763-9-4-9> (In Russian).

Около 60 заводов на территории России производят силикатный кирпич. Доля его применения и объемы реализации связаны с различной региональной динамикой и высокой конкуренцией со стороны других стеновых материалов. В ряду стеновых материалов силикатные изделия отличаются ценой, что связано с доступностью источников местного кремнеземистого сырья, относительно низкой материал- и энергоемкостью производства. За последние 10 лет появления на российском рынке новых производителей силикатных материалов и изделий не отмечено. В основном происходит широкомасштабная модернизация и техническое перевооружение действующих производств. По мнению экспертов [1], предполагать перспективы развития силикатной отрасли можно в том случае, если будет обеспечено внедрение новых технологий, повсеместно повышено качество и обеспечен жесткий контроль выпускаемой продукции.

Мировые тенденции увеличения жизненного цикла зданий обозначили задачу создания высокофункциональных материалов с заданным набором эксплуатационно-технических характеристик. Анализ практических данных показывает, что в отношении долговечности силикатных материалов, эксплуатируемых в суровых климатических условиях, существуют различные как позитивные, так и негативные позиции. Ограничения

по применению силикатного кирпича в основном обусловлены его недостаточной долговечностью, идентификация которой устанавливается по изменению прочности при эксплуатации во влажных условиях [2, 3].

Обследования объектов, стеновые конструкции которых выполнены из силикатного кирпича, проведенные авторами статьи, показали, что характер изменения прочностных характеристик и сохранность формы определяются условиями эксплуатации материала. Наибольшие изменения показателей диагностированы: по стенам лицевого ряда наружной кладки; на участках, систематически подвергаемых действию воды; в помещениях с влажностью 90% и более. Разрушение кирпича в основном отмечено на лицевых поверхностях, ребрах и углах, где глубина сколов и поврежденных зон достигает 25–35 мм. Уменьшение эффективного сечения кладки неизбежно приводит к снижению ее несущей способности и является причиной аварийных ситуаций, так как при многолетнем активном воздействии влаги возможна потеря прочности кирпича до 50%. Следует отметить, что процессы деградации силикатного кирпича фиксируются в ходе обследования зданий, при строительстве которых использован кирпич выпуска 60–70-х гг. прошлого столетия.

В настоящее время внедренные современные технологические линии, высокоэффективное смесительное и

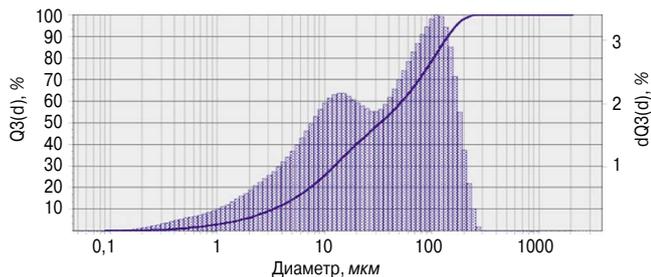


Рис. 1. Гранулометрический состав ИКВ

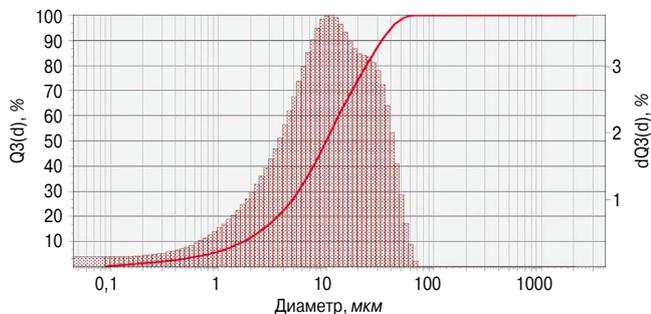


Рис. 2. Гранулометрия молотого кварца в присутствии ТЭА

прессовое оборудование позволяют получать силикатный кирпич с достаточно высокими марочными показателями: по прочности М250–М300, по морозостойкости F75–F100. Бесспорно, физико-механические характеристики кирпича за последнее десятилетие российскими производителями существенно повышены.

Научно обосновано, что продление эксплуатационного ресурса конструкций из силикатных бетонов можно решать различными приемами: путем создания безупречной системы отведения воды; гидрофобизацией лицевой поверхности; за счет введения в состав силикатной смеси минеральных и катализирующих синтез силикатных фаз добавок [4, 5].

Процессы деградации силикатного кирпича имеют физико-химическую природу и обусловлены напряжениями, вызванными неравномерными знакопеременными деформациями усадки и набухания, заморзания и оттаивания, двухстадийной карбонатной коррозией [6, 7] и перекристаллизацией структурообразующих гидросиликатных фаз. Подобная совокупность деструктурирующих факторов характерна и для цементных систем. Однако формирование камня в силикатных композициях идет только за счет синтеза новых структурообразующих элементов. Следовательно, для обеспечения долговечности необходимо применить такие компоненты, которые влияют на полноту реакций синтезобразования и формирование поровой структуры.

Известно, что свойства известково-силикатных материалов определяются рецептурно-химическим составом, дисперсностью компонентов, длительностью и температурным режимом автоклавной обработки [8]. Размерность кремнеземистого компонента, зерновой состав и влажность порошкообразной сырьевой смеси существенно влияют на уплотняемость сырьевой смеси, условия удаления защемленного воздуха и определяют прочность свежеформованного изделия, трещиностойкость и прочность готового кирпича. Для предотвращения запрессовки воздуха подбирают оптимальный гранулометрический состав смеси [9]. Скорость реакции синтеза зависит от химического и

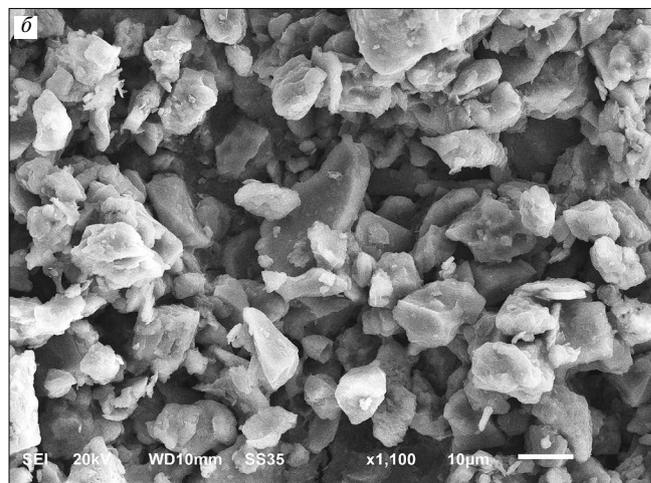
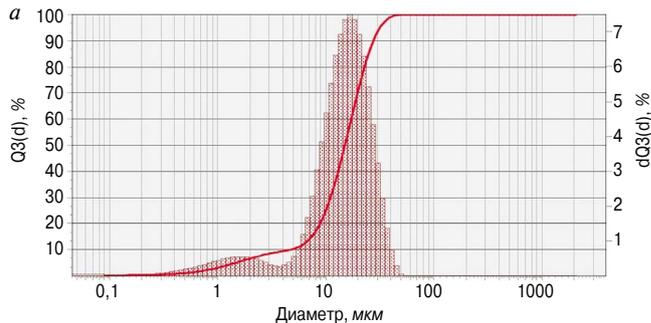


Рис. 3. Результаты исследования алевропелитовой породы: а – гранулометрический состав; б – форма зерен

гранулометрического составов смеси, однородности зерен по размеру и от удельной площади контакта между зернами [10, 11]. Однако повышение дисперсности кремнеземистого компонента сопровождается дополнительными энергозатратами на измельчение и увеличением потерь за счет пылеобразования. Поэтому на производстве оптимальная степень измельчения определяется как с учетом выхода продукта, так и общих затрат при его изготовлении.

Необходим поиск новых высокоэффективных реакционноспособных компонентов, обладающих низкой энергоемкостью при применении, обеспечивающих сохранность экологической чистоты технологического процесса и выпускаемого силикатного кирпича, эффект от применения которых должен проявиться на всех стадиях технологического процесса и способствовать повышению эксплуатационно-технических характеристик известково-силикатных материалов.

В процессе исследований применен комплекс взаимодополняющих физико-химических методов исследования состава, структуры и свойств полученных известково-силикатных материалов: растровой сканирующей микроскопии, рентгенофазового анализа, локального спектрального анализа, лазерной дифракции размера частиц и ряд других стандартных анализов и методик.

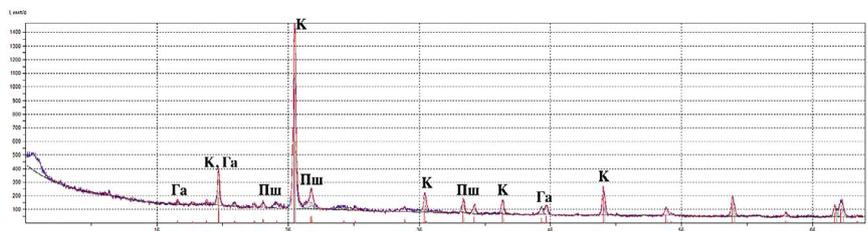
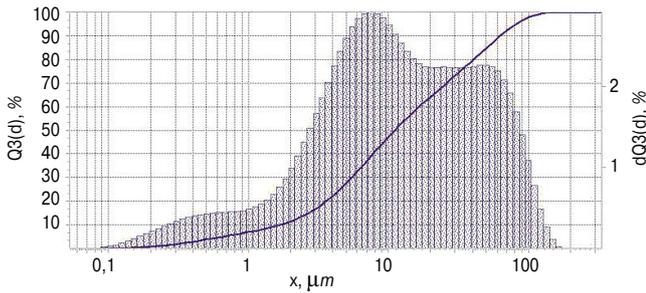


Рис. 4. Рентгенофазовый анализ алевропелитовой породы: К – кварц; Га – галлузит; Пш – полевые шпаты



**Рис. 5.** Гранулометрический состав смеси № 2 (ИКВ+молотый кварц)

В целях направленного регулирования прочности, водостойкости, водопоглощения, морозостойкости камня большое внимание уделено исследованиям, связанным с выявлением особенностей синтеза гидратных фаз.

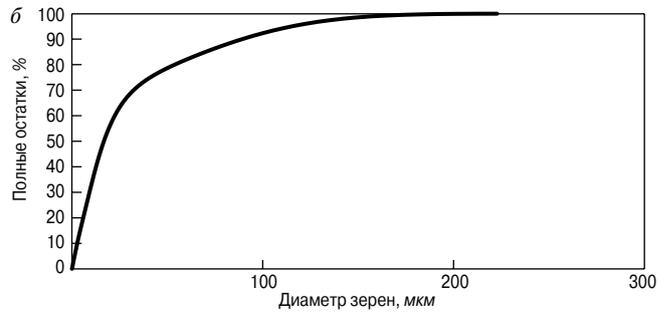
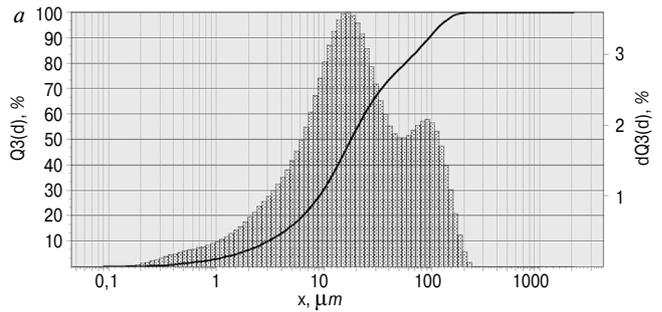
Для определения плотности и прочности свежесформованных образцов и после автоклавного твердения применены стандартные методики; капиллярная пористость оценивалась по кинетике водопоглощения. Водостойкость силикатного камня установлена соотношением прочности в водонасыщенном и сухом состоянии, а также концентрацией водорастворимых компонентов в водной вытяжке.

Исследования построены на сравнении анализируемых характеристик серий образцов, изготовленных из известково-кремнеземистого вяжущего (ИКВ), полученных в промышленных условиях совместным помолом извести и кварцевого песка. На основе ИКВ известного гранулометрического состава (рис. 1) выпускают силикатный кирпич прочностью 20–25 МПа.

Образцы серии № 1 готовились из чистом ИКВ. В серии № 2 в ИКВ дополнительно вводился тонкодисперсный кварц с диапазоном размерности зерен от 5 до 80 мкм (рис. 2), полученный в лабораторной шаровой мельнице в присутствии интенсификатора помола – триэтанолamina (ТЭА). В состав серии № 3 кроме ИКВ введена алевропелитовая порода.

Образцы-цилиндры диаметром и высотой по 50 мм формовались на прессовой установке. Давление, продолжительность формования, условия и режимы гидротермальной обработки для всех серий образцов приняты постоянными.

Алевропелитовая порода – природный материал с размерами зерен от 0,15 до 50 мкм; содержание зерен размером до 15 мкм в среднем составляет 40%; зерен размером более 30 мкм – 10–12%. На рис. 3, а приведены данные по зерновому составу породы, характерные особенности формы зерен отражены на рис. 3, б.



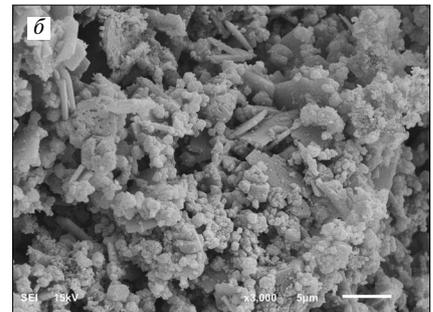
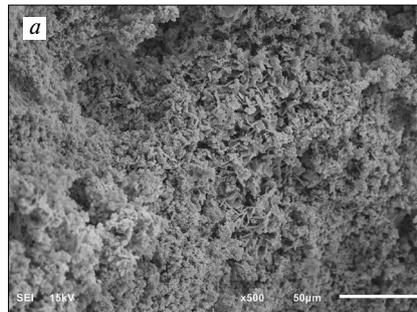
**Рис. 6.** Гранулометрический состав смеси № 3 (ИКВ+алевропелитовая порода): а – интегральная кривая рассева; б – фактическая кривая рассева

Химический состав породы в основном представлен, %: SiO<sub>2</sub> – 71,4–76,6; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 11,3–14,3; Na<sub>2</sub>O – 1–2; K<sub>2</sub>O – 1–2; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 2,5–3,5; MgO – до 1,5; CaO – 0,7–0,8.

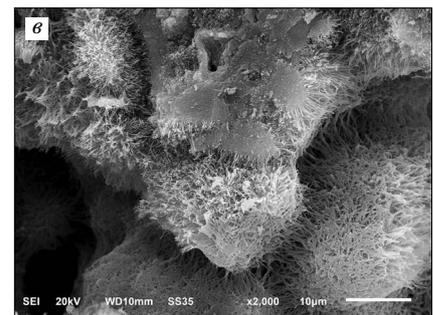
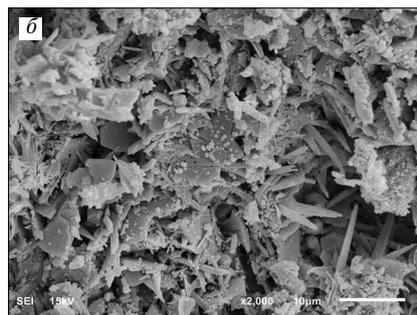
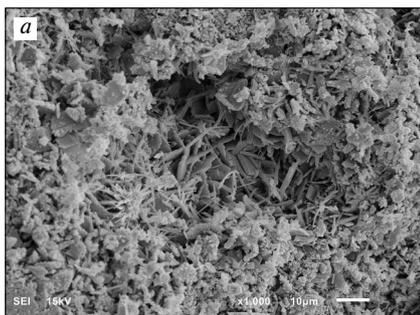
Минеральный состав породы установлен рентгенофазовым анализом (рис. 4), где в основном представлен кварцем, натриево-калиевыми полевыми шпатами, незначительным количеством галлуазита.

Гранулометрический состав смеси серии № 2 приведен на рис. 5.

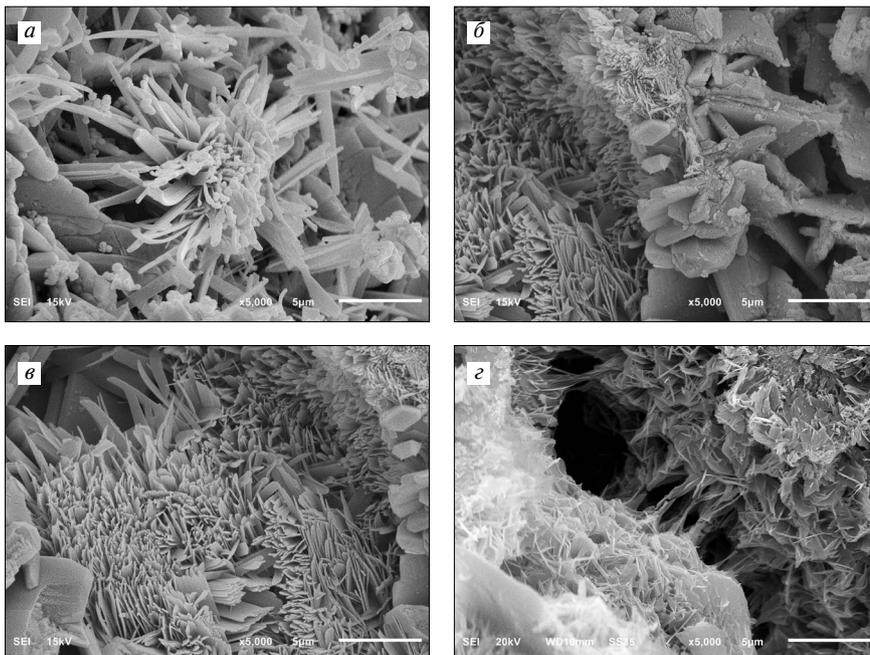
Полученная смесь состава № 3 (ИКВ+алевропелитовая порода) (рис. 6) оптимальна для полидисперсной системы с непрерывным гранулометрическим составом



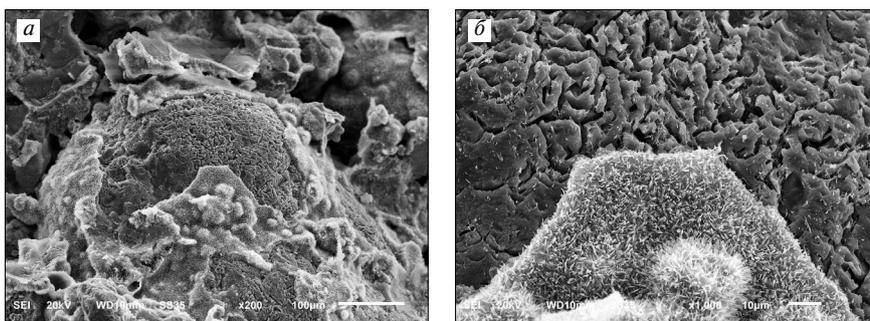
**Рис. 7.** Микроструктура силикатного камня состава № 1 (ИКВ): а – увеличение ×500; б – увеличение ×3000



**Рис. 8.** Микроструктура силикатного камня состава № 3 (ИКВ+ алевропелитовая порода): а – столбчатые, игольчатые кристаллы (увеличение ×1000); б – столбчатые, игольчатые, листоватые, чешуйчатые кристаллы (увеличение ×2000); в – параллельно-волоконистые сращения столбчатых, игольчатых кристаллов (увеличение ×2000)



**Рис. 9.** Морфологические особенности и рост новообразований в поровом пространстве силикатного камня состава № 3 (увеличение  $\times 5000$ ): *a* – радиально-лучистые срастания; *б, в* – пластинчатые, игольчатые новообразования; *г* – параллельно-волокнистые срастания



**Рис. 10.** Морфологические особенности структурообразующих новообразований силикатного камня состава № 3: *a* – увеличение  $\times 200$ ; *б* – увеличение  $\times 1000$

и корректно может быть описана уравнением Функа/Дингера [12].

Следующий этап исследований показал, что оптимизация зернового состава привела к повышению формовочных свойств сырьевой массы. Так, пластическая прочность образцов из смеси состава № 3 превалирует над прочностью образцов серии № 1 на 20% (пластическая прочность в данной серии составила 1,7 МПа). Смесь из зерен окатанной формы (рис. 3, б) и с высокой удельной поверхностью обладает хорошей формуемостью.

Реологичность составов № 2 и 3 детерминировала снижение В/Т отношения сырьевой смеси с 0,65 (для серии № 1 на ИКВ) до 0,55. Однако реологические свойства смеси № 2 связаны с влиянием ТЭА, введенного при помоле и способствующего снижению энергетического барьера между зернами при прессовании образцов. Угловатая и оскольчатая форма зерен кварца дополнительного эффекта не создает.

Полученная полидисперсная система смеси тонкодисперсных компонентов позволила увеличить суммарную контактную поверхность зерен и тем самым в процессе формования смесей уменьшить В/Т отношение. Это привело к снижению расклинивающего эффекта жидкости, которая при прессовании вытесняется в крупные поры и возвращается после снятия давления в межчастичные прослойки под влиянием поверхност-

ных сил, что послужило одним из факторов повышения прочности образцов при автоклавном твердении.

Скорость и полнота реакций гидротермального синтеза зависят от химического и гранулометрического составов смеси, однородности зерен по размеру, удельной площади контакта между зернами [13]. Все перечисленные показатели являются определяющими факторами для прочности известково-силикатного материала.

Испытания образцов после автоклавного твердения показали, что введение в состав силикатной массы алевропелитов позволило повысить прочность камня на 70–80% и достичь (вероятно, максимально возможных значений для данной системы известково-силикатного материала) 60–64 МПа.

Изменение поровой структуры полученных образцов контрольного состава № 1 (рис. 7) в основном связано с увеличением количества микропор и уменьшением макрокапиллярной пористости.

Силикатный камень характеризуется в основном мелкопористой структурой (размер пор 1–5 мкм). На снимках (рис. 7) отмечено наличие портландита  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  традиционной сферообразной формы, характерной для фаз, кристаллизующихся из насыщенных растворов. Портландит находится в контактных зонах наряду с гидросиликатами кальция. Вероятно, что в условиях эксплуатации полученного материала будут происходить процессы карбонизации с образованием карбонатов кальция большего объема, что создаст микронапряжения внутри изделия. Процессы карбонизации при-

ведут к снижению pH камня, т. е. изменятся условия стабильности гидросиликатных фаз.

Морфологические особенности образующихся гидратов в структуре камня из смеси состава № 3 (рис. 8) в основном двух типов: удлиненные (кристаллы столбчатые, игольчатые), уплощенные (кристаллы таблитчатые, листоватые, чешуйчатые).

Основная масса гидросиликатных фаз представлена пластинчатыми, игольчатыми и волокнистыми новообразованиями, которые образуют радиально-лучистые, параллельно-волокнистые срастания (рис. 9). Внутрифазовая перекристаллизация этих фаз протекает медленно вследствие сравнительно низкой дисперсности первично образующихся кристаллов в низкоосновных гидросиликатах.

Изменение поровой структуры с переходом в условно-замкнутую связано с тем, что рост кристаллов происходит в свободном пространстве. Полученные кристаллы выросли перпендикулярно или почти перпендикулярно к поверхности пор. В процессе роста разноориентированных кристаллов происходит их срастание, а затем продолжают расти только те кристаллы, вершина которых направлена в сторону свободного пространства. Как правило, кристаллы формируются перпендикулярно или почти перпендикулярно к поверхности пор, между собой они срастаются вершинами.



- пича // *Строительные материалы*. 2013. № 9. С. 10–11.
4. Вольф А.В., Божок Е.В., Ермолаев А.А. Влияние минеральных добавок на свойства силикатного кирпича // *Ползуновский альманах*. 2016. № 1. С. 68–72.
  5. Бобков В.В., Самофеев Н.С., Чуйкин А.Е. Силикатный кирпич в наружных стенах зданий: анализ состояния, прогноз долговечности и способы ее повышения // *Инженерно-строительный журнал*. 2011. № 8. С. 35–40.
  6. Силаенков Е.С. Долговечность изделий из ячеистых бетонов. М.: Стройиздат, 1986. 176 с.
  7. Бердов А.И., Бабков В.В., Габитов А.И., Самофеев Н.С. Структурные и физико-химические изменения в силикатном кирпиче на интервале 70-летней эксплуатации // *Вестник МГСУ*. 2011. № 5. С. 261–266.
  8. Кафтаева М.В., Рахимбаев И.Ш. Термодинамический анализ процессов гидротермального синтеза ксенолита с применением цикла Борна–Габера // *Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова*. 2016. № 5 (55). С. 93–101.
  9. Тимашев В.В. Синтез и гидратация вяжущих материалов: Избранные труды. М.: Наука, 1986. 424 с.
  10. Овчаренко Г.И., Гильмиров Д.И. Взаимосвязь прочности и фазового состава автоклавного известково-золяного камня. Ч. 1 // *Известия вузов. Строительство*. 2013. № 10. С. 28–32.
  11. Солонина В.А., Зимакова Г.А., Баянов Д.С., Шарко П.В., Зелиг М.П. Синтез структур ячеисто-бетонных композитов с наноразмерными компонентами // *Вестник МГСУ*. 2017. Т. 12. Вып. 7. С. 733–739.
  12. Белов В.В., Смирнов М.А. Строительные композиты из оптимизированных минеральных смесей. Тверь: ТвГТУ, 2012. 112 с.
  13. Каприелов С.С. Общие закономерности формирования структуры цементного камня и бетона с добавкой ультрадисперсных материалов // *Бетон и железобетон*. 1995. № 4. С. 16–20.
  14. Zimakova G.A., Solonina V.A., Zelig M.P. Research of the influence of reftinskiy SDPP'S ash on the processes of cement stone's structure forming // *Ecology and safety in the technosphere: current problems and solutions*. 2017. Vol. 50. (IOP conf. series: Earth and Environmental Science). Режим доступа: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/50/1/012007/pdf> (дата обращения 11.09.2018).
  15. www-MINKRIST. Кристаллографическая и кристаллохимическая база данных для минералов и их структурных аналогов: Электронная база данных. Черногловка: ИЭМ РАН, 2015. Режим доступа: <http://database.iem.ac.ru/mincryst/rus/> (дата обращения 11.09.2018).
  3. Cherepanov V.I., Nekrasova E.V., Chernykh N.A., Panchenko Yu.F. Waterproofness of silicate brick. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 9, pp. 10–11. (In Russian).
  4. Vol'f A.V., Bozhok E.V., Ermolaev A.A. Effect of mineral additives on the properties of silica brick. *Polzunovskiy al'manakh*. 2016. No. 1, pp. 68–72. (In Russian).
  5. Bobkov V.V., Samofeev N.S., Chuikin A.E. Silicate brick in the exterior walls of buildings: analysis of the state, the forecast of durability and ways to improve it. *Inzhenerno-stroitel'nyi zhurnal*. 2011. No. 8, pp. 35–40. (In Russian).
  6. Silaenkov E.S. Dolgovechnost' izdelii iz yacheistyykh betonov [Durability of products from cellular concrete]. Moscow: Stroyizdat. 1986. 176 p.
  7. Berdov A.I., Babkov V.V., Gabitov A.I., Samofeev N.S. Structural and physicochemical changes in silicate bricks on the interval of 70 years of operation. *Vestnik MGSU*. 2011. No. 5, pp. 261–266. (In Russian).
  8. Kaftaeva M.V., Rakhimbaev I.Sh. Thermodynamic analysis of processes of hydrothermal synthesis of xonotlite using the Born-Haber cycle. *Vestnik Severo-Vostochnogo federal'nogo universiteta im. M.K. Ammosova*. 2016. No. 5 (55), pp. 93–101. (In Russian).
  9. Timashev V.V. Sintez i gidratsiya vyazhushchikh materialov: Izbrannyye trudy [Synthesis and hydration of binders: Selected Works]. Moscow: Nauka. 1986. 424 p.
  10. Ovcharenko G.I., Gil'miyarov D.I. Interrelation of strength and phase composition of autoclave calc-ash stone. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo*. 2013. No. 10, pp. 28–32. (In Russian).
  11. Solonina V.A., Zimakova G.A., Bayanov D.S., Sharko P.V., Zelig M.P. Synthesis of structures of cellular-concrete composites with nanosized components. *Vestnik MGSU*. 2017. Vol. 12. Iss. 7, pp. 733–739. (In Russian).
  12. Belov V.V., Smirnov M.A. Stroitel'nye kompozity iz optimizirovannykh mineral'nykh smesei [Building composites from optimized mineral mixtures]. Tver': TvGTU. 2012. 112 p.
  13. Kaprielov S.S. General regularities in the formation of the structure of cement stone and concrete with the addition of ultrafine materials. *Beton i zhelezobeton*. 1995. No. 4, pp. 16–20. (In Russian).
  14. Zimakova G.A., Solonina V.A., Zelig M.P. Research of the influence of reftinskiy SDPP'S ash on the processes of cement stone's structure forming. *Ecology and safety in the technosphere: current problems and solutions*. 2017. Vol. 50. (IOP conf. series: Earth and Environmental Science). <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/50/1/012007/pdf> (Date of access 19.03.14). (In Russian).
  15. www-MINKRIST. Crystallographic and crystallochemical database for minerals and their structural analogues: Electronic database. Chernogolovka: IEM RAN. 2015. <http://database.iem.ac.ru/mincryst/rus/> (Date of access 11.09.2018).

## НОВАЯ КНИГА



### Технология гипсовых отделочных материалов и изделий

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

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

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

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

# РОССИЯ. РЕВОЛЮЦИЯ. 100 лет спустя

ТРИ НОВЫЕ  
ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЕ ПЕЧИ  
ДЛЯ МЕЛКОЗЕРНИСТОЙ ИЗВЕСТИ  
ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬЮ  
400 т/сут КАЖДАЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ  
МЯГКООБОЖЖЕННОЙ ИЗВЕСТИ  
ВЫСОКОГО КАЧЕСТВА

для ООО «УХТИНСКИЙ ЗАВОД СТРОИТЕЛЬНЫХ  
МАТЕРИАЛОВ» (РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ)

7 ноября 1917 г., вернувшись из г. Цюрих, В.И. Ленин совершил Великую Октябрьскую социалистическую революцию в России. Спустя 100 лет, 7 ноября 2017 г. ООО «Ухтинский завод строительных материалов» совместно со швейцарской компанией Maerz Ofenbau AG (г. Цюрих) совершили техническую революцию в России, не имеющую аналогов в новейшей истории. Компания Maerz Ofenbau AG – мировой лидер в разработке технологий по производству извести – заключила контракт с Ухтинским заводом строительных материалов на поставку ноу-хау, базового и детального инжиниринга и оборудования для мягкого обжига мелкозернистой извести. Благодаря этому соглашению в Ухте будет выпускаться известь марки ИФ-0, которая в России не производится и в настоящее время закупается за рубежом.

На Санкт-Петербургском международном экономическом форуме в 2018 г. был заключен договор между ООО «Ухтинский завод строительных материалов» и Thyssenkrupp Industrial



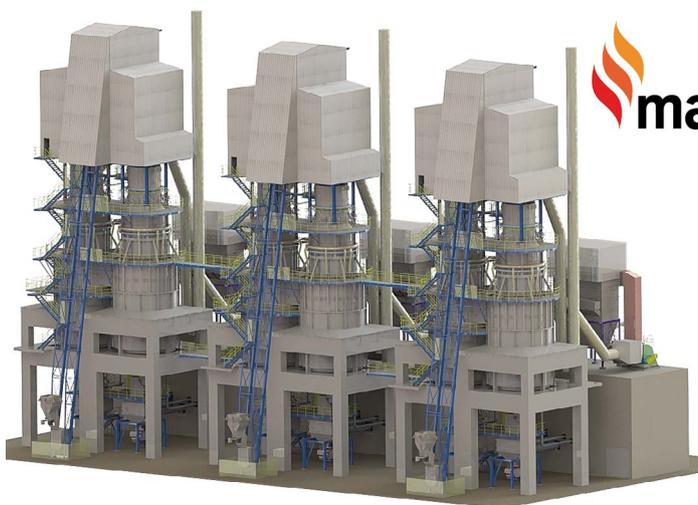
Подписание контракта



Г-н Стефан Лехнер  
Управляющий директор Maerz Ofenbau AG



Г-н Андрей Сазонов  
Единственный учредитель ООО «Ухтинский завод строительных материалов»



Solutions Russia. Единственный учредитель российской компании Андрей Сазонов намерен на первом этапе профинансировать 3 млрд р в разработку Бельгопского месторождения. Thyssenkrupp Industrial Solutions Russia совместно с компанией Maerz поставит в Ухту оборудование для создания промышленного узла по переработке нерудных материалов.

Этот проект предусматривает пять этапов реализации. Первый – реконструкция участка производства извести, строительство двухшахтной печи для обжига извести. Ее производительность составит 350–400 т/сут. В сентябре 2018 г. компания Maerz выполнила первый этап контракта – поставку ноу-хау и базового и детального инжиниринга.

В настоящее время завершается государственная экспертиза проектной документации, разработанной проектным институтом ООО «Северо-Западная Проектно-инжиниринговая компания» (Санкт-Петербург).

**Maerz Ofenbau AG**  
Richard Wagner-Strasse, 28, 8027 Zurich, Switzerland

Phone: +41 44 287 2727  
Fax: +41 44 201 3634  
e-mail: info@maerz.com  
www.maerz.com

# БЕЗ ПРОБЛЕМ.



Печи Мерц для обжига извести чрезвычайно эффективны при любом климате. На протяжении многих десятилетий. Там где Вы находитесь воздух немного разрежен? Без проблем: [maerz.com](http://maerz.com)

**maerz**  
A company of ThyssenKrupp

Г.В. КУЗНЕЦОВА<sup>1</sup>, инженер (Kuznetzowa.gal@yandex.ru);  
А.А. ШИНКАРЕВ<sup>2</sup>, канд. геол.-мин. наук (alex.shinkarev@gmail.com);  
Н.Н. МОРОЗОВА<sup>1</sup>, канд. техн. наук (ninamor@mail.ru),  
А.З. ГАЗИМОВ<sup>1</sup>, студент

<sup>1</sup> Казанский государственный архитектурно-строительный университет (420043, г. Казань, ул. Зеленая, 1)

<sup>2</sup> Казанский национальный исследовательский технологический университет (420015, г. Казань, ул. К. Маркса, 68)

## Добавки для прямой технологии производства силикатного кирпича

Перевооружение заводов силикатного кирпича с внедрением оборудования зарубежных фирм во многих случаях предопределяет переход технологии подготовки ИКВ на прямую технологию с использованием бездобавочной извести. Это неизменно приводит к снижению прочностных характеристик кирпича и изделий, а также расширения или смены сырьевых компонентов. Поэтому в первую очередь были изучены вопросы влияния дисперсных добавок на плотность прессованных образцов. В результате комплексных лабораторных исследований установлено, что для обеспечения требуемых прочностных характеристик рационально введение в состав формовочной смеси специальной дисперсной добавки, что гарантирует увеличение прочности на 50–70% за счет микрокапилляров, создаваемых коллоидными частицами дисперсной муки, размещенной между зёрнами песка. Рассмотрены результаты исследований дисперсных добавок, полученных из собственных отходов производства. Определено их влияние на автоклавную прочность прессованных силикатных изделий, изготовленных по прямой технологии на речном песке. Из рассмотренных вариантов наиболее эффективной показала себя добавка состава ДЗ.

**Ключевые слова:** песок, добавка, известь, силикатный кирпич, сырьевая прочность, автоклавная прочность.

**Для цитирования:** Кузнецова Г.В., Шинкарев А.А., Морозова Н.Н., Газимов А.З. Добавки для прямой технологии производства силикатного кирпича // *Строительные материалы*. 2018. № 9. С. 12–16. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-763-9-12-16>

G.V. KUZNETSOVA<sup>1</sup>, Engineer (Kuznetzowa.gal@yandex.ru);

A.A. SHINKAREV<sup>2</sup>, Candidate of Sciences (Geology and Mineralogy) (alex.shinkarev@gmail.com);

N.N. MOROZOVA<sup>1</sup>, Candidate of Sciences (Engineering) (ninamor@mail.ru),

A.Z. GAZIMOV<sup>1</sup>, Student

<sup>1</sup> Kazan State University of Architecture and Engineering (1, Zelenaya Street, Kazan, Republic of Tatarstan, 420043, Russian Federation)

<sup>2</sup> Kazan National Research Technological University (68, K. Marksa Street, Kazan, Republic of Tatarstan, 420015, Russian Federation)

### Additives for Direct Technology of Silicate Brick Production

Re-equipment of silicate brick plants with the introduction of equipment of foreign companies in many cases predetermines the transition of the technology of preparation of IKV to the direct technology with the use of plain lime. This invariably leads to a decrease in the strength characteristics of bricks and products, as well as the expansion or change of raw materials. Therefore, first of all, issues of the influence of dispersed additives on the density of pressed samples were studied. As a result of complex laboratory studies, it is established that to provide the required strength characteristics, it is rational to introduce a special dispersed additive into the molding mixture, which guarantees an increase in the strength by 50–70% due to micro-capillaries created by colloidal particles of dispersed flour placed between the grains of sand. The results of studies of dispersed additives obtained from own production waste are considered. Their influence on the autoclave strength of pressed silicate products, manufactured according to the direct technology with the river sand is determined. Of the options considered, the most effective is the additive D3.

**Keywords:** sand, additive, lime, silicate brick, green strength, autoclave strength.

**For citation:** Kuznetsova G.V., Shinkarev A.A., Morozova N.N., Gazimov A.Z. Additives for direct technology of silicate brick production. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 9, pp. 12–16. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-763-9-12-16> (In Russian).

Снижение спроса и высокая конкуренция на рынке стеновых материалов дает преимущество тем силикатным заводам, которые успели провести модернизацию производственных мощностей, расширив ассортимент и улучшив качество выпускаемой продукции, снизив производственные издержки. Расширение ассортимента продукции происходит за счет выпуска крупно- и среднеформатных стеновых силикатных блоков и перегородочных плит, доля выпуска которых в общем объеме производства за последние 6,5 лет в структуре выпуска ССМ выросла более чем в два раза и в 2018 г. превысила 7%. Производство СБ/СП в 2017 г. осуществляли 17 заводов, в первом полугодии 2018 г. — 16 заводов. Доля выпуска СБ/СП в общем объеме производства у семи заводов в 2018 г. превысила 20% (в 2017 г. — пять заводов) [1].

Разработчики оборудования для силикатной промышленности — фирмы Ласко Умформтехник ГмбХ

(Германия), Маза ГмбХ (Германия), ВКБ Системс ГмбХ (Германия), Хаянь Групп (Китай) специализируются на поставке оборудования для прямой технологии производства, т. е. на использовании бездобавочной извести [2]. Первоначальный проект нового производства на Калужском заводе строительных материалов, реализованный компанией «Инвест-Технология» (РФ), тоже предусматривал работу по прямой технологии. Так что при обновлении оборудования неизменно возникает вопрос упрощения (на первый взгляд) технологии и переход на прямую технологию с закупкой молотой извести.

Известно, что замена известково-кремнеземистого вяжущего (ИКВ) на известковое неизменно повлечет за собой изменение сырьевой прочности, расхода извести, снижения марочности, режима автоклавной обработки и давления в автоклавах до уровня 1,2–1,6 МПа, что не всегда возможно [3]. Предложение заменить мельницы и вообще отказаться от помола и использования мелю-

щих тел заманчиво. Но, как правило, сами мельницы остаются в рабочем состоянии, и им можно найти эффективное применение.

Раньше считалось, что силикатный кирпич нужно производить на чистых промытых песках. Это очевидно из-за использования тихоходных смесителей, неспособных разбить глинистые комочки. Агрегированные гли-

нистые включения — это вредные частицы, снижающие в конечном итоге морозостойкость силикатного кирпича. Современные технологии и смесители позволяют равномерно распределить глинистые примеси по песку. Однако, по данным А.Н. Володченко, глина в количестве 5–10 мас. % после гидротермальной обработки полностью вступает в реакцию [4].

Расход вяжущего и песка в формовочной смеси с ИКВ составляет 1:3, или 25%, а в прямой технологии это 1:9, или 12–15%. Известно, что наиболее плотной из возможных упорядоченных упаковок зерен одного размера является плотнейшая гексагонально-кубическая с пустотностью 26%.

Заполнять 11–14% пустотности обычно рекомендуется используя несколько видов песка. Все это приводит на первый взгляд к усложнению технологии, так как кремнеземистые компоненты являются крупнотоннажными, требуют отдельной доставки, складирования, дозирования и др.

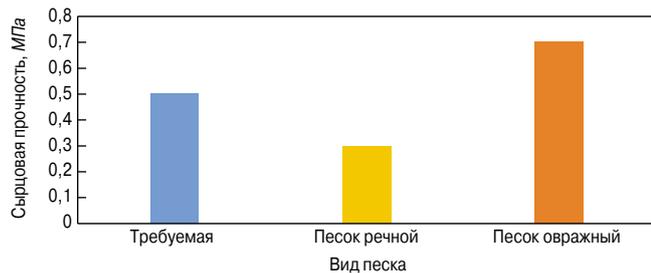


Рис. 1. Влияние вида песка на сырьевую прочность

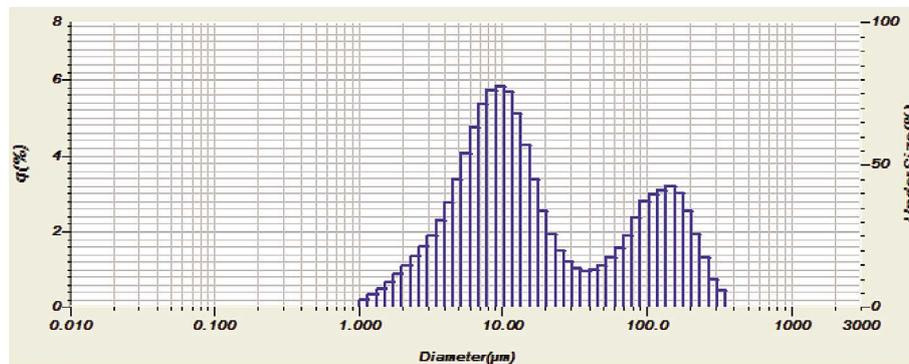


Рис. 2. Дисперсный состав молотого известняка

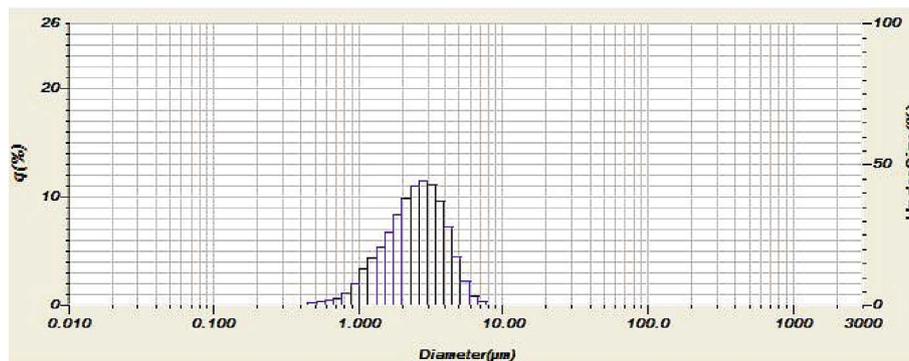


Рис. 3. Дисперсный состав гашеной извести-пушонки

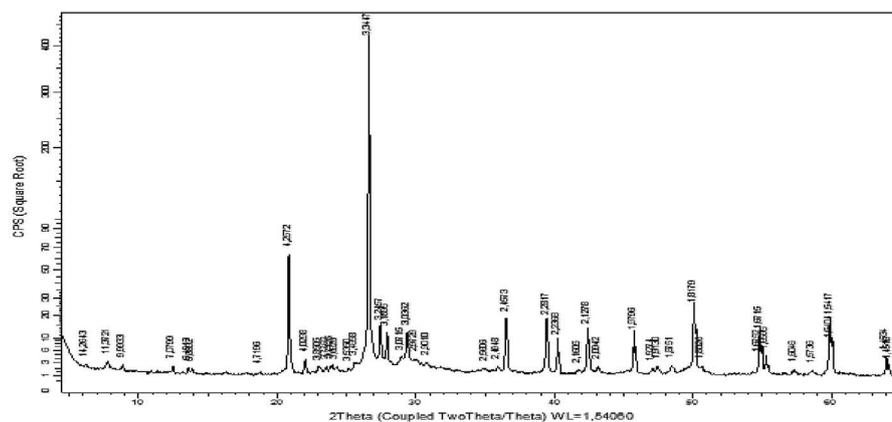


Рис. 4. Дифрактограмма силикатного кирпича

Возникает вопрос, как модернизироваться, улучшить качество, но не усложнить технологию. По данным Л.М. Хавкина, чистые мытые пески не имеют связности, а жирные глины обладают ею в высокой степени, так как содержат частицы коллоидных размеров менее 0,1 мм [5]. Переход отечественных заводов на прямую технологию делает невозможным получение требуемой сырьевой прочности — не менее 0,5 МПа — на одном мытом речном песке при  $M_{кр}$  менее 1,2. На рис. 1 приведены результаты сырьевой прочности на песке мытом речном и овражном, содержащем глинистые вещества.

Как показывают результаты, в прямой технологии при работе с одним видом песка преимущество необходимо отдавать овражному, суглинистому песку. Промытые речные пески не обеспечивают достаточной плотности и сырьевой прочности. Прочность можно увеличить за счет увеличения расхода извести, а это дорого, или ввести частицы коллоидных размеров менее 0,1 мм.

Далее приводятся результаты исследования прочностных характеристик на известковом бездобавочном вяжущем с использованием добавки из собственных отходов производства.

Молотый известняк применяется в европейских странах как добавка, повышающая сырьевую прочность. При оптимальной формовочной влажности мелкодисперсный порошок известняка наряду с гашеной известью участвует в формировании сырьевой прочности [6]. Дисперсный состав молотого известняка и извести-пушонки представлен на рис. 2, 3.

Известь гашеная представлена на зернами размером 5 мкм.

**Таблица 1**  
Требования к негашеной извести для производства силикатного кирпича

Марка	Содержание CaO, %	Сорт	Содержание CaO, %
Германия		Россия	
CL90	≥80	Сорт I	≥90
CL80	≥65	Сорт II	≥80
CL70	≥55	Сорт III	≥70

**Таблица 2**  
Фазовый состав силикатного кирпича

Наименование фазы	Мас. %
Кварц SiO <sub>2</sub>	75,5
Полевые шпаты (K, Na, Ca) AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	8,6
Кальцит CaCO <sub>3</sub>	8
Тоберморит Ca <sub>5</sub> Si <sub>6</sub> O <sub>16</sub> (OH) <sub>2</sub> ·nH <sub>2</sub> O	3,8
Глинистые минералы (хлорит, слюда)	1,5
Ca <sub>3</sub> Si <sub>3</sub> O <sub>9</sub> ·H <sub>2</sub> O	1,6
α-Ca <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O	0,7
Пироксены (Ca, Mg, Fe) <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	0,2
Доломит CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	0,2
Сумма	100
Степень кристалличности (СК)	78,7

**Таблица 3**  
Дисперсность добавок

Добавки	Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /кг
Добавка № 1 (Д1)	1500
Добавка № 2 (Д2)	1000
Добавка № 3 (Д3)	1200

Дисперсный состав молотого известняка в основном представлен зернами менее 5 мкм в количестве 16,6% и размером более 5 мкм в количестве 93,4%.

Если обратиться к табл. 1, то в видно, что в Германии для производства силикатных прессованных изделий используется известь мягкого обжига, т. е. известь, содержащая недожженные зерна.

В России требования к извести более жесткие. Половина силикатных заводов России имеют собственное производство извести. При подготовке камня для шахтных печей образуются отходы известняка в виде фракции 0–20 мм.

Также многие заводы выпускают рустированный кирпич, изготовление которого сопровождается получением большого количества отходов. В некоторых случаях при упаковке кирпича образуется бой. Грубый подсчет для завода производительностью 60 млн шт. кирпича в год при количестве брака 1% и при объеме производства рустированного кирпича 10% от общего объема показывает, что бой кирпича может составлять 4680 т.

Одним из важных факторов использования добавок является утилизация своих же отходов.

Исследованием силикатного кирпича методом рентгенофазового анализа и путем расчета фаз методом

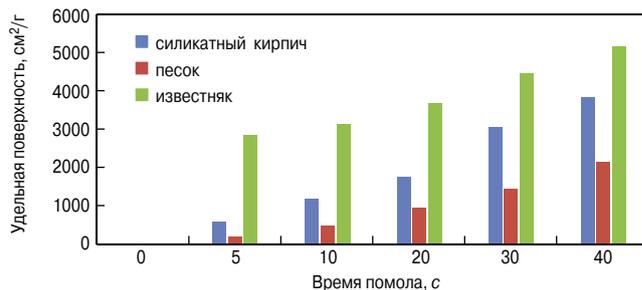


Рис. 5. Размолоспособность материалов

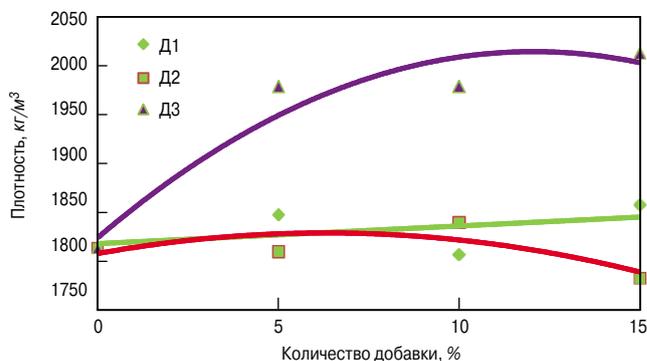


Рис. 6. Изменение плотности прессованного образца из смеси с Асм=10% на одном песке в зависимости от вида добавок

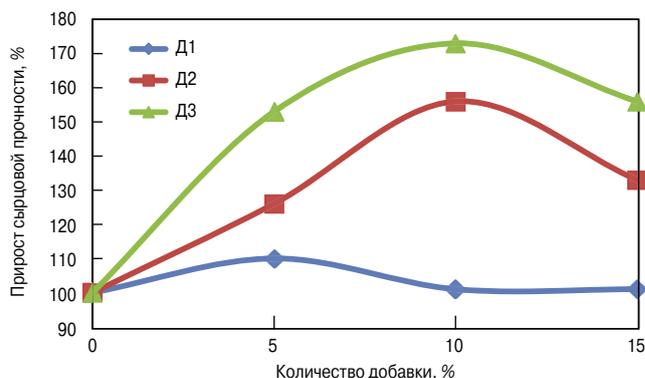


Рис. 7. Влияние добавок на изменение сырьевой прочности при содержании активных CaO в смеси 10%

Ритвельда были получены данные, представленные на рис. 4 и в табл. 2.

Как видно из результатов, фазовый состав представлен кварцем, кальцитом и гидросиликатами. Гидросиликаты в качестве добавки способствуют повышению прочности за счет лучшей перекристаллизации CSH(I) в тоберморит [7].

Содержание кварца 75,5% в составе силикатного кирпича делает возможным его использование в молотом виде как аналога молотого песка. Приведено исследование размолоспособности компонентов добавок в сравнении с кварцевым песком. Для исследования была использована карбонатная порода – известняк марки по дробимости в сухом состоянии 400 и силикатный кирпич марки 150. Результаты представлены на рис. 5.

Из рис. 5 видно, что известняк наиболее размолоспособный материал по отношению к силикатному кирпичу и кварцевому песку. Чтобы размолоть кварцевый песок до требуемой тонкости, необходимо больше времени по сравнению с силикатным кирпичом, так как содержание кварца в кварцевом песке составляет 95%, а в силикатном кирпиче 75%. Известняк в чистом виде трудно размолоть, это приводит к залипанию мельниц.

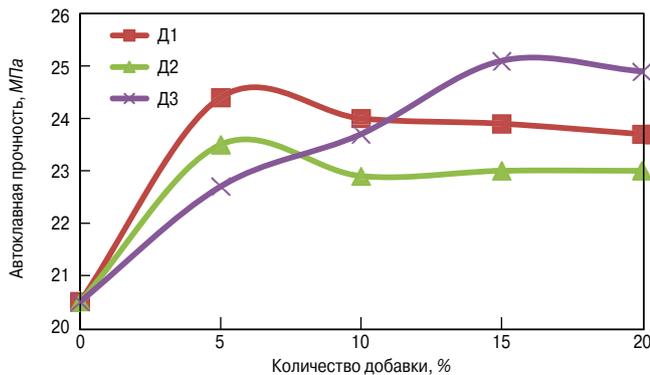


Рис. 8. Влияние добавок на автоклавную прочность при содержании активных CaO+MgO в смеси 10%

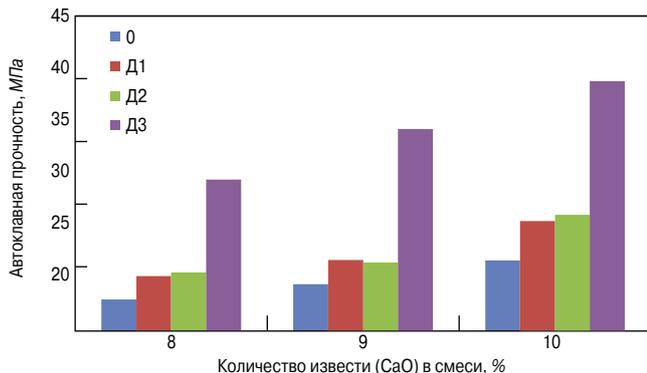


Рис. 9. Влияние содержания активных CaO+MgO в смеси и добавок на автоклавную прочность

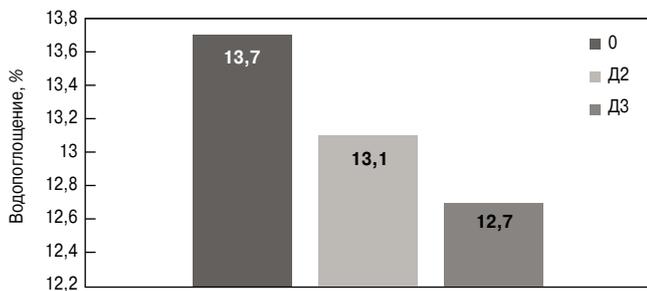


Рис. 10. Изменение водопоглощения прессованных образцов, изготовленных из смесей с добавками D2 и D3 в количестве 10%

Эффект залипания часто можно наблюдать на производстве при низкой активности обожженной извести. При совместном помоле известняка с кирпичом последний будет являться абразивным материалом.

Известняк – это карбонатсодержащий материал, как показали ранее проведенные исследования [8], уве-

личивает сырьевую прочность. Добавка из молотого известняка влияет на сырьевую прочность [9], а добавка из силикатного кирпича влияет на автоклавную прочность.

Путем совместного помола были приготовлены добавки D1 – на молотом известняке, D2 и D3 – с содержанием силикатного кирпича и определена их удельная поверхность. Результаты представлены в табл. 3.

Из формовочных смесей с добавками, взятыми в процентах от количества песка, спрессованы образцы цилиндры диаметром 60 мм и высотой 60 мм. Усилия прессования 20 МПа. На образцах определена плотность и сырьевая прочность. Как показали результаты для смесей с активностью 8, 9%, на песке одного вида сырьевая прочность недостаточна и составляет менее 0,35 МПа. Дальнейшие результаты рассматривались для смесей с активностью 10%. Результаты представлены на рис. 6, 7.

Как видно из полученных результатов, наиболее эффективной является добавка D3 в количестве до 15%.

Добавка D1 эффективна в количестве 5%, а добавки состава D2 и D3 – в количестве 10–15%.

Следовательно, для речного песка с  $M_{кр} = 1$  и при сырьевой прочности 0,3 МПа введение добавки обеспечивает сырьевую прочность с увеличением в 1,7 раза и это составит 0,51 МПа, что и необходимо было получить.

Образцы обработаны в промышленном автоклаве при давлении 1,1 МПа по режиму 3,5+7+2,3 (по режиму ячеистого бетона). Результаты представлены на рис. 8.

Как видно из результатов, для повышения автоклавной прочности наиболее эффективна добавка D3 в количестве 15%.

Результаты автоклавной прочности были проверены на смесях с содержанием активных CaO+MgO 8,9 и 10% с целью снижения активности смеси при применении добавок (рис. 9).

Как видно из результатов, добавка D3 является наиболее эффективной для смесей с содержанием CaO в смеси от 8 до 10%.

По полученным результатам на образцах с добавками D2 и D3 количестве 10% определено водопоглощение, которое представлено на рис. 10.

Как видно из полученных результатов, исследуемые добавки в оптимальном количестве позволяют снизить водопоглощение.

На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы:

- содержание кварца 75,5% в составе силикатного кирпича делает возможным использование последнего в молотом виде как аналога молотого песка;

- наибольшее снижение водопоглощения обеспечивает добавка состава D3

- добавки D1, D2, D3 в оптимальных количествах повышают сырьевую прочность на 10, 56, 73% соответственно.

## References

1. Семёнов А.А. Строительство и промышленность строительных материалов в 2017 году. Краткосрочный прогноз // *Строительные материалы*. 2018. № 4. С. 4–8.
2. Кузнецова Г.В., Гайнутдинова Г.Х. Влияние крупности песка на выбор вида известкового вяжущего // *Строительные материалы*. 2017. № 12. С. 33–37.
3. Кузнецова Г.В. Известь и ее влияние на техническое перевооружение заводов силикатного кирпича // *Строительные материалы*. 2016. № 9. С. 9–14.
4. Володченко А.Н. Влияние глинистых минералов на свойства автоклавных силикатных материалов. *Инновации в науке: Сборник докладов XXI междуна-*
1. Semenov A.A. Construction and building materials industry in 2017. Short-term forecast. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 5, pp. 4–8. (In Russian).
2. Kuznetsova G.V., Gaynutdinova G.Kh. Effect of sand fineness on selection of a lime binder type. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 12, pp. 33–37. (In Russian).
3. Kuznetsova G.V. Lime and Its Influence on Technical Re-Equipment of Silicate Brick Factories. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2016. No. 9, pp. 9–14. (In Russian).
4. Volodchenko A.N. Effect of clay minerals on the properties of autoclave silicate materials. *Innovations in science: a*

- родной научно-практической конференции. Новосибирск: СибАК, 2013.
- Хавкин Л.М. Технология силикатного кирпича. М.: Эколит, 2011. 384 с.
  - Кузнецова Г.В., Морозова Н.Н. Проблемы замены традиционной технологии силикатного кирпича с приготовлением известково-кремнеземистого вяжущего на прямую технологию // *Строительные материалы*. 2013. № 9. С. 14–18.
  - Лаукайтис А.А. Исследование влияния добавки молотых отходов ячеистого бетона на его свойства // *Строительные материалы*. 2004. № 3. С. 33.
  - Кузнецова Г.В., Морозова Н.Н., Хозин В.Г. Карбонатные порошки в производстве силикатного кирпича на бездобавочной извести // *Строительные материалы*. 2015. № 7. С. 10–14.
  - Кузнецова Г.В., Морозова Н.Н. Влияние компонентов известково-кремнеземистого вяжущего на связность известковой массы для прессования // *Строительные материалы*. 2012. № 12. С. 69–72.
  - collection of reports of the XXI International Scientific and Practical Conference. Novosibirsk: SibAK, 2013.
  - Khavkin L.M. Tekhnologiya silikatnogo kirpicha [Technology of silica brick]. Moscow: Ecolit. 2011. 384 p.
  - Kuznetsova G.V., Morozova N.N. Problems of Replacement of Traditional Technology of Silicate Brick with Preparation of a Lime-Siliceous Binder by Direct Technology. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 9, pp. 14–18. (In Russian).
  - Laukaytis A.A. Investigation of the effect of the addition of ground waste of cellular concrete on its properties. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2004. No. 3, pp. 33. (In Russian).
  - Kuznetsova G.V., Morozova N.N., Khozin V.G. Carbonate Powders in Production of Silica Brick with Straight Lime. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2015. No. 7, pp. 10–14. (In Russian).
  - Kuznetsova G.V., Morozova N.N. Influence of Components of a Lime-Siliceous Binder on Cohesion of Molding Material for Pressing. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2012. No. 12, pp. 69–72. (In Russian).

**ИНФОРМАЦИЯ**

## Определены основные параметры финансирования национального проекта «Жилье и городская среда»

Минфин России представил в Правительство проект федерального бюджета на 2019–2021 гг. Бюджетные ассигнования на реализацию государственной программы «Обеспечение доступным и комфортным жильем и коммунальными услугами граждан Российской Федерации» увеличены в 2019 г. более чем на 100 млрд р.

Бюджетные ассигнования на реализацию государственной программы «Обеспечение доступным и комфортным жильем и коммунальными услугами граждан Российской Федерации» в 2019 г. составят 173,6 млрд р, в 2020 г. 169,9 млрд р, в 2021 г. – 167,1 млрд р.

Основные направления, на которые выделяются дополнительные средства – стимулирование жилищного строительства, благоустройство городской среды и расселение аварийного жилья. На реализацию федеральных проектов по этим направлениям предусмотрено чуть больше 100 млрд р ежегодно.

За предстоящие три года на реализацию мероприятий по развитию жилищного строительства из федерального бюджета будет выделено в общей сложности



почти 80 млрд р, на расселение аварийного жилья – 106 млрд р, формирование комфортной городской среды – 133 млрд р.

Помимо этого в проекте бюджета учтены предложения Минстроя России по дополнительному финансированию мероприятий, связанных с выполнением жилищных обязательств перед ветеранами Великой Отечественной войны, обеспечением жильем на родине российских граждан – пенсионеров «Байконура», модернизацией коммунальной инфраструктуры в регионах.

Дополнительно будут профинансированы мероприятия по строительству и реконструкции объектов коммунальной и инженерной инфраструктуры Камчатского края, Республики Северная Осетия-Алания, Архангельской области, Волгоградской области, Владимирской области, Республики Адыгея, Смоленской области, Самарской области, Новгородской области, Республики Алтай, Республики Бурятия. На эти цели бюджетом предусмотрены в 2019 г. 6 млрд р; в 2020 г. 4,3 млрд р и в 2021 г. 3,6 млрд р.

**По материалам Минстроя РФ**

УДК 691.316

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-763-9-17-21>

В.Д. КОТЛЯР, д-р техн. наук (diatomit\_kvд@mail.ru), А.В. КОЗЛОВ, канд. техн. наук (kozlov\_rgsu@mail.ru), О.И. ЖИВОТКОВ, инженер (zvoleg@list.ru), Г.А. КОЗЛОВ, канд. техн. наук (skrudge\_k@mail.ru)

Донской государственный технический университет (344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1)

## Силикатный кирпич на основе зольных микросфер и извести

Представлены основные тенденции производства и применения силикатного кирпича в современном строительстве. Показаны его положительные и отрицательные свойства, главными из которых являются высокая средняя плотность и большая теплопроводность, что сопровождается потерями тепла через ограждающие стены зданий и сооружений. Рассматривается возможность улучшения теплотехнических показателей и снижения плотности данного вида стеновых изделий за счет использования зольных микросфер. Дается характеристика зольных микросфер, которые являются компонентом золошлаковых отходов тепловых электростанций. Они обладают рядом ценных свойств: низкой плотностью, замкнутой микропористостью, благоприятным химико-минералогическим составом, наличием аморфной силикатной стекловатой фазы, что обуславливает активное взаимодействие с известью в условиях повышенных температуры и давления. Приведены данные о влиянии содержания известкового компонента и удельного давления прессования на свойства получаемых изделий и особенности их микроструктуры. Представлены результаты полупромышленных испытаний.

**Ключевые слова:** силикатные изделия, теплопроводность, плотность, прочность, зольные микросферы, известь.

**Для цитирования:** Котляр В.Д., Козлов А.В., Животков О.И., Козлов Г.А. Силикатный кирпич на основе зольных микросфер и извести // *Строительные материалы*. 2018. № 9. С. 17–21. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-763-9-17-21>

V.D. KOTLYAR, Doctor of Sciences (Engineering) (diatomit\_kvд@mail.ru), A.V. KOZLOV, Candidate of Sciences (Engineering) (kozlov\_rgsu@mail.ru), O.I. ZHIVOTKOV, Engineer (zvoleg@list.ru), G.A. KOZLOV, Candidate of Sciences (Engineering) (skrudge\_k@mail.ru)  
Don State Technical University (1, Gagarin Square, Rostov-on-Don, 344000, Russian Federation)

### Calcium-Silicate Brick On The Basis Of Microspheres And Lime

The article deals with the main trends in the production and application of silicate bricks in modern construction. It describes its positive and negative properties, the main of which are its high average density and high thermal conductivity, which is accompanied by losses of heat through the enclosing walls of buildings and structures. The possibility of improving the thermal-technical characteristics and reducing the density of this type of walled products by using ash microspheres is considered. Characterization of ash microspheres, which are a component of ash and slag wastes of thermal power plants is given. They have a number of valuable properties: low density, closed microporosity, favorable chemical-mineralogical composition, presence of amorphous silicate glass wool phase, which causes active interaction with lime under conditions of elevated temperatures and pressure. The article gives the data on the influence of the content of the calcareous component and the specific pressing pressure on the properties of the products obtained and the features of their microstructure. The results of semi-industrial tests are presented.

**Keywords:** silicate products, thermal conductivity, density, strength, ash microspheres, lime.

**For citation:** Kotlyar V.D., Kozlov A.V., Zhivotkov O.I., Kozlov G.A. Calcium-silicate brick on the basis of microspheres and lime. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 9, pp. 17–21. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-763-9-17-21> (In Russian).

Силикатный кирпич находит свое применение практически там же, где и другие мелкоштучные стеновые материалы. Однако его использование часто ограничивается в связи с более высокой плотностью и теплопроводностью [1, 2].

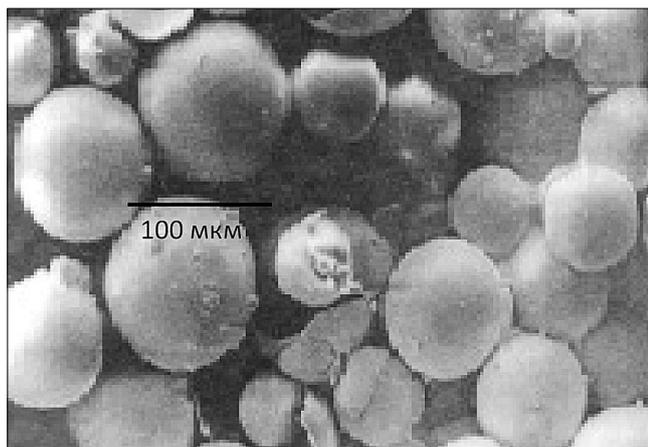
Согласно ГОСТ 379–2015 «Кирпич, камни, блоки и плиты перегородочные силикатные. Общие технические условия» силикатный кирпич изготавливают способом прессования увлажненной смеси из кремнеземистых материалов и извести или других известьесодержащих компонентов с применением пигментов, легких заполнителей и без них и последующим твердением в условиях гидротермальной обработки в автоклаве. Они могут быть рядовыми и лицевыми, прочностью, соответствующей маркам от М100 до М300, морозостойкостью, соответствующей маркам от F25 до F100, водопоглощением не менее 6%, средней плотностью 900–2200 кг/м<sup>3</sup> и ненормируемым значением коэффициента теплопроводности, что достаточно важно для ограждающих стеновых конструкций.

С увеличивающимися темпами жилищного строительства в нашей стране становится все более актуальным вопрос производства эффективных строительных материалов, в том числе и силикатных. В связи с этим производство силикатного кирпича со средней плотностью менее 1000 кг/м<sup>3</sup> является актуальной задачей строительного материаловедения [3–5].

Введенный в действие ГОСТ 379–2015 предусматривает разделение стеновых силикатных изделий на

классы по средней плотности. Снижение средней плотности силикатных изделий достигается двумя способами: первый – за счет создания пустот в объеме изделия, второй – за счет формирования пористой структуры материала различными способами. Существенного улучшения теплофизических свойств и снижения средней плотности для силикатного кирпича можно достигнуть только за счет замены части плотного природного кварцевого песка на пористый заполнитель. Несложные подсчеты показывают, что для получения эффективного силикатного кирпича со средней плотностью менее 900 кг/м<sup>3</sup> из традиционных формовочных масс средней плотностью тела 1800–2200 кг/м<sup>3</sup> необходимо создать пустотность более 60%, что сделать технически сложно и нерационально. Повышенная пустотность не приведет к существенному снижению теплопроводности стеновых конструкций, а уменьшение рабочей площади изделия приведет к резкому снижению прочности. Полнотелый кирпич прочностью при сжатии 200 кг/см<sup>2</sup> после создания 60% пустотности в лучшем случае будет иметь прочность 80 кг/см<sup>2</sup>, что не удовлетворяет требованиям ГОСТ 379–2015.

Наиболее целесообразным является путь, связанный с использованием мелких пористых заполнителей вместо кварцевого песка в составе формовочных масс. Для снижения средней плотности полнотелых изделий 2200 кг/м<sup>3</sup> до средней плотности менее 900 кг/м<sup>3</sup> необходимо порядка 65% его объема заменить на пористый заполнитель с насыпной плотно-



**Рис. 1.** Внешний вид зольных микросфер

стью не более 300 кг/м<sup>3</sup>. При этом наполнитель должен быть не только легкий, но и достаточно прочный, а также обладать реакционной активностью к известковому вяжущему.

На фоне дефицита эффективных наполнителей следует считать перспективной постановку задачи использования легких компонентов, выделяемых из отходов промышленных производств, которые могут стать вторичными ресурсами строительной промышленности. Исходя из рекомендуемого ГОСТ 379–2015 перечня материалов для изготовления силикатных изделий наиболее перспективными являются отходы тепловых электростанций. Таким пористым компонентом для силикатного производства могут стать составляющие отходов от сжигания угля на электростанциях, которые принято называть алюмосиликатными микросферами. Кроме того, актуальность данного направления работ обусловлена необходимостью утилизации отходов ТЭС и будет сопровождаться экологическим и экономическим эффектом и благоприятными изменениями в окружающей среде.

Зольные микросферы (ЗМ) являются компонентом золошлаковых смесей всех ТЭС, сжигающих каменный уголь в пылевидном состоянии. Образование зольных микросфер происходит при высокотемпературном нагреве минеральных компонентов пылеугольного топлива, которые при нагревании претерпевают сложные

фазовые преобразования. Количество, форма и размеры образующихся алюмосиликатных микросфер во многом зависят от состава минеральной части углей, температуры и аэродинамических условий топочной камеры. Поэтому содержание микросфер для различных типов углей неодинаково на различных ТЭС и колеблется в диапазоне от 0,1 до 5% [6–9].

Промышленное использование ЗМ отечественных ТЭС невелико и находится на экспериментальной стадии. В большинстве случаев зольные микросферы сбрасываются в золоотвалы, откуда ветром попадают на большие расстояния по причине своей малой плотности и загрязняют окружающую среду.

Образуются зольные микросферы и на Новочеркасской ГРЭС (Ростовская обл.). Большая часть зольных микросфер накапливается на поверхности отстойных прудов и через водосбросные колодцы попадает в обводной канал системы оборотного водоснабжения электростанции, где накапливается на поверхности канала вблизи гидрозатвора насосной станции. Содержание зольных микросфер Новочеркасской ГРЭС находится в пределах 1–2% от общего количества золошлаковых отходов, что составляет порядка 1500 т в год, или 3750 м<sup>3</sup> в год. В химическом составе ЗМ Новочеркасской ГРЭС преобладающими оксидами являются оксиды кремния, алюминия и железа (табл. 1).

Рентгенофазовый анализ зольных микросфер Новочеркасской ГРЭС показывает, что основным элементом дифракционной картины является широкий диффузный максимум, характерный для стеклофазы с большим содержанием кремнезема. Всегда отмечается присутствие кварца, алюмосиликатов – муллита, силлиманита, кианита, минералов со структурой шпинели. Как правило, эти минералы имеют несовершенную кристаллическую структуру, что обусловлено экстремальными условиями их кристаллизации в процессе быстрого расплавления и остывания исходного сырья. Дифференциальные кривые нагревания ДТА зольных микросфер Новочеркасской ГРЭС характеризуются отчетливо выраженным экзотермическим эффектом в интервале температуры 920–950°C, который связан с выгоранием коксовых остатков, находящихся в составе зольных микросфер. Потеря массы при этом составляет 2,5%. Суммарная концентрация вредных элементов и удельная активность радионуклидов удовлетворяют требованиям санитарных норм.

**Таблица 1**

**Химический состав зольных микросфер Новочеркасской ГРЭС**

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + FeO	K <sub>2</sub> O + Na <sub>2</sub> O	CaO	MgO	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	ППП
50–60	25–35	1–5	0,5–4	0,6–1	0,6–1,6	0,5–1	< 0,1	< 0,1	0,25

**Таблица 2**

**Физико-механические характеристики ЗМ Новочеркасской ГРЭС**

Характеристики	Ед. измерения	Значение
Истинная плотность оболочки	кг/м <sup>3</sup>	2490–2500
Плотность зерен	кг/м <sup>3</sup>	580
Насыпная плотность	кг/м <sup>3</sup>	380–410
Диаметр	мкм	20–200
Толщина оболочки	мкм	2–15
Пустотность	%	28–30
Коэффициент теплопроводности	Вт/(м·°C)	0,11–0,125
Прочность при сжатии в цилиндре	МПа	1,8
Удельная поверхность	см <sup>2</sup> /г	2800–3100

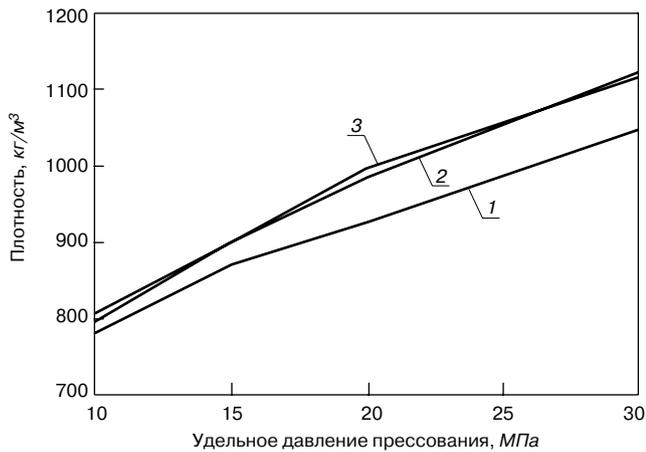


Рис. 2. Зависимость плотности от давления прессования. Содержание известкового компонента: 1 – 10%; 2 – 20%; 3 – 30%

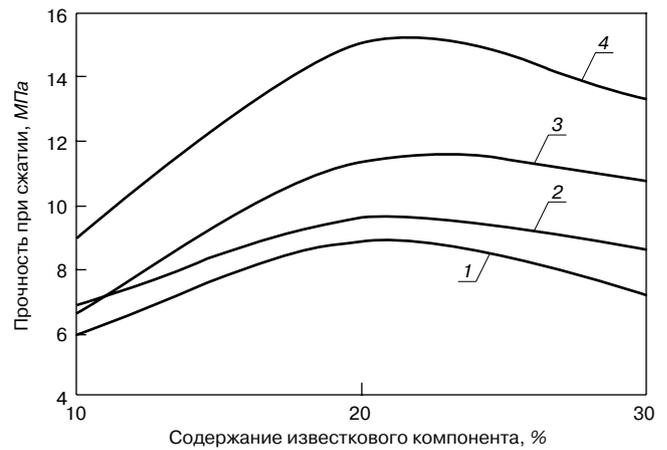


Рис. 3. Зависимость прочности при сжатии от содержания извести. Давление прессования: 1 – 10 МПа; 2 – 15 МПа; 3 – 20 МПа; 4 – 30 МПа

### Результаты испытаний формовочных масс

Таблица 3

Содержание вяжущего	Удельное давление прессования, МПа	Предел прочности при сжатии, МПа	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Водопоглощение, %	Коэффициент размягчения
10%	10	4,9	791	32	0,85
	15	7,2	876	28	0,71
	20	8,1	964	22	0,83
	30	9,9	1077	16	0,92
15%	10	4,9	825	29	0,98
	15	7,1	923	21	0,95
	20	8,4	970	22	0,78
	30	10,1	1103	18	0,91
20%	10	6,6	817	25	0,80
	15	8,4	918	20	0,96
	20	10,2	1014	18	0,90
	30	12,9	1147	15	0,87

Гранулометрический состав зольных микросфер Новочеркасской ГРЭС представлен частицами от 20 до 200 мкм с преимущественным содержанием фракций от 80 до 100 мкм (рис. 1). Основные физико-механические характеристики ЗМ приведены в табл. 2.

С целью уменьшения средней плотности автоклавного бетона в нашей работе часть кварцевого песка заменялась пористым заполнителем из зольных микросфер. Для этого изготавливались составы формовочных масс, содержащие 10, 15 и 20% традиционного силикатного вяжущего, полученного в результате совместного измельчения кварцевого песка и негашеной извести, и заполнитель из зольных микросфер. Из полученных масс формовались образцы методом двустороннего прессования с удельным давлением 10, 15, 20 и 30 МПа. Отформованные образцы подвергались автоклавной обработке по заводскому режиму 2+8+1,5 ч в условиях реального производства ООО «КДСМ» в г. Ростов-на-Дону. У полученных образцов определялась прочность при сжатии, средняя плотность, водопоглощение и коэффициент размягчения. Результаты полученных данных представлены в табл. 3.

По результатам экспериментов было установлено, что замена кварцевого песка зольными микросферами в составе формовочных масс позволяет достичь поставленной цели – снизить среднюю плотность силикатных образцов до значений 790–1080 кг/м<sup>3</sup>. При этом увели-

чение содержания зольных микросфер в составе формовочных масс позволяет уменьшать среднюю плотность силикатных образцов независимо от удельного давления прессования. Резкий скачок средней плотности у образцов, полученных при удельном давлении прессования 30 МПа, связан с частичным дроблением зольных микросфер. Увеличение давления сопровождается плавным ростом плотности образцов независимо от содержания вяжущего. Это свидетельствует о достаточной прочности микросфер, чтобы не разрушаться при традиционных давлениях прессования силикатных изделий.

Прочность получаемых образцов в большей степени зависит от удельного давления прессования и в значительной степени от увеличения содержания силикатного вяжущего, что связано с заполнением межзерновой пустотности микросфер вяжущим и образованием

Таблица 4  
Составы формовочных масс на основе извести

Состав	Известь, %, по сухому веществу	Микросферы, мас. %	Влажность смеси, %
№ 1	10	90	20
№ 2	20	80	
№ 3	30	70	

**Физико-механические свойства изделий опытных партий**

Наименование показателей		Результаты испытаний	Требования ГОСТ 379
Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>		980	900–1000
Предел прочности при сжатии, МПа	среднее	11,4	не менее 10
	наименьшее	11,7	не менее 8
Предел прочности при изгибе, МПа	среднее	2,7	не менее 2
	наименьшее	1,8	не менее 1,3
Водопоглощение, мас. %		20,8	не менее 6
Морозостойкость, циклов		F50	не менее F25

более полноценной контактной зоны на границе вяжущее – заполнитель. Это предположение подтверждается результатами определения водопоглощения образцов, которое уменьшается по мере увеличения удельного давления прессования и расхода вяжущего.

Из литературных источников известен способ получения силикатных стеновых изделий из пористого кремнеземсодержащего заполнителя, пропитанного известковой суспензией (известковым молочком). С целью еще большего снижения средней плотности и повышения прочности автоклавных силикатных изделий были проведены работы по получению образцов из формовочных масс, полученных в результате обработки зольных микросфер известковым молочком. Данный способ предусматривает смешивание двух компонентов: заполнителя в виде зольных микросфер и известки в виде известковой суспензии. Известковое молочко смешивалось с микросферическим заполнителем в процентных соотношениях, представленных в табл. 4. Полученные смеси, как и в случае с традиционным силикатным вяжущим, вылеживались в герметичной таре, после чего из них прессовали образцы при тех же удельных давлениях прессования: 10, 15, 20 и 30 МПа, после чего они подвергались автоклавной обработке в аналогичных условиях.

Из результатов экспериментов, представленных на рис. 2 и 3, видно, что замена силикатного вяжущего на известковое молочко несущественно повлияла на изменение средней плотности образцов, но позволила повысить их прочность. Плотность полученных образцов соответствует классам от 1 до 1,2, что соответствует цели исследований. Кроме того, данный способ приготовления формовочной массы позволит отказаться от длительного и дорогостоящего процесса приготовления силикатного вяжущего.

Как видно из графика на рис. 3, увеличение содержания известкового компонента до 20–22% сопровождается увеличением прочности материала, а затем происходит ее снижение. Снижение прочности происходит вследствие того, что часть известки из-за ее избытка остается свободной и не участвует в процессах образования гидросиликатов кальция. Увеличивающаяся

прочность изделий при увеличении удельного давления прессования объясняется более плотным заполнением структуры материала твердой фазой за счет межзерновой пустотности заполнителя и, по-видимому, частичным дроблением микросфер.

Полученные данные свидетельствуют о возможности получения автоклавных силикатных изделий марок по прочности M100–150 и класса по плотности 1–1,2 из зольных алюмосиликатных микросфер как с использованием традиционного известково-кремнеземистого вяжущего, так и по упрощенной технологии с использованием только известки.

Лабораторные рецептуры и параметры изготовления легли в основу выпуска опытной партии силикатных изделий. Подготовка сырьевых материалов, приготовление формовочной массы и формование изделий проводилось в лабораторных условиях. Автоклавная обработка осуществлялась в заводских условиях по общепринятому режиму. Силикатный кирпич после охлаждения подвергался испытаниям на соответствие требованиям ГОСТ 379–2015.

Результаты испытаний, представленные в табл. 5, свидетельствуют о соответствии полученного силикатного кирпича требованиям ГОСТ 379–2015, который характеризуется маркой по прочности M100, классом средней плотности 1, морозостойкостью F50 и водопоглощением 21%. С технико-экономической точки зрения использование зольных микросфер в производстве силикатных стеновых материалов позволит решить не только техническую задачу, но и экологические проблемы, вызванные необходимостью складирования и хранения этого пылящего и небезопасного отхода производства. Положительные результаты проведенных экспериментов позволяют размышлять о целенаправленном получении микросфер для производства силикатных стеновых изделий, и перспективные работы в этом направлении нами ведутся [10, 11]. Рациональная пустотность изделий позволит снизить среднюю плотность до значений менее 800 кг/м<sup>3</sup>, что будет сопоставимо с плотностью высокоэффективных керамических блоков прочих мелкоштучных изделий повышенной пустотности.

**Список литературы**

- Вахнин М.П., Анищенко А.А. Производство силикатного кирпича. М.: Высшая школа, 1983. 191 с.
- Хавкин Л.М. Технология силикатного кирпича. М.: Эколит, 2011. 384 с.
- Пономарев И.Г. Российский рынок силикатного кирпича // *Строительные материалы*. 2009. № 9. С. 4–11.
- Талпа Б.В., Котляр В.Д., Черевкова Я.В. Перспективы производства силикатного кирпича с улучшенными теплофизическими свойствами на основе кремнистых пород // *Строительные материалы*. 2008. № 11. С. 31–33.

**References**

- Vakhnin M.P., Anischenko A.A. Proizvodstvo silikatnogo kirpicha [Manufacture of silicate bricks]. Moscow: Vysshaya shkola. 1983. 191 p.
- Khavkin, L.M. Tekhnologiya silikatnogo kirpicha [Technology of silica brick]. Moscow: Ecolit. 2011. 384 p.
- Ponomarev I.G. Russian market of silicate brick. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2012. No. 9, pp. 4–11. (In Russian).
- Talpa B.V., Kotlyar V.D., Cherevkova Ya.V. Prospects for the production of silicate brick with improved thermophysical properties based on siliceous rocks. *Stroitel'nye*

5. Спешилова Н.В., Алькеева Э.С., Акулова А.Ш., Старков Д.А. Анализ рынка производства силикатного кирпича в России. *Актуальные вопросы экономики, менеджмента и финансов в современных условиях: Сб. научных трудов по итогам международной научно-практической конференции.* СПб.: ИЦРОН. 2018. № 5. С. 201–205.
  6. Кизильштейн Л.Я., Шпицглюз А.Л. Рылов В.Г. Алумосиликатные микросферы золы пылеугольного сжигания углей // *Химия твердого топлива.* 1987. № 6. С. 122–126.
  7. Мальцев Е.В., Козлов А.В., Каклюгин А.В., Козлов Г.А. Ячеистые бетоны на основе зольных микросфер Новочеркасской ТЭС // *Вестник БелГТАСМ.* 2003. № 5. С. 404–405.
  8. Козлов А.В., Ким С.А., Шпилева А.А. Зольные отходы в производстве стеновых строительных материалов. *Строительство-2013: Материалы международной научно-практической конференции.* Ростов н/Д.: РГСУ, 2013. С. 52–54.
  9. Мальцев Е.В. Эффективный конструкционно-теплоизоляционный легкий бетон // *Известия РГСУ.* 1999. № 4. С. 230–232.
  10. Козлов Г.А., Котляр В.Д., Козлов А.В. Особенности получения эффективного пористого заполнителя из кремнистых пород Ростовской области // *Строительные материалы.* 2009. № 6. С. 88–89.
  11. Котляр В.Д., Козлов Г.А., Животков О.И. Эффективные стеновые материалы с использованием силикат-натриевого пористого заполнителя. *Строительство и архитектура – 2015: Материалы международной научно-практической конференции.* Ростов н/Д.: РГСУ, 2015. С. 291–293.
- Materialy* [Construction Materials]. 2008. No. 11, pp. 31–33. (In Russian).
  5. Speshilova N.V., Alkeeva E.S., Akulova A.Sh., Starkov D.A. Analysis of the market of silicate brick production in Russia. *Actual issues of economics, management and finance in modern conditions: Collection of scientific papers on the results of the international scientific and practical conference.* Sankt-Petersburg: ITSRON. 2018. No. 5, pp. 201–205. (In Russian).
  6. Kizilstein L.Ya., Shpitsgluz A.L. Rylov V.G. Aluminosilicate microspheres of ash of pulverized coal combustion. *Khimiya tverdogo topliva.* 1987. No. 6, pp. 122–126. (In Russian).
  7. Maltsev E.V., Kozlov A.V., Kaklyugin A.V., Kozlov G.A. Cellular concrete on the basis of ash microspheres of Novocherkasskaya TPP. *Vestnik BelGTASM.* 2003. No. 5, pp. 404–405. (In Russian).
  8. Kozlov A.V., Kim S.A., Shpileva A.A. Ash waste in the production of wall building materials. *Stroitel'stvo-2013: Papers of the International Scientific and Practical Conference.* Rostov-on-Don: RGSU. 2013, pp. 52–54. (In Russian).
  9. Maltsev E.V. Effective structural and heat-insulating lightweight concrete. *Izvestiya RGSU.* 1999. No. 4, pp. 230–232. (In Russian).
  10. Kozlov, G.A., Kotlyar, V.D., Kozlov, A.V., Features of obtaining an effective porous filler from siliceous rocks in the Rostov region. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2009. No. 6, pp. 88–89. (In Russian).
  11. Kotlyar V.D., Kozlov G.A., Zhivotkov O.I. Effective wall materials using silicate-sodium porous aggregate. *Construction and Architecture – 2015: Papers of the International Scientific and Practical Conference.* Rostov-on-Don: RGSU. 2015, pp. 291–293. (In Russian).

Реклама


**Новые технологии**  
**Современная теплоизоляция**

Утеплитель Тепофол®

Надежный

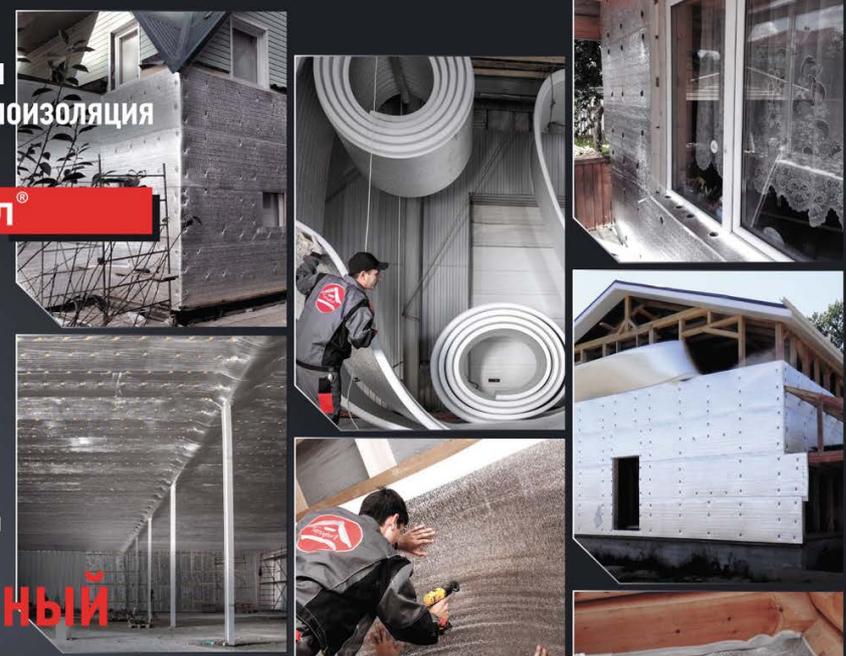
безвредный с неограниченным сроком службы

Уникальный

в рулонах с замковым соединением образует единое теплоизоляционное полотно  
Технология запатентована. Патент № 2645190

Простой и Удобный

легко утеплять и контролировать работу



**Производственная компания ТЕПОФОЛ**

8 (495) 517 3300

8 800 700 3048

105318 Москва, ул. Щербаковская, д. 3

info@tepofol.ru

Tepofol.ru

# Оценка и прогнозирование вариантов технологического процесса в двухшахтной регенеративной печи

## Введение

Процесс производства извести состоит из обжига карбонатов кальция и/или магния при температуре 900–1200°C, которая является достаточной для выделения диоксида углерода и получения оксида кальция и/или магния.

Значения температуры разложения  $\text{CaCO}_3$  подтверждены многими исследованиями и для известняка, как правило, составляют 898°C при давлении 760 мм рт. ст. в 100%-й атмосфере  $\text{CO}_2$  (рис. 1).

Теоретическая теплота разложения:

- незначительно меняется в зависимости от температуры и давления окружающей среды;
- принимается равной 393 ккал/кг известняка при 898°C в условиях равновесия;
- 393 ккал/кг известняка соответствуют 702 ккал/кг извести, а также 2,93 ГДж/т извести или 2,78 кВт·ч/т извести.

В связи с этим даже если главным агрегатом при производстве извести остается печь, в которой кальцинируется известняк, тщательный анализ специфических свойств сырья в сочетании с характеристикой топлива имеет решающее значение для получения высококачественной извести, удовлетворяющей потребности современного рынка.

На протяжении многих лет во всем мире использовались разнообразные аналитические методы и конструкции печей, хотя в последние годы в производстве обжиговых печей преобладает регенеративная печь с двойной шахтой, в основном из-за наименьшего потребления энергии и экологичности технологического процесса.

## Деятельность лаборатории компании Cimprogetti

Компания Чимпроджетти (Cimprogetti) – единственная итальянская компания, которая сконструировала и успешно ввела в эксплуатацию все основные типы известковых печей, включая вращающиеся печи, одношахтные печи, печи с кольцевой шахтой и регенеративные печи. Компания обладает знаниями и опытом, которые позволяют определить преимущества и недостатки каждого типа печей с учетом характеристик выбранного сырья. В последние десятилетия компания поставляла почти исключительно регенеративные двухшахтные печи, так как рынок извести рассматривал этот тип печи как наиболее конкурентоспособный с точки зрения энергоэффективности, позволяющий получить известь высокого качества, либо с наименьшими эксплуатационными расходами, либо с низким уровнем выбросов. Основным усовершенствованием с учетом индивидуальных характеристик используемых карбонатов является определение полного набора технических и научных методов, кото-

рые могут быть полезны для прогнозирования и оценки устойчивости сырья в регенеративной печи (рис. 2).

В последнее время технологическая лаборатория компании Чимпроджетти начала регистрировать научные данные внутренних исследований обо всех камнях, отправленных нашими клиентами, а также результаты пробных испытаний на производственной площадке, благодаря чему улучшены применяемые методы испытаний.

Для получения извести, характеристики которой являются удовлетворительными для рыночного спроса, необходимо подавать в печь чистые карбонатные породы, т. е. высококачественный известняк или доломит (рис. 3).

Среди различных параметров значимым ограничением для регенеративных печей является физическое и механическое поведение породы (растрескивание камня) во время прокаливания (механический тест на деградацию) и после термического шока (испытание на падение).

Возможна такая ситуация, когда доступные породы имеют хорошее качество с точки зрения химического и минералогического состава, но являются непригодными для обжига в регенеративной печи, поскольку происходит ухудшение их механических свойств в процессе прокаливания (например, мрамор).

В связи с этим при определении индивидуальной конструкции печи компания Чимпроджетти придает большое значение множеству предварительных характеристик, получаемых в лаборатории для каждого сырьевого материала, поставляемого клиентом. Во внимание принимается фактическое поведение известняка и качество выбранного топлива, чтобы гарантировать конечный продукт в соответствии с запросом заказчика (рис. 4).

## Новый методологический подход

Новый методологический подход позволяет объединить данные процесса, собранные во время операции с «полем исследований», разработанной в технологическом отделе компании Чимпроджетти.

Предварительно проводится литологический анализ полученного образца породы с целью оценки важных физических параметров, таких как цвет, объемная плотность, пористость и случайная поверхностная пыль. Затем образцы промывают и вырезают алмазной проволокой призму со стандартным размером. Призмы горной породы полируются с помощью глянцевого спрея и выполняется макроскопическое описание.

Тот же образец используется для получения тонкого среза толщиной 30 мкм, который исследуется под поляризационным микроскопом. Петрографический анализ позволяет различать осадочные микрофракции мадстоуна и грайнстоуна, характерные для осадочных карбонатных пород, а также степени кристаллизации и размер кристаллов диагенетических и метаморфических карбонатных пород. Кроме того, исследование изображений также позволяет экстраполировать цифровые данные для количественного анализа. Например, можно определить соотношение между микритом и шпатовидным кальцитом и распределение кристаллов по размерам.

В 2015 г. были сделаны важные инвестиции для приобретения новой установки неразрушающего контроля (рентгеновская флуоресценция и рентгеновская дифракция), которые позволяют выполнить уни-

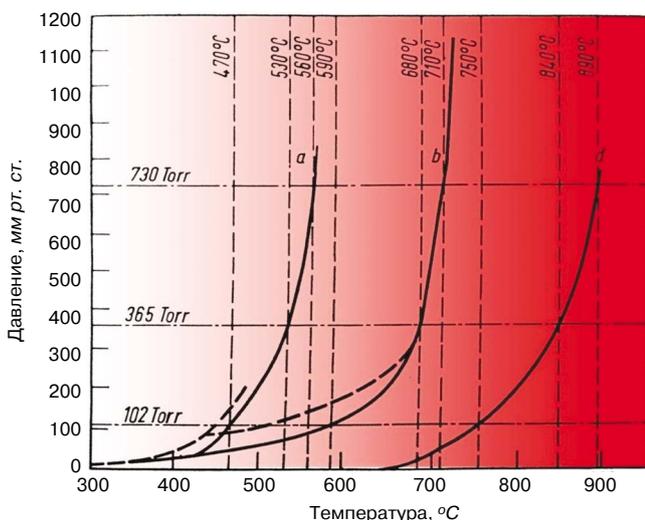


Рис. 1. График термического разложения карбонатных пород



Рис. 2. Распределение на карте мира коммерческих известняков и доломитов, проанализированных компанией Чимпроджетти

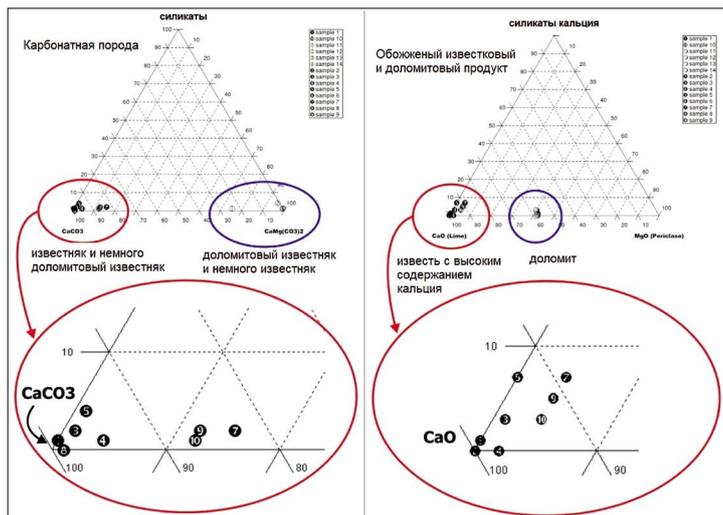


Рис. 3. Схема прогнозирования качества извести в зависимости от показателя исходных материалов

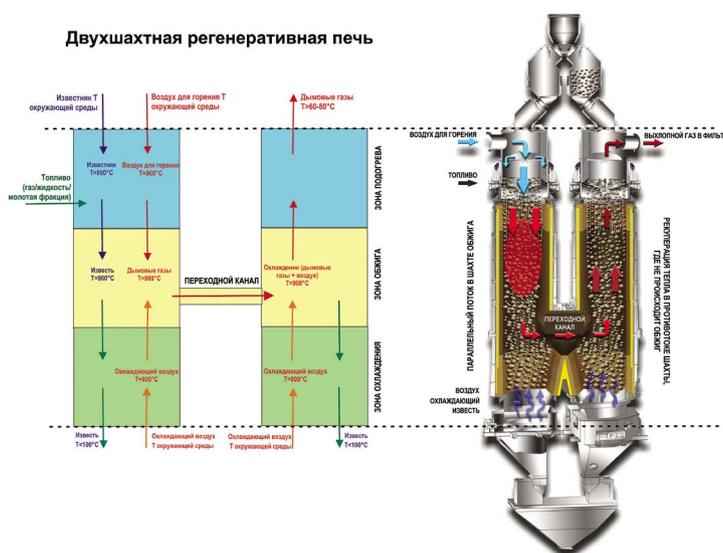


Рис. 4. Технологический процесс в регенеративной печи с двойной шахтой



Рис. 5. Схематическое изображение факторов, влияющих на выпуск требуемого продукта

кальный анализ данных, поступающих из технологической лаборатории компании Чимпроджетти.

Кроме того, проводятся различные технологические испытания, которые определяют характер обжига. Он оценивается стандартным испытанием на горючесть, что приблизительно эквивалентно термогравиметрическому анализу, но выполняется на образцах массивных горных пород с учетом потери при прокаливании через определенное время при определенной температуре.

Испытание на пережог при 1300°C, согласно внутреннему методу, изобретенному в компании Чимпроджетти, позволяет прогнозировать тенденцию адгезии извести при максимальной температуре печи. Этот тест во всем мире признан несколькими производителями извести в качестве стандарта для проверки агломерации извести в регенеративной печи с двойной шахтой (TSR).

«Интеллект-карта» компании Чимпроджетти сопоставляет различные факторы, определяющие связь между различными типами породы и выбором процесса кальцинации (рис. 5).

**Карьер**

Более низкое содержание примесей также обычно улучшает свойства извести, но комбинация примесей в породе и топлива, как правило, влияет на качество при термодинамическом прокаливании и приводит к образованию разных и неподвижных фаз. Именно по этой причине важно глубокое знание месторождения, в котором добывается материал.

**Конструкция печи**

Термическое разложение, смоделированное в лаборатории компании, позволяет определить конструкцию и параметры печи. Время пребывания CaO в печи является решающим в процессе обжига. Было отмечено, что время пребывания должно быть как можно короче для «чувствительной» породы. Тем не менее время пребывания в печи должно быть достаточным для того, чтобы тепло могло проникнуть в частицы CaCO<sub>3</sub> и вытеснить CO<sub>2</sub>. Обжиг проходит либо при низкой температуре и длительном времени пребывания в печи, либо при высокой температуре и коротком времени пребывания в печи в зависимости от типа породы. Избыточный уровень воздуха оказывает значительное воздействие не только на тепловую эффективность, но и на форму и размер пламени.

**Выбор топлива**

Качество топлива и его стабильность, а точнее, тонина порошка твердого топлива должны оцениваться на этапе проектирования для повышения качества извести и лучшего контроля работы печи.

**Технология**

Новый методологический междисциплинарный подход имеет конечную цель – извлечь информацию из набора данных и преобразовать ее в доступную для понимания структуру для дальнейшего прогнозирования конечного применения промышленной негашеной/гидратированной извести.

**Об авторе**

Инженер-химик доктор Лука Сарандреа с 2011 г. является научно-техническим директором компании Чимпроджетти.

Он отвечает за весь объем работ конструкторского отдела по проектированию механического и электрического оборудования, контролирует разработку технологического процесса, научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки по созданию новых агрегатов и работу лаборатории. Он также отвечает за деятельность по разработке проекта, обеспечивает поддержку и координирует управление проектами и работу технического и коммерческого персонала по всему миру. На данный момент он является точкой отсчета в отношении всех проектов, которые компания развивает, от технических аспектов проекта до управления производственными ресурсами по всему миру.

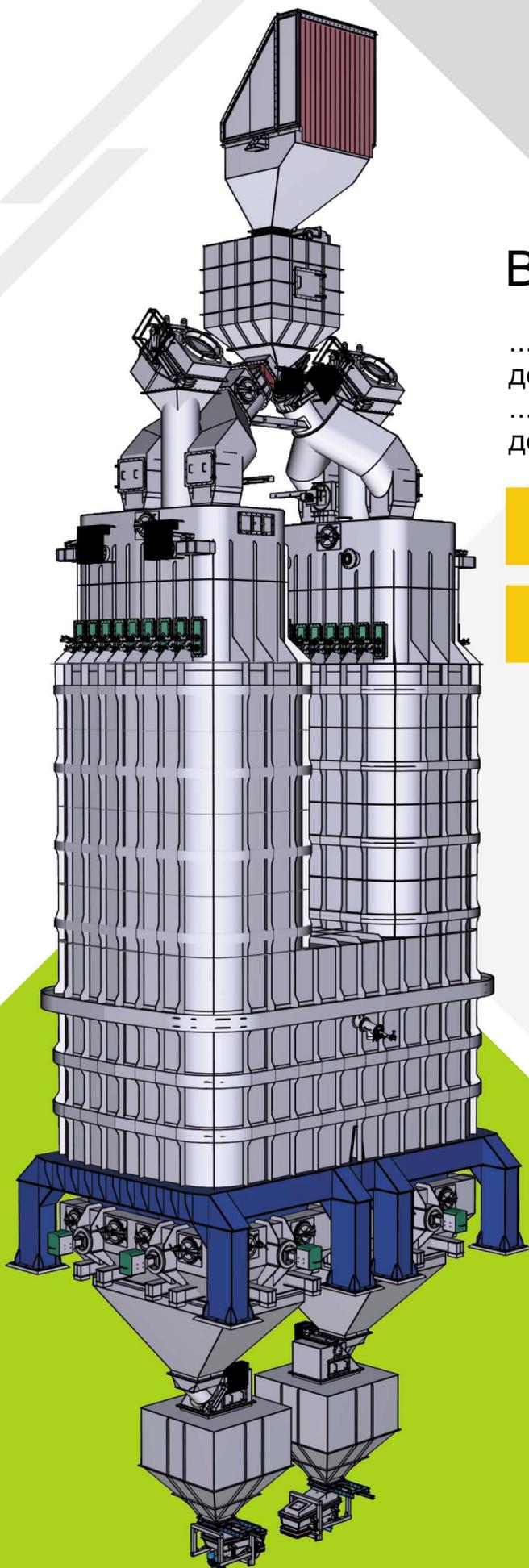
Л. Сарандреа, технический директор, Компания Cimprogetti Srl, Италия

**CIMPROGETTI**<sup>®</sup>THE GREEN EDGE OF  
LIME TECHNOLOGIES

## Ваш Идеальный Поставщик

... от небольшой установки  
до крупной линии по производству извести  
... от проектирования, инжиниринга и поставки  
до контракта на условиях поставки "под ключ"

- известковообжигательные печи с производительностью до 800 т/сутки
- установки для гашения извести с производительностью до 60 т/час



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

**www.cimprogetti.com**

Cimprogetti Srl | Via Pasubio, 5 | 24044 Dalmine (Italy) | ph. +39 035 4550 111 | fax +39 035 4550 335 | email: inform@cimprogetti.com

А.Н. ВОЛОДЧЕНКО, канд. техн. наук (volodchenko@intbel.ru),  
В.В. СТРОКОВА, д-р техн. наук (vvstrokova@gmail.com)

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

## Разработка научных основ производства силикатных автоклавных материалов с использованием глинистого сырья

В настоящее время развитие производства автоклавных силикатных материалов сдерживается высокой энергоемкостью и истощением запасов кварцевого песка, являющегося традиционной сырьевой базой, а также ограниченной возможностью повышать эксплуатационные характеристики автоклавных материалов на основе традиционного сырья. Для повышения эффективности производства как плотных, так и ячеистых силикатных материалов доказана возможность использования глинистых пород незавершенной стадии минералообразования. Установлена особенность фазообразования в известково-песчано-глинистой системе, заключающаяся в ускорении синтеза полиминерального состава новообразований за счет породообразующих минералов пород незавершенной стадии минералообразования, что оптимизирует микроструктуру новообразований. Определены рациональные кинетические параметры взаимодействия в известково-глинистой системе и величина максимального поглощения глинистыми минералами извести, что позволило разработать методику расчета сырьевой смеси для получения плотных и ячеистых автоклавных материалов с высокими эксплуатационными показателями.

**Ключевые слова:** глинистые породы, известь, автоклавные силикатные материалы.

Работа выполнена при финансовой поддержке Гранта Президента для научных школ НШ-2724.2018.8.

**Для цитирования:** Володченко А.Н., Строкова В.В. Разработка научных основ производства силикатных автоклавных материалов с использованием глинистого сырья // *Строительные материалы*. 2018. № 9. С. 25–31. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-763-9-25-31>

A.N. VOLODCHENKO, Candidate of Sciences (Engineering) (volodchenko@intbel.ru),  
V.V. STROKOVA, Doctor of Sciences (Engineering) (vvstrokova@gmail.com)  
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (46, Kostyukova Street, Belgorod, 308012, Russian Federation)

### Development of Scientific Bases for Production of Silicate Autoclave Materials Using Clay Raw Materials

At present the development of the production of autoclave silicate materials is restrained by high energy intensity and depletion of quartz sand reserves, which is a traditional raw material base, as well as by a limited opportunity to improve the performance characteristics of autoclave materials based on traditional raw materials. To increase the efficiency of production of both dense and cellular silicate materials, the possibility of using clay rocks of the incomplete stage of mineral formation has been proved. A specific feature of the phase formation in the calcareous-sandy-clay system has been established. It consists in accelerating the synthesis of the polymineral composition of neoplasms due to the rock-forming minerals of the rocks of the incomplete mineral formation stage, which optimizes the microstructure of the neoplasms. The rational kinetic parameters of the interaction in the calcareous-clay system and the magnitude of the maximum absorption of lime by clay minerals have been determined, which made it possible to develop a technique for calculating the raw mix for producing dense and cellular autoclave materials having high performance.

**Keywords:** clay rocks, lime, autoclave silicate materials.

The work was carried out with the financial support of the President's Grant for scientific schools NSH-2724.2018.8.

**For citation:** Volodchenko A.N., Strokov V.V. Development of scientific bases for production of silicate autoclave materials using clay raw materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 9. pp. 25–31. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-763-9-25-31> (In Russian).

Производство силикатного кирпича за последнюю четверть века значительно сократилось. Несмотря на то, что объемы выпуска автоклавного газобетона характеризуются ежегодным ростом, его производство отличается высокими затратами энергии. Проблемы, которые возникли в области производства материалов автоклавного твердения, обусловлены следующими причинами: традиционная технология основана на использовании кварцевого песка, запасы которого истощаются; высокими энергозатратами, связанными с помолем известково-кремнеземистого вяжущего и продолжительным автоклавированием при высоком давлении. Кроме того, в технологии ячеистых материалов используется цемент, роль которого ограничивается доавтоклавным структурообразованием.

При использовании традиционного известково-песчаного сырья синтез новообразований протекает преимущественно в системе  $\text{CaO}-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$  [1, 2 и др.]. Однако при этом ограничивается фазовый состав цементирующего вещества и соответственно повышение

прочностных показателей автоклавных материалов возможно за счет увеличения количества новообразований и формирования рационального соотношения гидросиликатов кальция различной основности, что, в свою очередь, приводит к увеличению энергозатрат на производство.

В этой связи особую актуальность приобретают задачи по разработке научных основ совершенствования технологии автоклавных материалов, методов управления их структурообразованием на различных технологических этапах за счет использования местного сырья и отходов промышленности, что позволит расширить сырьевую базу и снизить энергозатраты при производстве широкой номенклатуры силикатных автоклавных материалов [3–11]. Одним из возможных путей решения этих задач является применение в качестве сырья глинистых пород незавершенной стадии минералообразования, широко распространенное на территории Российской Федерации и во многих странах мира (рис. 1).

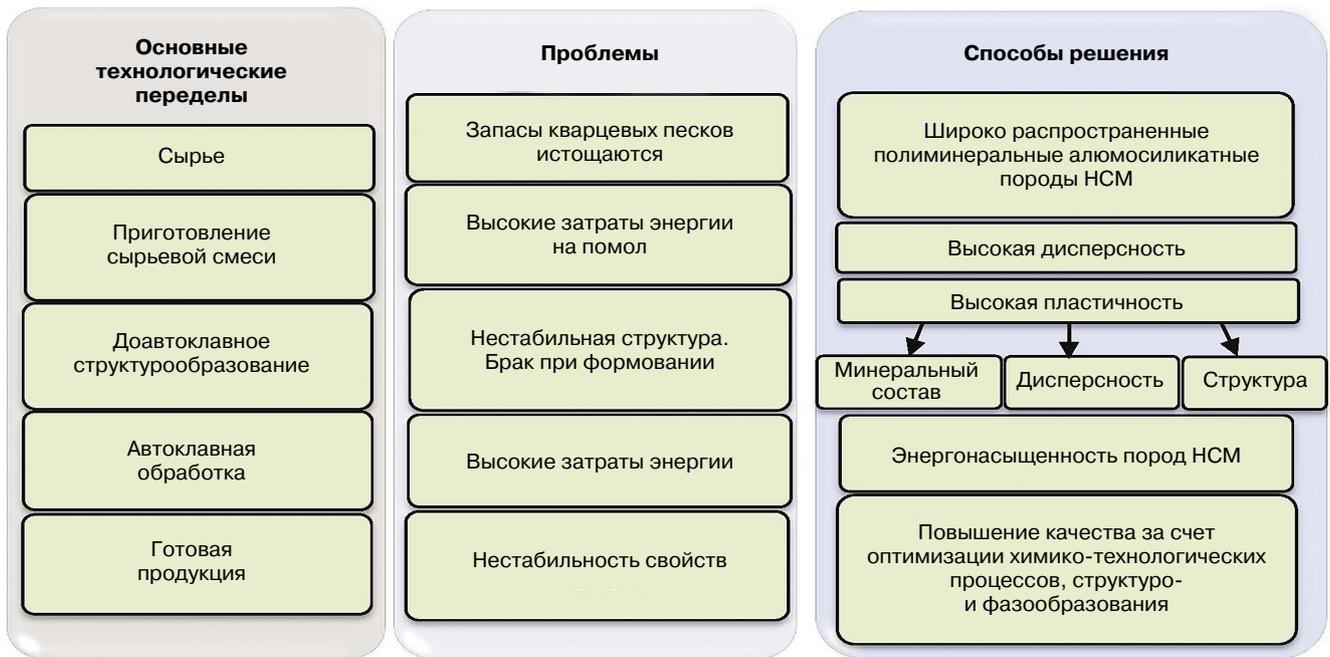


Рис. 1. Пути повышения эффективности автоклавных силикатных материалов

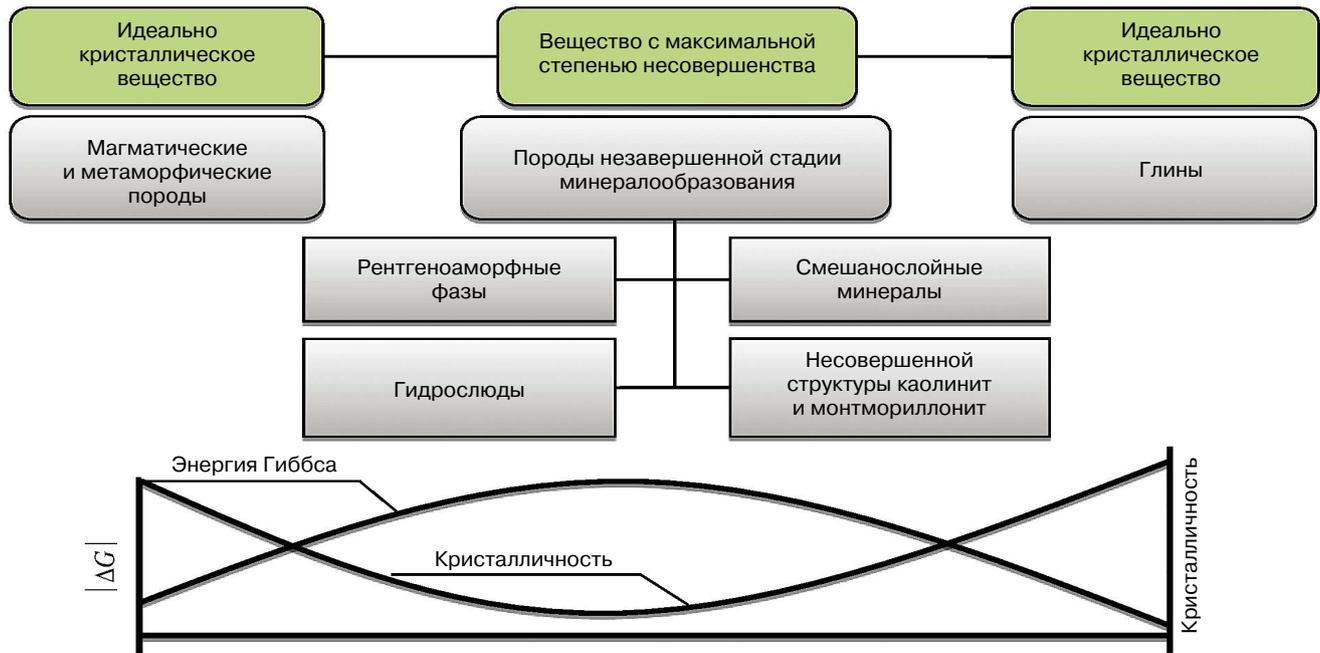


Рис. 2. Трансформация вещества в результате экзогенных процессов

Такие отложения, относящихся к механо- и хемо-активированным магматическим и метаморфическим алюмосиликатным горным породам, формируются в результате экзогенных процессов выветривания исходных пород, в результате которых происходит преобразование исходной каркасной структуры полевых шпатов в слоистую структуру глинистых минералов. При этом на промежуточной стадии выветривания образуются породы, которые занимают значительный участок на линии трансформации вещества и преобладающие в природе (рис. 2).

Спецификой данных пород является наличие таких термодинамически неустойчивых минералов, как несовершенной структуры гидрослюда, смешанослойные минералы, рентгеноаморфное вещество, а также тонкодисперсный слабоокатанный кварц и др. Формирование

таких соединений сопровождается разупорядочением кристаллической структуры исходных минералов, что приводит к увеличению энтропии системы и энергии Гиббса и соответственно к повышению термодинамической неустойчивости пород. При использовании такого сырья фазообразование происходит по сложной системе —  $\text{CaO}-[\text{SiO}_2-\text{Al}_2\text{O}_3-(\text{MgO})]-\text{H}_2\text{O}$ , что обеспечивает формирование цементирующего вещества полиминерального состава [12–15].

Данные о формировании осадочных пород и коры выветривания, а также сопоставление особенностей процессов фазообразования в автоклавных материалах с природными аналогами минералообразования позволили предложить схему экзогенных процессов выветривания глинистых пород как сырьевой базы автоклавных материалов (рис. 3).

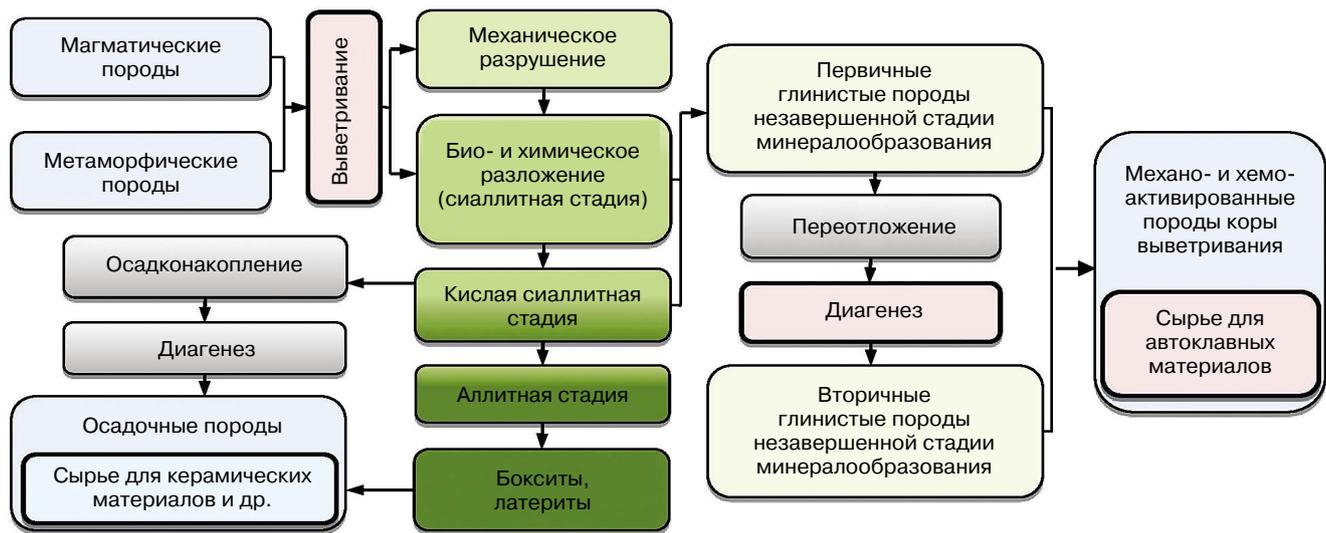


Рис. 3. Схема экзогенных процессов выветривания глинистых пород как сырьевой базы автоклавных материалов

К породам незавершенной стадии минералообразования относятся продукты, образовавшиеся после сиаллитной и частично кислой сиаллитной стадии выветривания.

В процессе выветривания кристаллическая решетка породообразующих минералов частично дезинтегрируется, что приводит к увеличению энергетического потенциала сырья. За счет этого, в свою очередь, в автоклавных условиях возможно ускорение процессов фазообразования и, как следствие, снижение энергозатрат при производстве автоклавных материалов.

Для изучения влияния глинистых минералов на процессы фазообразования рассмотрена модельная известково-песчано-глинистая система в основе мономинеральных глин – каолиновой и монтмориллонитовой. Фазообразование в этой системе изучали в условиях автоклавной обработки при давлении 1 МПа и времени изотермической выдержки 6 ч. Повышение и сброс давления составил по 1,5 ч.

Установлено, что в изучаемой системе образуются низкоосновные гидросиликаты кальция и гидрогранаты. Соотношение этих фаз зависит от вида глинистых минералов. Чем больше кремнезема и меньше глинозема в составе глинистых минералов, тем больше образуется гидросиликатов кальция и меньше гидрогранатов.

Изучение кинетики взаимодействия оксида кальция с глинистыми минералами показало, что с максимальной скоростью CaO поглощается первые 20 мин гидротермальной обработки. С увеличением количества новообразований реакция переходит из кинетической области в диффузионную, что приводит к замедлению поглощения CaO. Определено, что содержание CaO в известково-глинистой смеси, при котором структура глинистых минералов полностью разрушается, составляет 28–30 мэкв/г глинистых минералов. При этом обеспечиваются рациональные кинетические параметры реакции. Установлено, что глинистая фракция пород незавершенной стадии минералообразования обладает более высокой реакционной способностью, чем мономинеральные каолинит и монтмориллонит.

На основе полученных данных разработана методика расчета рационального состава сырьевой смеси из глинистого сырья, которая основана на условии полного взаимодействия глинистых минералов с CaO.

В системе на основе известково-песчаного сырья цементующее вещество формируется за взаимодействия извести и кварца. При использовании глинистого

сырья новообразования синтезируются преимущественно за счет взаимодействия известкового компонента с глинистыми минералами, а также частично с тонкодисперсным кварцем. При недостаточном количестве глинистых минералов для полного взаимодействия с известью после автоклавной обработки в образце остается несвязанный гидроксид кальция. Такой характер формирования цементующего вещества в известково-песчано-глинистой смеси приводит к снижению прочности автоклавных материалов, содержащих недостаточное для взаимодействия с известью количество глинистых минералов.

Установлена особенность фазообразования в известково-песчано-глинистой смеси, заключающаяся в ускорении синтеза полиминерального состава новообразований за счет высокорекреационных породообразующих минералов пород незавершенной стадии минералообразования, что оптимизирует микроструктуру новообразований и повышает физико-механические свойства автоклавных материалов. При этом формируется цементующее соединение на основе гидросиликатов кальция различной основности и гидрогранаты.

Апробация теоретических и экспериментальных исследований проводилась с использованием пород месторождений РФ и зарубежных государств. С этой целью изучены вещественный состав глинистого сырья месторождений Курской магнитной аномалии (КМА), Архангельской алмазонасной провинции (ААП), Воронежской и Новгородской областей, а также глинистые породы Республики Йемен.

По химическому составу породы незавершенной стадии минералообразования (суглинки, супеси) относятся к категории кислых. Пороодообразующие минералы представлены гидрослюдой, смешанослойными образованиями, рентгеноаморфной фазой, кварцем и другими второстепенными минералами. Магнезиальные глины месторождений ААП содержат преимущественно сапонит (свыше 90 мас. %).

Оценка химического состава проведена с использованием соотношения молей  $Al_2O_3/SiO_2$  и суммы молей плавней ( $\sum R_2O+RO+Fe_2O_3$ ), которые для всех изученных пород попадают соответственно в пределы 0,08–0,17 и 0,054–0,826. Эти данные можно использовать для экспресс-оценки пригодности глинистого сырья для производства автоклавных материалов.

В известково-песчано-глинистой системе формирование цементующего вещества ускоряется за счет высокой реакционной способности породообразующих

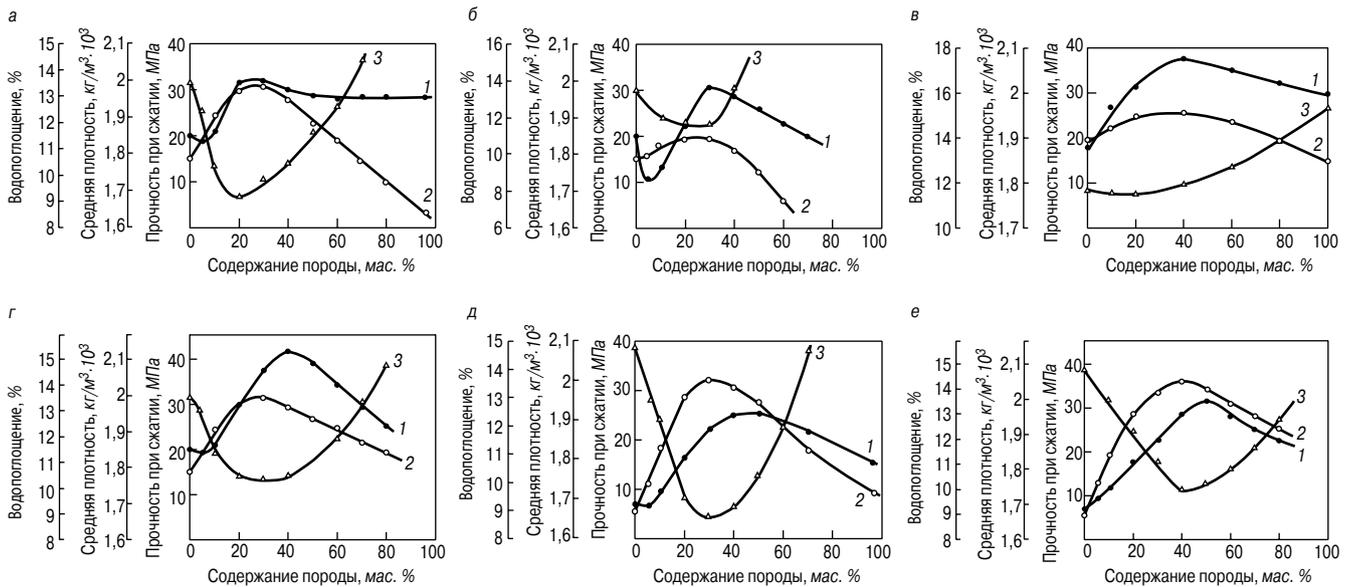


Рис. 4. Физико-механические свойства прессованных силикатных материалов на основе глинистого сырья (CaO<sub>акт</sub> 8 мас. %): а – суглинок месторождения КМА; б – глина опоковидная месторождения КМА; в – отсев обогащения месторождения, Воронежская обл.; г – глина монтмориллонит-гидроалюдино-кварцевая месторождения КМА (CaO<sub>акт</sub> 4 мас. %); д – суглинок месторождения КМА; е – глина монтмориллонит-гидроалюдино-кварцевая месторождения КМА; 1 – предел прочности при сжатии; 2 – средняя плотность; 3 – водопоглощение

Таблица 1  
 Предел прочности при сжатии автоклавных материалов в зависимости от состава сырья и времени изотермической выдержки

Сырье	Содержание CaO <sub>акт</sub> , мас. %	Предел прочности при сжатии, МПа, при времени изотермической выдержки, ч				
		9,1	10	13,2	20	24,1
Известково-песчаное	8	9,1	10	13,2	20	24,1
Известково-песчано-глинистое (30 мас. % суглинки месторождения КМА)	4	23,2	23,1	23	23	23
	8	31,0	32	33,1	31,5	29,5

минералов, что позволит использовать изучаемое сырье при производстве плотных и ячеистых автоклавных материалов широкой номенклатуры. Таким образом, геологические процессы сформировали такие породы, которые интенсифицируют синтез цементирующего вещества рациональной микроструктуры.

Установлено, что изучаемое глинистое сырье повышает предел прочности при сжатии прессованных автоклавных материалов в 1,5–2 раза (рис. 4). Рациональное содержание глинистых пород составляет 20–40 мас. %. Также возможно сокращение расхода извести в два раза.

Средняя плотность автоклавных материалов при содержании рационального количества глинистых пород составляет 1950–2050 кг/м<sup>3</sup>. При этом наибольшее значение предела прочности при сжатии соответствует максимальной средней плотности и минимальное водопоглощение.

Полученные данные подтвердили результаты испытаний глинистых пород незавершенной стадии образования месторождений Республики Йемен. Прочность при сжатии прессованных автоклавных материалов на их основе повышается в два раза, при этом возможно сокращение времени автоклавной обработки.

Установлено, что высокая реакционная способность изучаемого глинистого сырья позволяет снизить давление автоклавной обработки и сократить время изотермической выдержки изделий в автоклаве, что уменьшит энергозатраты на производство. Например, автоклавные материалы, содержащие 30 мас. % суглинка КМА при давлении 1 МПа, набирают максимальный предел прочности при сжатии уже после 2–3 ч изотермической выдержки, в то время как на основе известково-песча-

ного сырья максимальная прочность достигается через 8 ч изотермической выдержки (табл. 1).

Разработаны составы сырьевых смесей и технологические режимы производства для получения прессованных автоклавных материалов с пределом прочности при сжатии от 15 до 40 МПа (табл. 2). Сокращение времени изотермической выдержки в два-три раза и давления автоклавирования в два раза позволит снизить энергозатраты на производство, увеличить производительность заводов и продлить срок эксплуатации автоклавов.

Повышение эффективности прессованных материалов связано в значительной степени с производством высокопустотных изделий. Однако на основе традиционного известково-песчаного сырья сложно получить высокопустотные изделия ввиду низкой прочности сырья. Полученные данные показали возможность повышения прочности сырья в 3–6 раз за счет использования глинистого сырья (табл. 3).

При автоклавной обработке высокопустотных изделий существенно повышается площадь соприкосновения среды с сырьем. Это приводит к более быстрому разогреву изделий, пустоты способствуют протеканию этого процесса равномерно по объему, снижается расход энергии на разогрев. При этом формируется более прочная микро- и макроструктура материала за счет уменьшения внутренних напряжений, возникающих в материале.

На основе изученного глинистого сырья можно получать автоклавные прессованные материалы с пустотностью 40–50%. Предел прочности при сжатии составляет 12,5–20 МПа, средняя плотность – 900–1200 кг/м<sup>3</sup>.

Таблица 2

Технологические параметры для получения плотных автоклавных материалов с заданными свойствами

Предел прочности при сжатии, МПа	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Содержание СаО <sub>акт</sub> , мас. %	Содержание сырья, мас. %			Давление автоклавирования, МПа	Время изотермической выдержки, ч
			Отсев песка (Новгородская обл.)	Супесь ААП	Магнезиальная глина (ААП)		
40	2010	8	–	–	15	0,8	5,5
	1830	10	35	–	–	1,2	9,5
	1970	5,8	–	40	–	1,1	3,5
30	1980	8	–	–	15	0,7	2
	1900	7,7	35	–	–	0,9	8
	1980	8,5	–	40	–	0,6	3,5
20	2010	6	–	–	20	0,4	4
	1880	7	35	–	–	0,9	3
	2000	4	–	30	–	0,6	2
15	2025	4	–	–	20	0,4	4
	1815	5,5	35	–	–	0,6	6,5

Морозостойкость прессованных материалов на основе глинистого сырья составляет 35–50 циклов. Испытания на воздухоустойчивость показали, что после 100 циклов попеременного увлажнения-высушивания потеря прочности составила от 14,2 до 24,5%, что является допустимым показателем по воздухоустойчивости. Полиминеральный фазовый состав новообразований также обуславливает высокую устойчивость к действию углекислого газа, за счет чего степень карбонизации материалов на основе исследуемых пород на 13–47% меньше, чем известково-песчаных.

В связи с возросшими требованиями к теплозащитным свойствам зданий и сооружений большую актуальность приобретает задача разработки эффективных теплоизоляционных материалов, в частности автоклавных ячеистых бетонов. Одним из способов решения этой задачи является замена традиционного сырья, которое исчерпало возможности по повышению качества изделий на сырье, обеспечивающее формирование состава и структуры цементирующего вещества, которое обеспечит высокие эксплуатационные свойства. Это возможно за счет использования пород незавершенной стадии минералообразования, что обеспечит синтез новообразований полиминерального состава в системе СаО–[SiO<sub>2</sub>–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–(MgO)]–H<sub>2</sub>O.

Использование глинистого сырья позволяет исключить из состава сырьевой смеси цемент, который используется для стабилизации структуры газобетона в доавтоклавный период. Формовочные газобетонные смеси на основе глинистого сырья характеризуются более плавным набором пластической прочности в сравнении с традиционными известково-песчаными за счет наличия частиц коллоидных размеров, что приводит к формированию однородной мелкопористой структуры.

Глинистые породы незавершенной стадии минералообразования ускоряют формирование рациональной

Таблица 3  
Предел прочности при сжатии сырца в зависимости от вида и количества пород НСМ

Порода	Предел прочности при сжатии сырца, МПа, при содержании породы, мас. %				
	10	20	30	40	50
Суглинок КМА	0,71	1,23	1,58	1,7	1,73
Магнезиальная глина ААП	0,85	1,32	1,71	2,09	2,26
Суглинок месторождения Республики Йемен	0,61	0,96	1,13	1,22	1,3

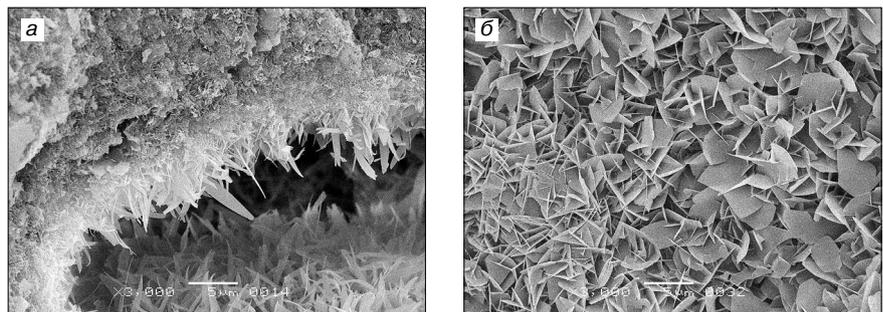


Рис. 5. Микроструктура газобетона на основе: а – кварцевого песка с содержанием 15 мас. % магнезиальной глины месторождения ААП; б – супеси месторождения ААП

макро- и микроструктуры газобетона (рис. 5) с уплотненными межпоровыми перегородками, что позволяет повысить физико-механические свойства изделий и расширить номенклатуру ячеистых бетонов. Глинистые породы, как правило, обладают высокой удельной поверхностью, которая составляет 110–140 м<sup>2</sup>/кг. Это позволяет исключить предварительный помол сырья при изготовлении ячеистого бетона со средней плотностью 700 кг/м<sup>3</sup>. Рациональное содержание извести в сырьевой смеси на основе глинистых пород составляет 12–18 мас. %.

Разработана энергосберегающая технология производства конструкционно-теплоизоляционных ячеистых материалов на основе глинистого сырья с маркой по средней плотности D500 и D700 и классом прочности при сжатии В2,5 и В3,5 (табл. 4) и теплоизоляционных марки D350 и D400 с пределом прочности при сжатии 0,7–2,4 МПа. Теплопроводность составляет 0,053–0,09 Вт/(м·°С) (табл. 5).

**Таблица 4**

**Рациональные составы и свойства конструкционно-теплоизоляционного ячеистого бетона**

Кремнеземистый компонент	Состав вяжущего, мас. %					Отношение кремнеземистого компонента к вяжущему	Содержание СаО <sub>акт</sub> , мас. %	Предел прочности при сжатии, МПа	Класс прочности	Марка по морозостойкости	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)
	Известь	Супесь ААП	Магнезальная глина	Супесь КМА	Песок кварцевый						
S <sub>уд</sub> = 140 м <sup>2</sup> /кг		D700									
Песок кварцевый	40	-	-	-	60	1,5	16	4,1	2,5	15	0,17
Песок кварцевый	40	-	37,5	-	22,5	1,5	16	4,8	3,5	25	0,16
Супесь ААП	40	60	-	-	-	1,5	16	5,4	3,5	25	0,15
Супесь КМА	45	-	-	55	-	1,5	18	4,6	3,5	25	0,15
S <sub>уд</sub> = 250 м <sup>2</sup> /кг		D500									
Песок кварцевый	40	-	-	-	60	1,5	16	2,5	2	25	0,12
Песок кварцевый	40	-	37,5	-	22,5	1,5	16	3	2,5	25	0,11
Супесь ААП	40	60	-	-	-	1,5	16	3,4	2,5	25	0,11
Супесь КМА	45	-	-	55	-	1,5	16	2,9	2,5	25	0,12

**Таблица 5**

**Рациональные составы и свойства теплоизоляционного ячеистого бетона**

Кремнеземистый компонент, S <sub>уд</sub> = 350 м <sup>2</sup> /кг	Состав вяжущего, мас. %							Отношение кремнеземистого компонента к вяжущему (С)	Содержание СаО <sub>акт</sub> , мас. %	В/Т растворной смеси	Марка по средней плотности	Прочность при сжатии, МПа	Класс по прочности	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)
	Известь	Магнезальная глина	Опоявидная глина	Монтмориллонит-гидрофлюидно-кварцевая	Супесь ААП	Супесь КМА	Песок кварцевый							
Песок кварцевый	40	-	-	-	-	-	60	1,5	16	0,54	350	1,55	1	0,09
										0,5	400	1,8	1	0,1
Песок кварцевый	40	37,5	-	-	-	-	22,5	1,5	16	0,64	350	1,7	1	0,08
										0,6	400	2,15	1,5	0,09
Песок кварцевый	40	-	37,5	-	-	-	22,5	1,5	16	0,62	350	1,55	1	0,065
										0,57	400	2,05	1	0,08
Песок кварцевый	40	-	-	37,5	-	-	22,5	1,5	16	0,62	350	1,65	1	0,07
										0,57	400	2,25	1,5	0,09
Супесь ААП-2	40	-	-	-	60	-	-	1,5	16	0,6	350	1,85	1	0,075
										0,55	400	2,4	1,5	0,09
Супесь КМА	45	-	-	-	-	55	-	1,5	18	0,62	350	1,65	1	0,07
										0,57	400	2,2	1,5	0,09

Глинистые породы незавершенной стадии минералообразования обладают разнообразной природной окраской – коричневой, красной, желтой, что позволяет получать широкий спектр отделочных материалов, таких как колотый силикатный кирпич и камни, декоративный кирпич, декоративно-отделочных материалы.

Организация производства материалов автоклавного твердения с использованием в качестве сырья глинистых пород незавершенного минералообразования возможна на предприятиях по производству традиционных силикатных материалов.

Таким образом, доказана эффективность использования глинистых пород незавершенной стадии минералообразования в качестве сырья для производства силикатных автоклавных материалов, а также разра-

ботаны критерии оценки их эффективности. Установлена особенность фазообразования в известково-песчано-глинистой системе, заключающаяся в ускорении синтеза полиминерального состава новообразований за счет высокорекреационных порообразующих минералов незавершенной стадии минералообразования, что оптимизирует микроструктуру новообразований и повышает физико-механические свойства автоклавных материалов. Определены рациональные кинетические параметры взаимодействия в известково-глинистой системе и величина максимального поглощения глинистыми минералами извести, что позволило разработать методику расчета сырьевой смеси для получения плотных и ячеистых автоклавных материалов с высокими эксплуатационными показателями.

## Список литературы

1. Боженов П.И. Технология автоклавных материалов. Л.: Стройиздат, 1978. 368 с.
2. Хвостенков С.И. О химизме процесса взаимодействия в системе  $\text{Ca}(\text{OH})_2\text{-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$  в условиях гидротермального синтеза // *Строительные материалы*. 2008. № 5. С. 76–81.
3. Bernstein S., Thomas Karl Fehr. The formation of 1.13 nm tobermorite under hydrothermal conditions: 1. The influence of quartz grain size within the system  $\text{CaO-SiO}_2\text{-D}_2\text{O}$ . *Progress in Crystal Growth and Characterization of Materials*. 2012. 58 (s 2–3):84–91. DOI: 10.1016/j.pcrysgrow.2012.02.006
4. Danielle Klimesch and Abhi Ray. Evaluation of phases in a hydrothermally treated  $\text{CaO-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$  system. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 2002. 70(3):995-1003. DOI: 10.1023/A:1022289111046
5. Строчкова В.В., Везенцев А.И., Колесников Д.А., Шиманская М.С. Свойства синтетических нанотубулярных гидросиликатов // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*. 2010. № 4. С. 30–34.
6. Морозова М.В. Активность поверхности высокодисперсных систем на основе сапонитсодержащего отхода алмазодобывающей промышленности // *Вестник Белгородского государственного университета им. В.Г. Шухова*. 2018. № 2. С. 5–9.
7. Чернышов Е.М., Попов В.А., Артамонова О.В. Концепции и основания технологий наномодифицирования структур строительных композитов. Ч. 5. Эффективное микро-, наномодифицирование систем гидротермально-синтезного твердения и структуры силикатного камня (критерии и условия) // *Строительные материалы*. 2016. № 9. С. 38–46.
8. Овчаренко Г.И., Фомичев Ю.Ю. Технология переработки высококальциевой золы и шлака ТЭЦ в силикатный кирпич // *Известия вузов. Строительство*. 2012. № 11–12. С. 47–53.
9. Баженов Ю.М., Чернышов Е.М., Коротких Д.Н. Конструирование структур современных бетонов: определяющие принципы и технологические платформы // *Строительные материалы*. 2014. № 3. С. 6–14.
10. Гончарова М.А., Ивашкин А.Н., Симбаев В.В. Разработка оптимальных составов силикатных бетонов с использованием местных сырьевых ресурсов // *Строительные материалы*. 2016. № 9. С. 6–8.
11. Volodchenko A.N., Lesovik V.S., Volodchenko A.A., Glagolev E.S., Bogusevich G.G. Energy saving raw materials for the production of new generation silicate materials // *International Journal of Pharmacy & Technology*. 2016. Vol. 8. Iss. No. 4, pp. 22673–22686.
12. Володченко А.Н., Лесовик В.С. Перспективы расширения номенклатуры силикатных материалов автоклавного твердения // *Строительные материалы*. 2016. № 9. С. 34–37.
13. Лесовик В.С. Геоника (Геомиметика). Примеры реализации в строительном материаловедении: Монография. 2-е изд. доп. Белгород: Изд-во БГТУ, 2016. 287 с.
14. Володченко А.Н., Строчкова В.В. Повышение эффективности силикатных ячеистых материалов автоклавного твердения // *Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова*. 2017. № 2 (58). С. 60–69.
15. Володченко А.Н., Строчкова В.В. Особенности технологии получения конструкционно-теплоизоляционных ячеистых бетонов на основе нетрадиционно-сырья // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*. 2017. № 1. С. 138–143.

## References

1. Bozhenov P.I. Tekhnologiya avtoklavnykh materialov [Technology of autoclave materials]. Leningrad: Strojizdat, 1978. 368 p.
2. Hvostenkov S.I. On the chemistry of the interaction process in the system  $\text{Ca}(\text{OH})_2\text{-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$  under conditions of hydrothermal synthesis. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2008. No. 5, pp. 76–81. (In Russian).
3. Bernstein S., Thomas Karl Fehr. The formation of 1.13 nm tobermorite under hydrothermal conditions: 1. The influence of quartz grain size within the system  $\text{CaO-SiO}_2\text{-D}_2\text{O}$ . *Progress in Crystal Growth and Characterization of Materials*. 2012. 58 (s 2–3):84–91. DOI: 10.1016/j.pcrysgrow.2012.02.006
4. Danielle Klimesch and Abhi Ray. Evaluation of phases in a hydrothermally treated  $\text{CaO-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$  system. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 2002. 70(3):995-1003. DOI: 10.1023/A:1022289111046
5. Strokova V.V., Vezencev A.I., Kolesnikov D.A., Shimanskaya M.S. Properties of synthetic nanotubular hydrosilicates. *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shuhova*. 2010. No 4, pp. 30–34. (In Russian).
6. Morozova M.V. Surface activity of highly disperse systems based on saponite-containing waste from the diamond mining industry. *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shuhova*. 2018. No 2, pp 5–9. (In Russian).
7. Chernyshov E.M., Popov V.A., Artamonova O.V. Concepts and substantiations of nano-modification technology of building composites structures. Part 5. Efficient micro-, nano-modification of hydrothermal-synthesis hardening systems and structure of silicate stone (criteria and conditions). *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2016. No. 9, pp. 38–46. (In Russian).
8. Ovcharenko G.I., Fomichev Yu.Yu. Technology of processing high-calcium ash and slag of CHP in silicate brick. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo*. 2012. No. 11–12, pp. 47–53. (In Russian).
9. Bazhenov Yu.M., Chernyshov E.M., Korotkih D.N. Construction of modern concrete structures: defining principles and technological platforms. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 3, pp. 6–14. (In Russian).
10. Goncharova M.A., Ivashkin A.N., Simbaev V.V. Development of optimal compositions of silicate concretes using local raw materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2016. No. 9, pp. 6–8 (In Russian).
11. Volodchenko A.N., Lesovik V.S., Volodchenko A.A., Glagolev E.S., Bogusevich G.G. Energy saving raw materials for the production of new generation silicate materials. *International Journal of Pharmacy & Technology*. 2016. Vol. 8. Iss. 4, pp. 22673–22686.
12. Volodchenko A.N., Lesovik V.S. Prospects for expanding the nomenclature of silicate materials of autoclave hardening. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2016. No. 9, pp. 34–37 (In Russian).
13. Lesovik V.S. Geonika (Geomimetika). Primery realizacii v stroitel'nom materialovedenii: monografiya. 2-e izd. dop. [Geonickname (Geomimetics). Examples of implementation in building materials science: monograph. 2-nd ed. add.]. Belgorod: BG TU. 2016. 287 p.
14. Volodchenko A.N., Strokova V.V. Increasing the efficiency of silicate cellular autoclaved materials. *Vestnik Severo-Vostochnogo federal'nogo universiteta im. M.K. Ammosova*. 2017. No. 2 (58), pp. 60–69. (In Russian).
15. Volodchenko A.N., Strokova V.V. Features of the technology for obtaining structural and heat-insulating cellular concrete on the basis of non-traditional raw materials. *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shuhova*. 2017. No. 1, pp. 138–143. (In Russian).

И.С. КУЗНЕЦОВА, канд. техн. наук (irina-yanko@mail.ru), В.Г. РЯБЧЕНКОВА, инженер, М.П. КОРНЮШИНА, магистр техники и технологии по направлению «Строительство»

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)

## Новый свод правил по обследованию зданий и сооружений после пожара

В 2016 г. подготовлен проект нового свода правил «Здания и сооружения. Правила обследования после пожара». Свод правил предназначен для инженеров, занимающихся обследованием строительных конструкций зданий и сооружений после пожаров. Свод правил содержит состав и последовательность инженерных работ по обследованию, устанавливает требования к методам и критериям оценки технического состояния, выполнению поверочных расчетов и выбору методов усиления поврежденных пожаром конструкций. Также в своде правил приведена справочная информация об изменении свойств веществ от кратковременного огневого воздействия при пожаре, признаках того или иного технического состояния строительных конструкций, подвергавшихся пожару, и другая тематическая информация для экспертов.

**Ключевые слова:** пожар, обследование, строительные конструкции, железобетонные, стальные, каменные, деревянные конструкции, кратковременный высокотемпературный нагрев, техническое состояние, поверочные расчеты, усиление.

**Для цитирования:** Кузнецова И.С., Рябченкова В.Г., Корнюшина М.П. Новый свод правил по обследованию зданий и сооружений после пожара // *Строительные материалы*. 2018. № 9. С. 32–34. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-763-9-32-34>

I.S. KUZNETSOVA, Candidate of Sciences (Engineering) (irina-yanko@mail.ru), V.G. RYABCHENKOVA, Engineer, M.P. KORNYUSHINA, Master of Engineering and Technology in the Field of Construction Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction (NIIZHB) (6, 2nd Institutskaya Street, Moscow, 109428, Russian Federation)

### New Code of Rules for Inspection of Buildings and Structures after a Fire

A draft new Code of Rules “Buildings and Structures. Rules for Inspection after a Fire” was prepared in 2016. The Code of Rules is intended for engineers involved in inspection of building structures of buildings and facilities after fires. The Code of Rules contains the structure and sequence of engineering works on inspection, establishes requirements to methods and criteria of an assessment of a technical condition, performance of verification calculations and the choice of methods of strengthening of the structures damaged by the fire. The Code of Rules also provides background information on changes in the properties of substances from short-term fire effects in case of fire, signs of this or that technical condition of building structures exposed to fire and other thematic information for experts.

**Keywords:** fire, inspection, building structures, reinforced concrete, steel, stone, wooden structures, short-term high-temperature heating, technical condition, verification calculations, strengthening.

**For citation:** Kuznetsova I.S., Ryabchenkova V.G., Korniyushina M.P. New code of rules for inspection of buildings and structures after a fire. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 9, pp. 32–34. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-763-9-32-34> (In Russian).

Пожары сопровождают существование человеческого общества с начала времен, наносят большой ущерб народному хозяйству и представляют угрозу безопасности жизнедеятельности людей. К сожалению, ежегодная статистика пожаров не имеет тенденций к снижению. Пожары в зданиях и сооружениях происходят как на стадии строительства, так и на стадии эксплуатации.

Пожары всегда приводят к повреждениям или уничтожению строительных конструкций (рис. 1, 2), а после пожара может присутствовать наиболее опасный фактор – наличие скрытых дефектов. Недоучет степени повреждения пожаром строительных, и в частности железобетонных конструкций, которые часто имеют скрытые, визуально неопределимые дефекты, а также значительно сниженные от воздействия температуры прочностные характеристики материалов, не обеспечивает безопасности дальнейшей эксплуатации объекта после его восстановления. После пожаров важно полномасштабно оценить степень повреждения строительных конструкций с учетом особенностей поведения материалов и конструкций при пожаре и после него для принятия эффективных решений по их восстановлению [1].

До настоящего времени не был принят документ в области стандартизации (национальный стандарт, свод правил), соответствующий требованиям федерального законодательства о техническом регулировании и регулирующий вопросы обследования зданий и сооружений

после пожара [2]. Обследования зданий и сооружений после пожаров производились на основе сводов правил и стандартов по обследованию (СП 13-102-2003 «Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений», ГОСТ 31937-2011 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния») без учета специфики воздействия пожара на строительные конструкции.

Новый свод правил «Здания и сооружения. Правила обследования после пожара» (далее – новый свод правил) разработан впервые в 2016 г. в рамках государственного задания по развитию нормативно-технической базы в области строительства и актуален при ликвидации последствий пожаров. Новый свод правил прошел регламентную процедуру публичного обсуждения на форуме Минстроя России, получил одобрение экспертов, но к концу 2017 г. еще не введен в действие.

Разработчиком свода правил явился коллектив специалистов лаборатории температуростойкости и диагностики бетона и железобетонных конструкций НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», которые в течение более 20 лет занимаются обследованиями зданий и сооружений после пожаров. Визитной карточкой их опыта обследования после пожаров явились такие объекты, как Останкинская телебашня (рис. 1), Дом Правительства в Москве, завод двигателей «КамАЗ» в Набережных Челнах, подземный коллектор бывшего завода «Москвич» в Москве, высотное

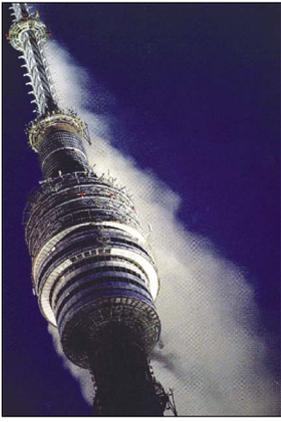


Рис. 1. Пожар на Останкинской телебашне в Москве



Рис. 2. Объемный пожар в жилом доме

здание участка № 14 ММДЦ «Москва-Сити» и ряд других объектов.

Новый свод правил по тематике обследования строительных конструкций после пожара регламентирует порядок и состав работ по обследованию строительных конструкций после пожара, содержит требования к методам и критериям оценки технического состояния поврежденных пожаром строительных конструкций, рекомендации и типовые конструктивные решения для разработки проектов восстановления и усиления строительных конструкций.

Структура нового свода правил включает 13 разделов и 9 приложений и отвечает требованиям ГОСТ 1.5–2001 «Межгосударственная система стандартизации (МГС)». Стандарты межгосударственные, правила и рекомендации по межгосударственной стандартизации. Общие требования к построению, изложению, оформлению, содержанию и обозначению (с Изменением № 1)».

В разделе 1 обозначена область распространения нового свода правил на обследование и восстановление после пожара железобетонных конструкций зданий и сооружений различного назначения и указано, что свод правил не распространяется на технологические и эксплуатационные температурные воздействия.

Разделы 2 и 3 содержат нормативные ссылки, специфические термины и определения.

Раздел 4 посвящен организации комплекса работ по ликвидации последствий пожара. В нем приведены основные правила и последовательность действий руководителей предприятий или собственников объектов, на которых произошел пожар, направленных на ликвидацию последствий пожара.

В разделах 5–8 сформулированы цели, этапы, последовательность и поэтапный состав инженерных работ по обследованию зданий и сооружений после пожара. При этом указано, что обследование крупных (объемных) пожаров должно проводиться в три этапа:

- подготовительные работы с предварительным выездом специалиста-эксперта на объект с целью предварительного осмотра объекта и организации работ специалистов по обследованию;
- визуальное обследование путем сплошного осмотра строительных конструкций в зонах сильной и средней степеней повреждения строительных конструкций;
- инструментальное обследование поврежденных пожаром конструкций.

В разделе 6 приведены требования к выполнению подготовительных работ к инженерному обследованию. Даны принципы зонирования конструкций по степени воздействия пожара для предварительной оценки их состояния и проведения подготовительных работ (в том числе обеспечение доступа к конструкциям, устройство

лесов и подмостей и т. п.) к визуальному и инструментальному обследованию.

Указано, что при первичном ознакомлении с объектом специалист-эксперт должен в первом приближении выявить зоны, отличающиеся однотипным характером разрушений и степенью повреждений, составить первичные схемы зонирования степени воздействия пожара на строительные конструкции с учетом характера повреждений.

В разделе 7 приведены требования к выполнению визуального обследования конструкций после пожара, указаны цели визуального обследования, зоны обследования по степени повреждения, перечни определяющих параметров. Особо отмечено, что при визуальном обследовании необходимо уделять особое внимание выявлению скрытых дефектов, которые могут влиять на снижение несущей способности конструкций, составлению ведомостей дефектов и дефектосхем.

В разделе 8 изложены основные принципы проведения инструментального обследования, указаны цели инструментального обследования, состав работ по обследованию, перечни определяющих параметров.

В части инструментального обследования строительных конструкций после пожара особое внимание уделено определению фактических механических характеристик железобетонных, металлических, каменных и деревянных конструкций. Отмечено, что для железобетонных конструкций следует произвести контроль прочности бетона как на дефектных, поврежденных пожаром участках конструкций, так и в аналогичных конструкциях, расположенных вне зоны пожара, с целью сопоставления параметров прочности при сжатии бетона до и после пожара.

Раздел 9 содержит основные положения по выполнению поверочных расчетов строительных конструкций после пожара. Для расчетов железобетонных конструкций после пожара в документе приведены справочные данные по изменению физико-механических характеристик бетона и арматуры. Даны правила определения остаточной прочности бетона и арматуры после температурного воздействия, приведены методы поверочных расчетов конструкций, указания по учету потерь предварительного напряжения в арматуре предварительно напряженных железобетонных конструкций после пожара [3, 4].

В новом своде правил впервые официально приведены экспериментально установленные значения коэффициентов условий работы, учитывающих снижение прочности  $\gamma_{st}$  и модуля упругости  $\beta_s$  арматуры в охлажденном состоянии после нагрева до температур в диапазоне от 50 до 800°C [5–7].

В разделе 10 приведены правила установления категории технического состояния несущих строительных конструкций после пожара, соответствующие положениям ГОСТ 31937, а также характерные внешние признаки, относящиеся к разным категориям технических состояний конструкций, представленные в удобной табличной форме.

В разделе 11 указаны методы контроля определяющих параметров в ходе инженерного обследования железобетонных конструкций зданий и сооружений после пожара. Приведены правила определения максимальной температуры среды в помещении при пожаре, фактической длительности горения при пожаре, перехода от фактической к эквивалентной длительности горения при стандартном пожаре, определения распределения температуры по сечению железобетонных конструкций [8–9]. Также рассмотрены возможные к применению после пожара различные методы определения фактической прочности при сжатии бетона железобетонных конструкций. Даны указания по отбору образцов

арматуры из железобетонных конструкций для лабораторных испытаний физико-механических свойств.

Важным аспектом раздела является информация о возможных скрытых дефектах железобетонных конструкций после пожара.

Требования к содержанию итогового документа по результатам обследования в виде «Заключения о состоянии конструкций после пожара» приведены в разделе 12. Итоговое заключение, помимо результатов обследования, должно содержать оценку категории технического состояния конструкций и здания (сооружения) после пожара, перечень непригодных к дальнейшей эксплуатации конструкций, перечень пригодных конструкций, но требующих усиления или уменьшения действующих на них в процессе эксплуатации нагрузок, перечень конструкций, для которых необходимо сделать небольшой ремонт по восстановлению и замене части бетона и арматуры, а также перечень конструкций, пригодных к эксплуатации без усиления и ремонта. В состав заключения могут входить рекомендации по восстановлению, усилению или разборке конструкций.

В разделе 13 приведены типовые конструктивные решения по усилению и восстановлению поврежденных пожаром железобетонных конструкций в помощь проектировщику, апробированные на практике.

В приложениях приведены формы акта и заключения по обследованию после пожара, а также справочная и методическая информация, позволяющая специалисту-эксперту выполнить достоверную оценку влияния высокой температуры на строительные конструкции, определить степень снижения прочностных характеристик строительных материалов. В одном из приложений впервые приведены экспериментальные данные физи-

ко-химических исследований изменения состояния структуры обычного тяжелого бетона и динамики развития дефектов в зависимости от температуры нагрева бетона в диапазоне от 100 до 1600°C.

Свод правил «Здания и сооружения. Правила обследования после пожара» базируется на основных положениях Федерального закона № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» и учитывает требования Федерального закона № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений».

Разработка этого документа проведена в развитие организационно-технических и методических положений ГОСТ 31937–2011 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния» и ГОСТ Р 54257–2010 «Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения и требования», а также существующей нормативной базы в области пожарной безопасности.

При разработке нового свода правил реализована основная задача создания единой методики и системного подхода к процессу обследования строительных конструкций после пожара.

По мнению авторов, документ будет способствовать оптимизации процесса восстановления поврежденных пожаром конструкций, обеспечению достоверности оценки технического состояния конструкций после пожара, рационализации процесса разработки проектов восстановления поврежденных пожаром конструкций, обеспечению надежности и эксплуатационной пригодности восстановленных конструкций после пожара, а также дальнейшей безопасной эксплуатации зданий и сооружений в целом.

#### Список литературы

1. Кузнецова И.С., Соломонов В.В. Важные аспекты пожарной безопасности зданий и сооружений. Бетон и железобетон – взгляд в будущее. 2014. Т. II. С. 81–86.
2. Кузнецова И.С., Рябченкова В.Г. Противопожарные нормы – основа пожарной безопасности зданий и сооружений // *Промышленное и гражданское строительство*. 2017. № 1. С. 35–38.
3. Соломонов В.В., Кузнецова И.С. Как обеспечить огнестойкость железобетонных конструкций // *Строительная газета*. 2013. № 5. С. 4.
4. Соломонов В.В., Кузнецова И.С. Вопросы огнестойкости железобетона и Еврокод EN 1992-1-2 // *Промышленное и гражданское строительство*. 2013. № 1. С. 57–59.
5. Тихонов И.Н., Кузнецова И.С. Современное состояние, перспективы производства и применения холоднодеформированного арматурного проката в строительстве // *Промышленное и гражданское строительство*. 2017. № 1. С. 71–77.
6. Кузнецова И.С., Суриков И.Н., Востров М.С., Саврасов И.П. Исследование физико-механических свойств арматуры современного производства при высокотемпературном нагреве и охлаждении // *Промышленное и гражданское строительство*. 2016. № 12. С. 18–23.
7. Кузнецова И.С., Рябченкова В.Г., Саврасов И.П. Огнестойкая арматура – миф или реальность? // *Пожарная безопасность*. 2017. № 12. С. 66–69.
8. Раздольский Л. Оценка огнестойкости. Международные нормативные рекомендации по температурным нагрузкам от пожаров в зданиях // *Высотные здания*. 2017. № 3. С. 113–119.
9. Раздольский Л. Оценка огнестойкости. Международные нормативные рекомендации по температурным нагрузкам от пожаров в зданиях // *Высотные здания*. 2017. № 4. С. 110–117.

#### References

1. Kuznetsova I.S., Solomonov V.V. Important aspects of fire safety of buildings and constructions. Concrete and reinforced concrete – a prospect. 2014. Vol. II, pp. 81–86. (In Russian).
2. Kuznetsova I.S., Ryabchenkova V.G. Fire protection regulations – a basis of fire safety of buildings and constructions. *Promyshlenoe I grazhdanskoe stroitelstvo*. 2017. No. 1, pp. 35–38. (In Russian).
3. Solomonov V.V., Kuznetsova I.S. How to provide fire resistance of reinforced concrete designs. *Stroitel'naya gazeta*. 2013. No. 5, pp. 4.
4. Solomonov V.V., Kuznetsova I.S. Questions of fire resistance of reinforced concrete and Eurocode EN 1992-1-2. *Promyshlenoe I grazhdanskoe stroitelstvo*. 2013. No. 1, pp. 57–59. (In Russian).
5. Tikhonov I.N., Kuznetsova I.S. The current state, the prospects of production and application of colddeforming reinforcing hire in construction. *Promyshlenoe I grazhdanskoe stroitelstvo*. 2017. No. 1, pp. 71–77. (In Russian).
6. Kuznetsova I.S., Surikov I.N., Vostrov M.S., Savrasov I.P. Study of physical and mechanical properties of rebar production at high-temperature heating and cooling. *Promyshlenoe I grazhdanskoe stroitelstvo*. 2016. No. 12, pp. 18–23.
7. Kuznetsova I.S. Ryabchenkova V.G., Savrasov I.P. Fire-resistant reinforcement-myth or reality? *Pozharnaya bezopasnost'*. 2017. No. 12, pp. 66–69. (In Russian).
8. Razdolsky L. Fire resistance Assessment. International regulatory recommendations on temperature loads from fires in buildings. *Vysotnye zdaniya*. 2017. No. 3, pp. 113–119. (In Russian).
9. Razdolsky L. Fire resistance Assessment. International regulatory recommendations on temperature loads from fires in buildings. *Vysotnye zdaniya*. 2017. No. 4, pp. 110–117. (In Russian).



## К 75-летию В.С. Грызлова

*В августе 2018 г. исполнилось 75 лет доктору технических наук, профессору, советнику РААСН, заслуженному деятелю науки РФ, почетному работнику высшего профессионального образования России, члену-корреспонденту Российской инженерной академии, академику Российской академии естественных наук, заведующему кафедрой строительства Череповецкого государственного университета Владимиру Сергеевичу Грызлову. После окончания строительного факультета Воронежского инженерно-строительного института в 1965 г. Владимир Сергеевич начал трудовую деятельность в должности мастера на заводе ЖБИ в Липецке. Интерес к исследовательской работе привел его в ЦНИЛ по строительству и стройматериалам Главлипецкстроя Минтяжстроя СССР, где он со временем стал заведующим отделом использования шлаков в строительстве. Его научная деятельность, в частности по разработке*

*и исследованию технологических параметров повышения эксплуатационных свойств ограждающих конструкций из шлакопемзобетона, увенчалась в 1976 г. защитой кандидатской диссертации в НИИЖБ (Москва).*

*С 1980 г. жизнь Владимира Сергеевича связана с подготовкой специалистов в области строительного материаловедения в Липецком политехническом институте. В 1990 г. в Ленинградском институте железнодорожного транспорта он защитил докторскую диссертацию, а с 1991 г. возглавил Череповецкий филиал Вологодского политехнического института. В 1993 г. Владимир Сергеевич был избран ректором Государственного индустриального института в Череповце, а в 1996 г. стал первым ректором Череповецкого государственного университета (ЧГУ). Благодаря целеустремленности и профессионализму Владимиру Сергеевичу удалось сформировать научную школу по использованию шлаков в строительстве Северо-Западного региона России и вывести Череповецкий государственный университет на новый уровень. Под его руководством ЧГУ с 2002 г. стал членом Евразийской ассоциации университетов.*

*Владимир Сергеевич Грызлов — автор более 280 печатных научных трудов, 17 авторских свидетельств и патентов, восьми монографий. Он руководил подготовкой 17 кандидатских диссертаций.*

*Ученики Владимира Сергеевича продолжают научную и творческую деятельность в области строительного материаловедения. Его монография «Структурный подход в оценке теплопроводности легкого бетона», опубликованная в 2018 г., обобщает ряд теоретических и прикладных аспектов оценки теплопроводности легкого бетона. В ней приведены разработанные математические модели теплопроводности легкого бетона с учетом микро- и макроструктурных составляющих; исследования цементной матрицы как основного фактора, определяющего теплопроводность легкого бетона слитного строения; данные по изменению теплопроводности бетона в период его адаптации в ограждающей конструкции при эксплуатационных воздействиях. Представлен инженерный подход к предпроектному выбору условий назначения нормативного значения сопротивления теплопередаче исходя из нестационарных особенностей теплопередачи и тепловой инерционности ограждающих конструкций.*

*Должность заведующего кафедрой диктует необходимость совершенствования методики подготовки молодых специалистов. Этим вопросам посвящена монография «Компетентностно-модульный подход в высшем техническом образовании», вышедшая в 2015 г. и переизданная в 2018 г. Особое внимание в ней уделено вопросам проектирования кредитно-модульной структуры основной образовательной программы, разработке учебных планов, оценке их качества. Приводятся рекомендации по новой форме аттестации студентов с целью оценки освоения компетенций и их привязки к будущим профессиональным функциям. Затрагиваются вопросы корпоративного взаимодействия вуза, региона и бизнес-сообщества.*

*Более 40 лет Владимир Сергеевич является автором журнала «Строительные материалы»®. Редакция, редакционный совет, коллеги, ученики желают здоровья, творческого долголетия, оптимизма и поздравляют Владимира Сергеевича с юбилеем!*

УДК 69.007.05

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-763-9-35-39>

В.С. ГРЫЗЛОВ, д-р техн. наук (gryvs@mail.ru), советник РААСН

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

## Экспертно-индикаторный подход оценки усвоения компетентностей в инженерно-строительном образовании

На базе Федеральных государственных стандартов высшего образования по направлению 08.03.01 «Строительство» и отраслевых стандартов разработаны модель инженерного образования и экспертно-индикаторный подход оценки освоения компетентностей бакалаврами строительного направления. На базе системной педагогической задачи: задание (обобщенные трудовые функции) – результаты решения (базовые компетентности) – формируется информационно-функциональная модель инженерного образования, приведенная в статье. Компетентность проявляется в практической работе, когда необходимо показать знания, навыки, стереотипы поведения, проявить усилия для доказательства своего умения выполнять ту или иную деятельность. Такой работой представляются крупные мультидисциплинарные проекты, в качестве которых можно считать выполнение комплекса заданий выпускной квалификационной работы (дипломного проекта) при условии ее выполнения как сквозного проектирования в течение нескольких семестров. Результаты оценки выражаются в виде лепестковых диаграмм, приведенных в статье, и показателей обобщенной продуктивности, представляют профессионально-деловой паспорт выпускника вуза и характеризуют его реальные и перспективные возможности дальнейшего карьерного роста. Показатель обобщенной продуктивности позволяет оценить уровень профессионального мышления будущего специалиста в пределах, согласованных с работодателями.

**Ключевые слова:** компетентность, оценка, модель инженерного образования, индикаторы оценки, обобщенная продуктивность, мультидисциплинарный проект.

**Для цитирования:** Грызлов В.С. Экспертно-индикаторный подход оценки усвоения компетентностей в инженерно-строительном образовании // *Строительные материалы*. 2018. № 9. С. 35–39. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-763-9-35-39>

V.S. GRYZLOV, Doctor of Sciences (Engineering) (gryvs@mail.ru)  
Cherepovets State University (5, Lunacharskogo Prospect, Cherepovets, 162600, Russian Federation)

**Expert-Indicator Approach to Evaluation of Learning of Competencies in Engineering-Construction Education**

On the basis of new Federal State Educational Standards of Higher Education (FSES HE) in the direction 08.03.01 "Construction", a model of engineering education and an expert-indicator approach to the evaluation of learning of competencies by bachelors of construction direction have been developed in the branch standards. On the basis of the system pedagogical task: task (generalized labor functions) – the results of the decision (basic competence), an information and functional model of engineering education, presented in the article, is formed. Competence is manifested in practical work, when it is necessary to show knowledge, skills, stereotypes of behavior, to show efforts for proving their ability to perform a particular activity. Such work is represented by large multi-disciplinary projects, which can be considered as the implementation of a set of tasks of the final qualifying work (diploma project), if it is implemented as end-to-end design during several semesters. The results of the assessment are expressed in the form of radar charts given in the article, and indicators of generalized productivity, represent the professional- business passport of a graduate of the higher educational establishment and characterize its real and promising opportunities for further career growth. The indicator of generalized productivity makes it possible to estimate the level of professional thinking of the future specialist within the limits agreed with employers.

**Keywords:** innovations, competency, evaluation, model of engineering education, indicators of evaluation, generalized productivity, multi-disciplinary project.

**For citation:** Gryzlov V.S. Expert-indicator approach to evaluation of learning of competencies in engineering-construction education. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 9, pp. 35–39. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-763-9-35-39> (In Russian).

Современные требования федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство» (уровень бакалавриата) актуализируются в соответствии с отраслевыми стандартами, с четкой ориентацией на приобретение студентами профессионального мышления в рамках понимания обобщенных трудовых функций. В связи с этим данные функции представляют требования потребителей (работодателей) к компетентности выпускника вуза и являются основой при разработке модели инженерного образования. Возникает системная педагогическая задача: задание (обобщенные трудовые функции) – результаты реше-

ния (базовые компетентности); применяемый механизм решения (образовательная технология). На базе этой задачи формируется информационно-функциональная модель инженерного образования (рис. 1). В процессорном блоке модели проектируется модульный макет жизненного цикла учебной работы, в общепринятом понимании – образовательная программа. Универсальность трудовых функций и базовых компетентностей инженера позволяет унифицировать программы инженерного образования, придавая им практико-ориентированную направленность [1, 2]. В этих программах формируются образовательные модули (комплекс дисциплин) и создаются группы преподава-

**ОБОБЩЕННАЯ МОДЕЛЬ ИНЖЕНЕРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ**



Рис. 1. Обобщенная информационно-функциональная модель инженерного образования

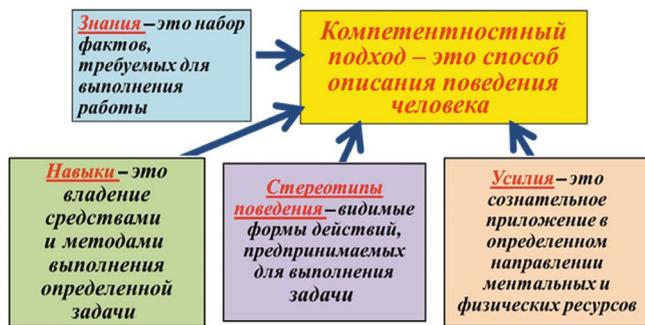


Рис. 2. Общая схема оценки компетентностей

телей на принципах мини-учебно-методических объединений. Этим группам вменяется в обязанность: вносить предложения по структуре и учебной нагрузке модулей, разрабатывать фонды контрольных мероприятий и оценочных средств, подбирать темы мультидисципли-

нарных проектов и студентов для их выполнения, участвовать в качестве экспертов по оценке освоения студентами компетентностей [4–6].

Вопрос оценки освоения компетентностей по-прежнему остается актуальным [7–10]. Наивно полагать, что компетентность является результатом изучения той или иной дисциплины. Частично это возможно, но в целом компетентность проявляется в практической работе, когда необходимо показать знания, навыки, стереотипы поведения, проявить усилия для доказательства умения выполнять ту или иную деятельность (рис. 2).

В процессе учебы такой работой представляются крупные мультидисциплинарные проекты, в качестве которых можно считать выполнение комплекса заданий выпускной квалификационной работы (дипломного проекта) при условии ее выполнения как сквозного проектирования в течение нескольких семестров [3].

В Череповецком государственном университете на кафедре строительства в течение ряда лет проводится

Таблица 1

Структура конфигурации учебно-производственных практик

Семестры							
1	2	3	4	5	6	7	8
Рольевые игры			Учебные практики				
Введение в отрасль и инженерную деятельность (2 зач. ед.)		Освоение навыков рабочего мастерства. Сетевое взаимодействие со строительным колледжем (6 зач. ед.)		Архитектурно-строительное проектирование мультипроекта – выпускной квалификационной работы (12 зач. ед.)			
	Полевая практика (4 зач. ед.)		Производственная рабочая практика (6 зач. ед.)		Производственная практика (стажировка) (6 зач. ед.)		Защита ВКР
	Геология		На объектах строительного комплекса		На объектах строительного комплекса		
	Геодезия						

Таблица 2

Экспертная оценка освоения и формирования компетентностей (индикаторный метод)

Таблица индикаторов и уровней оценки

Базовые функции (компетентности)	Индикаторы (баллы)				
	Знания	Навыки	Стереотипы поведения	Усилия	Итого
1. Интеллектуально-корпоративные	0-4	0-4	0-4	0-4	0-16
2. Научно-технические					
3. Экспертно-аналитические					
4. Проектно-конструкторские					
5. Производственно-технологические					
6. Организационно-управленческие					
7. Сервисно-эксплуатационные					
8. Инвестиционно-экономические					

Уровни продуктивности индикаторов

Уровень	Название уровня	Формулировка	Баллы
1	Стратегический	Разрабатывает и внедряет системный подход по развитию компетентностей. Занимает позицию, нацеленную на интересы работы в долгосрочной перспективе	4
2	Практико-ориентированный	Проявляет компетентность в нестандартных ситуациях или ситуациях повышенной сложности	3
3	Базовый	Владеет компетентностью на уровне желаемого поведения в рамках стандартных ситуаций. Компетентность эффективно проявляется во всех базовых, стандартных рабочих ситуациях	2
4	Ограниченный	Проявляет компетентность ограниченно, в виде отдельных элементов, в зависимости от ситуации. В отсутствие шаблона теряется. Компетентность проявляется в пассивной форме в ответ на установленные нормы и правила	1
5	Нет компетентности	Не проявляет даже отдельных элементов компетентности	0

Таблица 3

Матрица анализа и оценки освоения базовых компетентностей

Студент \_\_\_\_\_ Группа \_\_\_\_\_ Тема ВКР \_\_\_\_\_

Эксперты	Раздел ВКР	Баллы по оценке индикаторов в базовых компетентностях																Оценка раздела		
		1. Интеллектуальный корпоратив		2. Научно-технические		3. Экспертно-аналитические		4. Проектно-конструкторские		5. Практико-технологические		6. Организационно-управленческие		7. Сервисно-эксплуатационные		8. Инвестиционно-экономические		Уровень освоения $Y_p$ %	$Y_p = \frac{0,25(\sum b_{pi})}{n}$	
		Z <sub>1</sub>	Y <sub>1</sub>	Z <sub>2</sub>	Y <sub>2</sub>	Z <sub>3</sub>	Y <sub>3</sub>	Z <sub>4</sub>	Y <sub>4</sub>	Z <sub>5</sub>	Y <sub>5</sub>	Z <sub>6</sub>	Y <sub>6</sub>	Z <sub>7</sub>	Y <sub>7</sub>	Z <sub>8</sub>	Y <sub>8</sub>			
1	1. Архитектура																			
2	2. Конструкции																			
..n	..n																			
	$\sum b_1$																		$\sum b_{p1}$	
1	3. Тех. организация																			
2	4. Экономика																			
..n	..n																			
	$\sum b_3$																		$\sum b_{p3}$	
1	Уровень индикат., %																			
2	Уровень компетентности																			
..n	Обобщенная продуктивн %																			
	$\sum b_k$																		$\sum b_{k7}$	
	$\sum b_n$																		$\sum b_{k8}$	
	Уровень компетентности																		$0,0156(\sum b_{k7})/n$	$0,0156(\sum b_{k8})/n$
	Обобщенная продуктивн %																		$0,0156(\sum b_{k6})/n$	$0,0156(\sum b_{k8})/n$

$$P_0 = 0,125 \sum Y_{ki} = 0,25 \sum Y_{pi}$$

эксперимент по созданию методики оценки освоения компетентностей выпускниками-бакалаврами по направлению 08.03.01 «Строительство» [4]. В основу данной методики положен практико-ориентированный подход, основной частью которого является модульная структура учебного плана и логически сбалансированная организация учебных и производственных практик (табл. 1).

Последовательность этих практик предполагает закрепление универсальных, общепрофессиональных и профессиональных компетенций через группу базовых инженерных компетентностей путем оценки их освоения экспертно-индикаторным методом. В качестве индикаторов приняты вышеуказанные: знания (З), навыки (Н), стереотипы поведения (С), усилия (У). Каждый индикатор оценивается по четырехбалльной шкале в рамках уровней продуктивности: стратегический, практико-ориентированный, базовый, ограниченный (табл. 2).

Основная оценка базовых компетентностей осуществляется в период выполнения разделов ВКР (5-й – 8-й семестры) (рис. 3) в виде интерактивного обсуждения результатов работы студента в семестре. Такое обсуждение проводится в период последней учебной недели семестра экспертной группой, состоящей из преподавателей выпускающей кафедры и приглашенных специалистов. В процессе обсуждения заслушивают доклады студентов о выполнении соответствующих разделов ВКР, анализируют текущую работу студента в семестре, результаты контрольных мероприятий, творческую активность, общественно-полезную деятельность. Каждый эксперт оценивает уровни продуктивности индикаторов и заполняет матрицу анализа и освоения базовых компетентностей (табл. 3). Итогом работы экспертной группы является обобщенная оценка:

- уровня индикатора в компетентности раздела ( $I_{kp}$ );
- интегральный уровень индикатора по всем разделам ( $I_k$ );
- уровень компетентности в разделе ( $Y_{kp}$ );
- интегральный уровень компетентности по всем разделам ( $Y_{ki}$ );
- уровень обобщенной продуктивности ( $P_0$ ).

По полученным параметрам интегрального уровня компетентностей ( $Y_{ki}$ ) строятся лепестковые диаграммы (рис. 4). Данные диаграммы в определенной степени представляют профессионально-деловой паспорт выпускника вуза и характери-

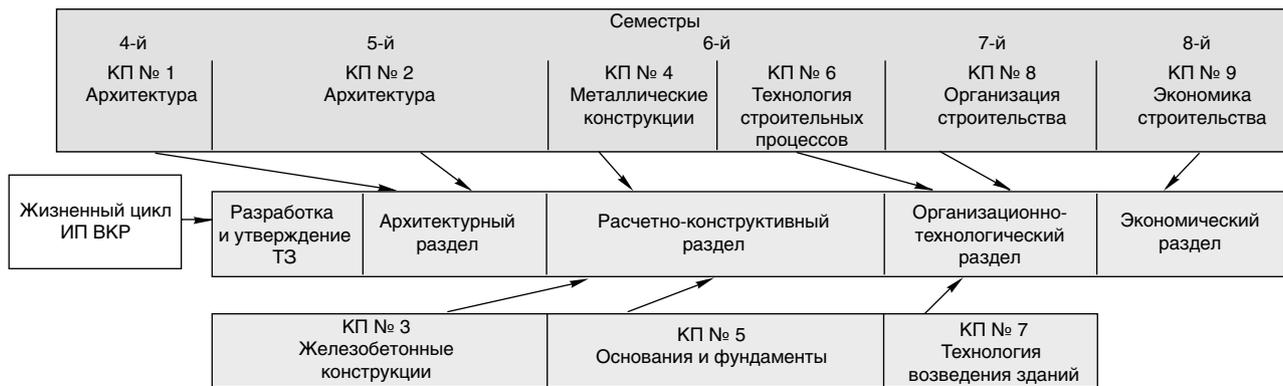


Рис. 3. Структурно-логическая схема технологии инженерного проектирования ВКР как единого мультидисциплинарного проекта

зуют его реальные и перспективные возможности дальнейшего карьерного роста.

Показатель обобщенной продуктивности (ПО) позволяет оценить уровень профессионального мышления будущего специалиста в пределах, согласованных с работодателями. Например, стратегическое >70%; практико-ориентированное 50–70%; базовое 30–50%; ограниченное <30%.

Таким образом, предлагаемый экспертно-индикаторный подход создает предпосылки для достаточно глубокого и объективного представления компетентности выпускника вуза для последующей его работы в соответствующем направлении строительной отрасли.

#### Список литературы

1. Грызлов В.С. Унификация программ инженерного образования // *Инженерное образование*. 2016. № 19. С. 44–55.
2. Грызлов В.С. Практико-ориентированный подход в подготовке инженеров-строителей // *Жилищное строительство*. 2016. № 8. С. 9–12.
3. Кулыгина Л.Н. Инструменты реализации организационно-педагогических условий технологии сквозного курсового проектирования // *Инженерное образование*. 2013. № 11. С. 66–72.
4. Грызлов В.С. Компетентностно-модульный подход в высшем техническом образовании. Череповец: ЧГУ, 2015. 208 с.
5. Ильичев В.А., Колчунов В.И., Бакаева Н.В. Современное архитектурно-строительное образование в свете решения задач безопасности в среде жизнедеятельности // *Жилищное строительство*. 2016. № 3. С. 3–9.
6. Асташов А.М., Ошкина Л.М. Роль информационных технологий проектирования в реформировании инженерно-строительного образования // *Интеграция образования*. 2014. Т. 18. № 4 (77). С. 116–123.
7. Гарибов Р.Б., Овчинников И.Г. Некоторые болевые точки российского инженерно-строительного образования. Сб. I Международная научно-техническая конференция «Долговечность и надежность строительных материалов и конструкций в эксплуатационной среде». 2017. С. 71–91.
8. Познанская С.Г., Кутищев С.А., Резанова И.А. Формирование готовности будущих инженеров-строителей к инновационной деятельности // *Перспективы науки и образования*. 2018. № 2 (32). С. 75–79.
9. Сергеева М.Г. Интеграция науки, образования и производства // *Проблемы современного образования*. 2015. № 3. С. 128–131.
10. Шаламова Е.А. Эволюция концепции инженерно-строительного образования в России в контексте международного исторического опыта // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета: Строительство и архитектура*. 2016. Т. 7. № 3. С. 66–77.

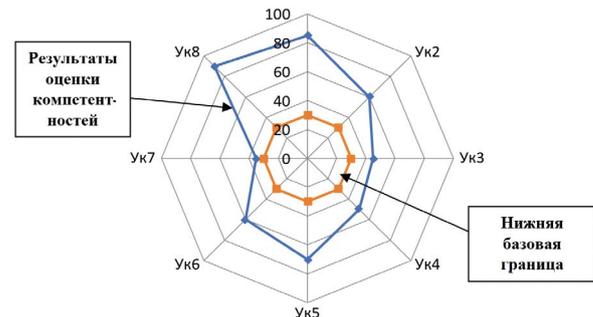


Рис. 4. Пример лепестковой диаграммы оценки усвоения компетентностей студентом

#### References

1. Gryzlov V.S. Unification of engineering education programs. *Engenernoe obrazovanie*. 2016. No. 19, pp. 44–55. (In Russian).
2. Gryzlov V.S. Practice-oriented approach in the training of civil engineers. *Zilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2016. No. 8, pp. 9–12. (In Russian).
3. Kulygina L.N. Tools of realization of organizational and pedagogical conditions of technology through course design. *Inzhenernoe obrazovanie*. 2013. No. 11, pp. 66–72. (In Russian).
4. Gryzlov V.S. Kompetentnostno-modulniy podhod v vischem technichescom obrazovanii [Competence – a modular approach in higher technical education]. Cherepovets: CSU. 2015. 208 p.
5. Ilyichev V.A., Kolchunov V.I., Bakaev N.V. Modern architecture – building education in the light of the security tasks in the life of the environment. *Zilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2016. No. 3, pp. 3–9. (In Russian).
6. Astashov A.M., Oshkina L.M. The Role of information technologies of design in the reform of civil engineering education. *Integratsiya obrazovaniya*. 2014. Vol. 18. No. 4 (77), pp. 116–123. (In Russian).
7. Garibov R.B., Ovchinnikov I.G. Some pain points of the Russian engineering and construction education. Papers of International Scientific and Technical conference “Durability and Reliability of Building materials and Structures in the operational environment”. 2017, pp. 71–91. (In Russian).
8. Poznanskaya S.G., Kutischev S.A., Rezanova I.A. Formation of readiness of future ungenerosity to innovative activity. *Perspektivy nauki i obrazovaniya*. 2018. No. 2 (32), pp. 75–79. (In Russian).
9. Sergeeva M.G. Integration of science, education and production. *Problemy sovremennogo obrazovaniya*. 2015. No. 3, pp. 128–131. (In Russian).
10. Shalamova E.A. Evolution of the concept of engineering education in Russia in the context of international historical experience. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*. 2016. Vol. 7. No. 3, pp. 66–77. (In Russian).

В.Г. ХОЗИН, д-р техн. наук (Khozin.vadim@yandex.ru),  
Н.М. КРАСИНИКОВА, канд. техн. наук (knm0104@mail.ru),  
Э.В. ЕРУСЛАНОВА, инженер (eruslanova.elvira@mail.ru)

Казанский государственный архитектурно-строительный университет (420043 г. Казань, ул. Зеленая, 1)

## Легкие поризованные бетоны на основе сухих смесей

Разработана сухая активированная смесь, смешанная с пористыми заполнителями для получения более эффективных, чем существующие, легких бетонов. Представлены результаты физико-технических свойств разработанных легких поризованных бетонов (ЛПБ) на основе сухих смесей и произведен анализ микро- и макроструктуры. Анализ макроструктуры разработанных ЛПБ показывает следующее: вне зависимости от вида гранул заполнитель равномерно распределен по всей высоте образца и нет никаких признаков расслоения, обусловленных разницей в плотностях заполнителя и поризованной матрицы цементного камня, а ячейки поровой структуры матрицы имеют замкнутый характер. Показана принципиальная схема технологии их производства по одностадийной технологии. Производство легких поризованных бетонов на основе сухих механоактивированных смесей может быть разделено на три последовательно зависимые части, выпускающие три вида товарной продукции: сухую смесь для пенобетона (ССПБ), сухую смесь с легким заполнителем для изготовления ЛПБ (ССЛПБ) и товарную легковесную смесь для монолитного строительства и изготовления стеновых блоков заводского изготовления. Преимуществом этой схемы может стать широкая возможность физико-химической модификации сухой смеси, в том числе наноразмерными добавками, что позволяет управлять технологическими и физико-механическими свойствами легковесной смеси – получаемого поризованного легкого бетона с различными пористыми заполнителями.

**Ключевые слова:** легкий поризованный бетон, сухая смесь, наномодификация, микроструктура, прочность, усадка, морозостойкость, теплопроводность.

**Для цитирования:** Хозин В.Г., Красникова Н.М., Ерусланова Э.В. Легкие поризованные бетоны на основе сухих смесей // *Строительные материалы*. 2018. № 9. С. 40–45. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-763-9-40-45>

V.G. KHOZIN, Doctor of Sciences (Engineering) (Khozin.vadim@yandex.ru),  
N.M. KRASNIKOVA, Candidate of Sciences (Engineering) (knm0104@mail.ru),  
E.V. ERUSLANOVA, Engineer (eruslanova.elvira@mail.ru)

Kazan State University of Architecture and Engineering (1, Zelenaya Street, Kazan, Republic of Tatarstan, 420043, Russian Federation)

### Light Porous Concretes on the Basis of Dry Mixtures

Dry activated mixture mixed with porous fillers for obtaining lightweight concretes more effective than existing has been developed. The results of physical-technical properties of the developed light porous concretes (LPC) on the basis of dry mixtures are presented; the analysis of micro and macro-structures is made. The analysis of macrostructure of the developed LPC shows the following: regardless of the granule type, the filler is evenly distributed over the entire height of the sample and there is no sign of desintegration due to the difference in the density of the filler and the porous matrix of cement stone, and the cells of the pore structure of the matrix are closed. The schematic diagram of the technology of their production by single-stage technology is shown. Production of light porous concretes based on dry mechanical activated mixtures can be divided into three series-dependent parts producing three types of marketable production: dry mixture for foam concrete (DMFC), dry mixture with light filler for production of LPC (DMLPC) and marketable light concrete mixture for monolithic construction and production of wall blocks of factory production. The advantage of this scheme can be a wide possibility of physical and chemical modification of the dry mixture, including nano-scale additives, which makes it possible to control the technological and physical and mechanical properties of the lightweight concrete mixture – the resulting porous lightweight concrete with various porous fillers.

**Keywords:** lightweight porous concrete, dry mixture, nano-modification, micro-structure, strength, shrinkage, frost resistance, heat conductivity.

**For citation:** Khozin V.G., Krasnikova N.M., Eruslanova E.V. Light porous concretes on the basis of dry mixtures. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 9, pp. 40–45. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-763-9-40-45> (In Russian).

Снижение веса строительных конструкций зданий и сооружений всегда было и остается важнейшей научно-технической задачей отрасли. Решается она двумя путями: первый – повышение прочности и модуля упругости материалов несущих конструкций, позволяющие уменьшить геометрические размеры их сечений и соответственно физический объем; второй – снижение объемной массы материалов ограждающих конструкций при увеличении их сопротивления теплопередаче, звукоизоляции и коэффициента конструктивного качества (удельной прочности), что также влечет за собой уменьшение толщины стен, кровли и в целом их объема [1–7].

Для стеновых конструкций современных жилых домов, как многоэтажных, так и в особенности малоэтажных, давно применяются легкие цементные бетоны, которые согласно ГОСТ 25820–2014 по структуре делятся на плотные, крупнопористые и поризованные. Последние в наибольшей мере отвечают самой сути легкого бетона, поскольку в нем поризован и заполнитель и матрица – цементный камень, что делает этот материал структурно более однородным.

В связи с этим логичной представляется одностадийная технология получения более эффективных, чем существующие, легких бетонов из сухой поризованной активированной смеси, смешанной с пористыми заполнителями [8]. Преимуществом этой схемы может стать широкая возможность физико-химической модификации сухой смеси, в том числе наноразмерными добавками, что позволяет управлять технологическими и физико-механическими свойствами легковесной смеси.

Для приготовления сухой смеси для легких поризованных бетонов в работе использовали портландцемент ПЦ500 Д0 (ЦЕМ I 42.5) Мордовского цементного завода; в качестве заполнителей – гранулированное пеностекло на основе стекольного боя производства ООО «Стеклодиатом» с насыпной плотностью от 130 до 275 кг/м<sup>3</sup>; керамзитовый гравий по ГОСТ 32496–2013 марки D300, D400; вспененные гранулы полистирола с насыпной плотностью 10 кг/м<sup>3</sup>. Для вспенивания цементной матрицы использовали пенообразователь «Foamset» (производство Италия) на основе гидролизованного протеина – кератина. В качестве наномодификатора исполь-

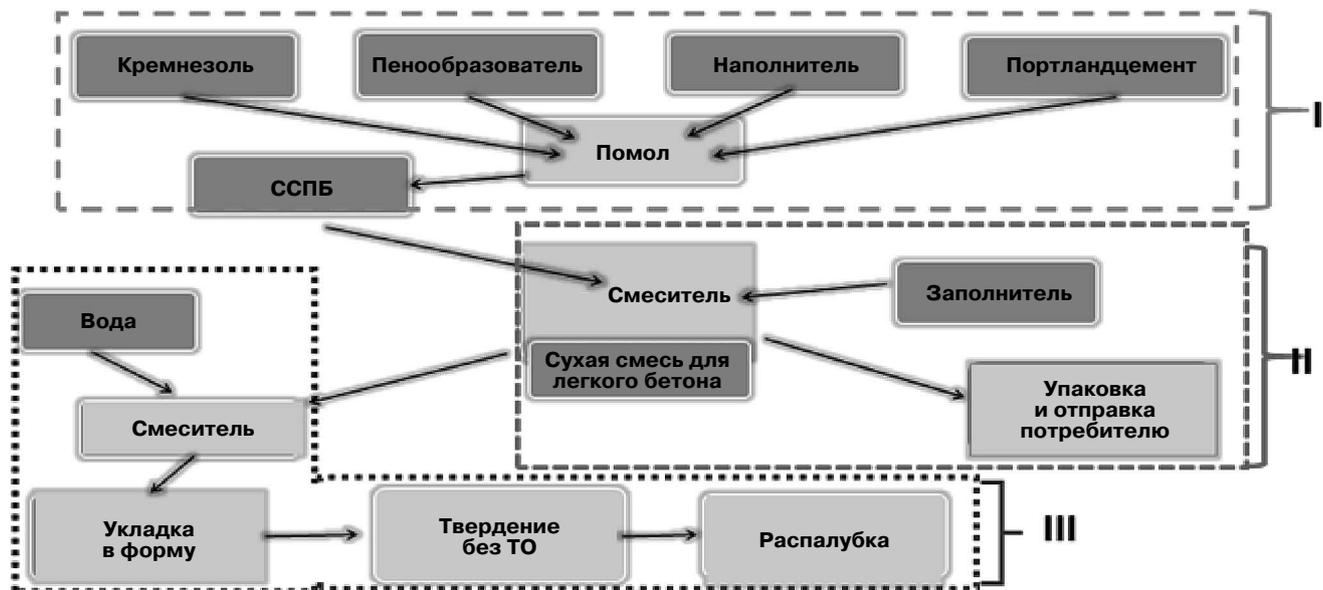


Рис. 1. Принципиальная схема производства ЛПБ с пористыми заполнителями

зовали золь поликремниевой кислоты КЗ-ТМ-30, выпускаемый фирмой «КОМПАС» (г. Казань) в промышленном масштабе по ТУ 2145-012-61801487–2014. Работы, выполненные ранее [9, 10], показали высокую эффективность кремнезоль, они также удобны для технологии получения сухих смесей.

Производство легких поризованных бетонов на основе сухих механоактивированных смесей (рис. 1) может быть разделено на три последовательно зависимые части, выпускающие три вида товарной продукции: сухую смесь для пенобетона (ССПБ), сухую смесь с легким заполнителем для изготовления ЛПБ (ССЛПБ) и товарную легкобетонную смесь для монолитного строительства и изготовления стеновых блоков заводского изготовления.

Затворение ССЛПБ водой производится в смесителе с образованием бетонной массы. После ее заливки в формы они выдерживаются в камере при температуре 25–30°C в течение 8 ч. Затем блоки из ЛПБ извлекаются из форм и в течение 7 сут дозревают на складе при температуре не ниже +15°C.

Приготовление сухой смеси для пенобетона осуществлялось в лабораторной вибрационно-шаровой мельнице СМВ-3 производства ООО «Опытный завод со спецбюро» (г. Москва). Определение распределения частиц по размерам (РЧР) проводилось на лазерном анализаторе размеров частиц Horiba LA950.

Сравнительное влияние наномодифицирования механоактивированных сухих смесей на распределение их частиц по размеру (РЧР) показано на рис. 2.

Видно, что кривая РЧР сухой смеси на основе ПЦ500 Д0 без наномодификатора (рис. 2, а) имеет бимодальный характер, максимальное число частиц находится в интервале 8–30 мкм и составляет 59% общего их числа. При этом минимальный размер частиц равен 1,73 мкм, а максимальный – 394,24 мкм.

Кривая РЧР сухой смеси, модифицированной КЗ-ТМ-30, имеет полимодальный характер (рис. 2, б) и на порядок смещается влево – до 0,1 мкм. Содержание зерен размером 0,1–5 мкм равно 34%; 5–10 мкм – 26%; 10–20 мкм – 33%; более 20 мкм – 7%. Такой характер РЧР объясняет быстрый набор прочности при затворении этой сухой смеси водой, так как частицы размерами 0–5 мкм, как известно, оказывают решающее влияние на рост прочности цемента в первые часы твердения.

На основе полученных результатов подобран состав модифицированной сухой смеси (табл. 1) с улучшенными прочностными характеристиками (табл. 2), предназначенный для получения пенобетона плотностью 400 кг/м<sup>3</sup>, со следующими основными показателями качества сухой смеси: удельная поверхность не менее 450 м<sup>2</sup>/кг; продолжительность затворения водой и перемешивания не более 5 мин; подвижность пенобетонной смеси (по Суттарду) 118–130 мм.

Таблица 1

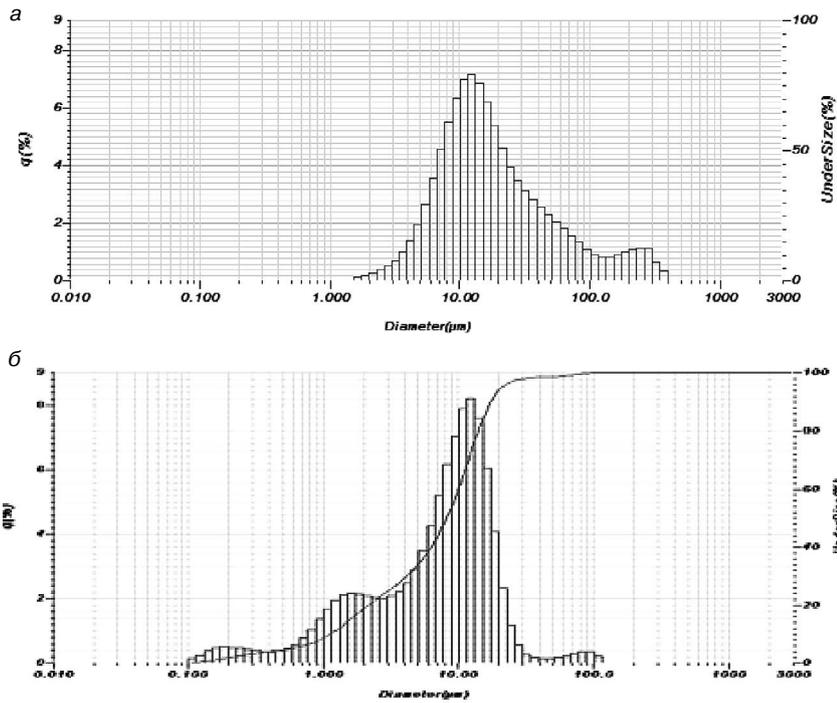
Состав сухих смесей для пенобетона

Обозначение сухой смеси	Средняя плотность пенобетона, кг/м <sup>3</sup>	Расход материалов на 1 т сухой смеси		
		Цемент, кг	Кремнезоль КЗ-ТМ-30, кг	Пенообразователь, л
ССПБ 400 – базовая	400	990	–	10
ССПБ 400-Н – наномодифицированная	400	989,99	0,00982	10

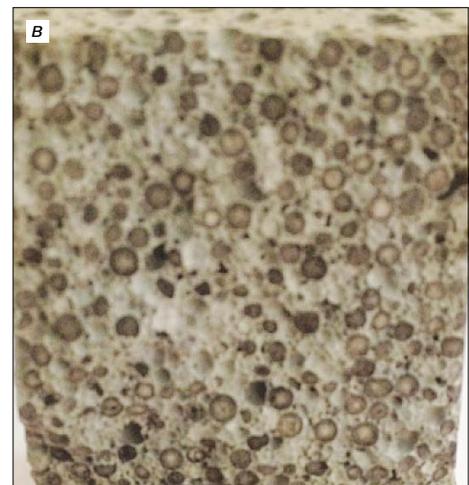
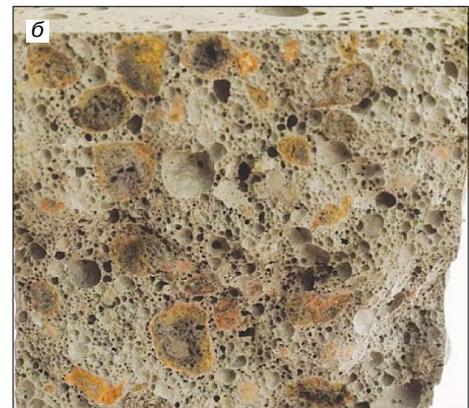
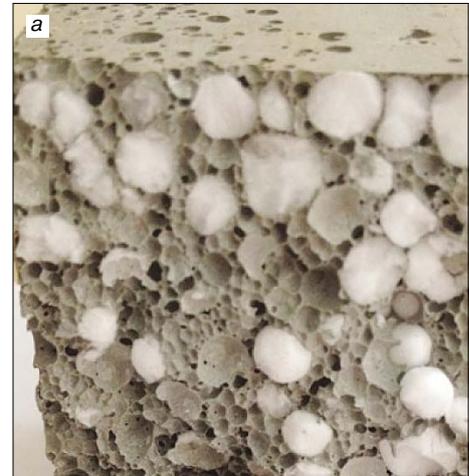
Таблица 2

Прочность при сжатии пенобетона из сухих смесей

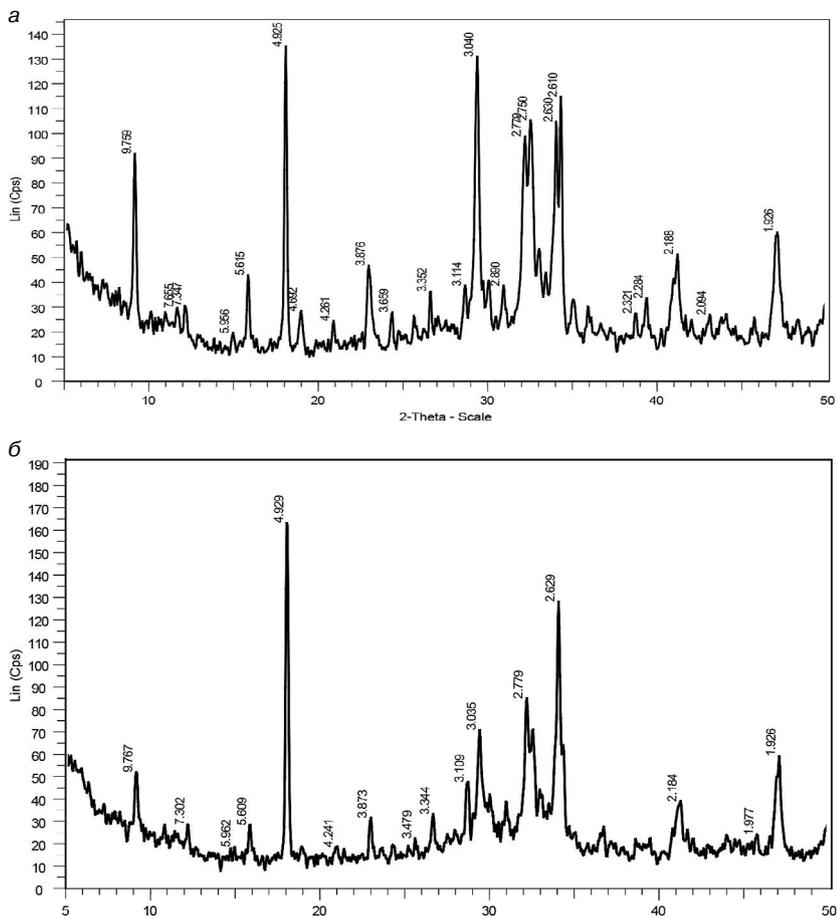
Наименование материала	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Прочность при сжатии, МПа	
		3 сут	28 сут
Пенобетон из сухой смеси	400	1,1–1,3	1,5–1,7
Пенобетон из наномодифицированной сухой смеси	400	1,5–1,6	1,9–2



**Рис. 2.** Распределение частиц по размерам: а – исходной сухой смеси для пенобетона; б – модифицированной сухой смеси для пенобетона



**Рис. 4.** Поверхность скола образца ЛПБ: а – с пенополистиролом; б – с керамзитовым гравием; в – с пеностеклом



**Рис. 3.** Дифрактограмма пенобетона: а – из базовой сухой смеси; б – из модифицированной сухой смеси

Таблица 3

Влияние заполнителя на прочность легкого поризованного бетона (ЛПБ)

Заполнитель	Фракция заполнителя, мм	Прочность при сжатии, МПа	Средняя плотность ЛПБ, кг/м <sup>3</sup>	Прочность при сжатии, МПа, в возрасте 28 сут	Расчетный ККК·10 <sup>-3</sup> (R/D) при сжатии	Прочность при изгибе, МПа, в возрасте 28 суток	Расчетный ККК·10 <sup>-3</sup> (R/D) при изгибе
Керамзитовый гравий	5–10	0,25	750	3,11–3,68	4,1–4,9	2,13	2,93
	10–20	0,19	650	2,87–3,45	4,4–5,3	1,7	2,62
Гранулированное пеностекло	0–2	2,61	550	4,6–5,18	8,3–9,4	1,49	2,71
	0–5	2,26	500	3,91–4,49	7,8–8,98	1,33	2,66
	7–20	0,79	400	2,3–3,22	5,75–8,05	0,69	1,73
Вспененные гранулы полистирола	4–6	–	300	0,92–1,1	3–3,5	0,52	1,73

Таблица 4

Усадка легкого поризованного бетона

Состав	Значение усадки, мм/м
Пенобетон из сухой смеси D400	2,25
Легкий бетон из сухой смеси с керамзитом D750	0,9
Легкий бетон из сухой смеси с пеностеклом D400	1,77
Легкий бетон из сухой смеси с пеностеклом D450	1,30
Легкий бетон из сухой смеси с пеностеклом D500	1,38
Легкий бетон из сухой смеси с пеностеклом D550	1,68
Легкий бетон из сухой смеси с пенополистиролом D300	2,2
Легкий бетон из сухой смеси с пеностеклом и керамзитом D650	1,175

Таблица 5

Морозостойкость поризованных бетонов

Состав	Марка по морозостойкости, цикл	Нормативное значение морозостойкости
Пенобетон из сухой смеси D400	35	Не норм. по ГОСТ 25485–89
Легкий бетон из сухой смеси с керамзитом D750	50	F25 по ГОСТ 25820–2000
Легкий бетон из сухой смеси с пеностеклом D400–D500–D600	50	Нет данных
Легкий бетон из сухой смеси со вспененными гранулами полистирола D300	10	F25–F35 по ГОСТ 51263–2012

Для определения минералогического состава цементного камня без и с добавкой КЗ-ТМ-30 был использован метод РФА (рис. 3)

Анализ полученных данных показал, что характерной особенностью образца с нанодобавкой является увеличение интенсивности отражений портландита по сравнению с контрольным составом (4,93; 2,63; 3,41; 1,93 Å) и снижение интенсивности отражений безводных силикатов кальция (2,7761; 2785; 2,748 Å) и возможно (2,28; 2,32 Å). Это свидетельствует об активации процессов гидратации в образце с добавкой, поскольку увеличение свободной извести является результатом ускорения процесса растворения (гидролиза) безводных силикатов кальция и способствует повышению содержания Са(ОН)<sub>2</sub> в цементной системе.

Следует отметить, что интенсивность отражений кальцита значительно выше в контрольном образце, чем в образце с добавкой, что может свидетельствовать о замедлении карбонизационных процессов и возможности связывания части Са(ОН)<sub>2</sub> в образце с добавкой в слабозакристаллизованные тоберморитоподобные гидросиликаты кальция, которые, возможно, не отражены на рентгенограмме.

Другой характерной особенностью для образца с нанодобавкой является резкое снижение отражений эт-

трингита по сравнению с контрольным составом (9,73; 5,61; 4,69; 3,88; 2,209 Å), хотя значения характерных отражений моногидросульфата алюмината кальция (2,06 Å), которые можно отнести к этой фазе, несколько выше для контрольного образца. Из этого следует, что процесс образования эттрингита и его перекристаллизация в моносульфат в присутствии нанодобавки замедлен.

Следует также отметить, что если отнести отражение 4,26 Å к двухводному гипсу, то его интенсивность несколько ниже в образце с нанодобавкой. Возможно, что часть гипса остается несвязанной как в контрольном образце, так и в образце с добавкой. Возможно, часть свободного двухводного гипса при наличии алюминатной фазы и кальцита может в дальнейшем связываться в фазу 3СаОAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·3СаСО<sub>3</sub>·32Н<sub>2</sub>O (аналог эттрингита  $d = 9,41; 3,80; 2,70; 2,51 \text{ \AA}$ ).

В целом можно заключить, что нанодобавка способствует активации процесса гидратации цементных систем и повышению прочности, хотя увеличение несвязанной свободной извести в цементной системе является негативным фактором. Снижение количества эттрингита в образце с добавкой можно считать положительным моментом, поскольку снижается вероятность разуплотнения структуры вслед-

**Таблица 6**

**Коэффициент теплопроводности легких поризованных бетонов**

Состав	Коэффициент теплопроводности бетона в сухом состоянии, Вт/(м·°С)	
	Фактический % от нормы	Норма по ГОСТ 25820–2014 «Бетоны легкие. Технические условия»
Пенобетон из сухой смеси D400	$\frac{0,09}{-18}$	0,11
Легкий бетон из сухой смеси с керамзитом D750	$\frac{0,2}{-5}$	0,21
Легкий бетон из сухой смеси с пеностеклом D400	$\frac{0,0825}{-33}$	0,11
Легкий бетон из сухой смеси с пеностеклом D450	$\frac{0,0866}{-27,8}$	0,12
Легкий бетон из сухой смеси с пеностеклом и керамзитом D650	$\frac{0,0945}{-37}$	0,15
Легкий бетон из сухой смеси с гранулами пенополистирола D300	$\frac{0,08}{-20}$	0,1

**Таблица 7**

**Коэффициент паропроницаемости легких поризованных бетонов на основе сухой вспенивающейся смеси**

Состав	Коэффициент паропроницаемости легкого бетона в сухом состоянии, мг/(м·ч·Па)	
	Фактический	Норма по ГОСТ 25485–89 «Бетоны ячеистые. Технические условия», не менее
Пенобетон из сухой смеси D400	0,24	0,23
Легкий бетон из сухой смеси с керамзитом D750	0,15	0,14
Легкий бетон из сухой смеси с пеностеклом D400	0,23	0,23
Легкий бетон из сухой смеси с пеностеклом D500	0,2	0,2
Легкий бетон из сухой смеси с пеностеклом и керамзитом D650	0,16	0,15
Легкий бетон из сухой смеси со вспененными гранулами полистирола D300	0,26	0,26

ствие его перекристаллизации в моногидросульфоalumинат кальция.

Анализ макроструктуры (рис. 4, 5) разработанных ЛПБ показывает следующее: вне зависимости от вида гранул наполнитель равномерно распределен по всей высоте образца, и нет никаких признаков расслоения, обусловленных разницей в плотностях наполнителя и поризованной матрицы ЦК, а ячейки поровой структуры матрицы имеют замкнутый характер. Это является еще одним существенным преимуществом технологии получения ЛПБ из сухой вспенивающейся смеси перед традиционными способами.

Анализ микроструктуры полученных ЛПБ производили на электронном микроскопе (ПЭМ) ЭММА4.

На микрофотографии (рис. 6) видна плотная стеклофаза керамзита с разными по размерам порами, главным образом ячеистыми, и в контактной зоне – цементный камень. При этом на границе с зерном керамзита формируется плотный слой ЦК толщиной около 50 мкм. Граница контакта ЦК–ЗП плотная (без отслоений, трещин и других дефектов). Видна четкая граница раздела пеностекла (плотной матрицы с порами-сферами) и цементного камня (кристаллы и их «лом»); контакт ППС с ЦК плотный, поверхностные дефекты гранул заполнены ЦК, трещины и отслоения отсутствуют.

Таким образом, во всех вариантах заполнения пенобетона пористыми сферами из разных материалов: керамики, стекла, полистирола формируется плотный

контакт ЦК с поверхностью гранул; граничный слой не превышает 50 мкм, при этом достигается хорошая адгезия ЦК со всеми видами пористых гранул наполнителя.

Влияние вида наполнителя на прочностные показатели легкого бетона из ССПБ представлено в табл. 3.

Прочность при изгибе ЛПБ оказалась ниже прочности при сжатии только в два раза, что косвенно свидетельствует о хорошей адгезии пористого наполнителя к пенобетонной матрице, так как прочность сцепления на растяжение при изгибе находится в прямой зависимости от пористости поверхности наполнителя при оптимальной структуре ЛПБ.

В табл. 4 даны значения конечной усадки после завершения процесса сушки образцов в течение года.

Из табл. 5 видно, что введение пористых наполнителей значительно снижает усадку по сравнению с контрольным составом (в случае гранулированного пеностекла – до 1,5 раз).

За марку пенобетона и легкого бетона по морозостойкости принимают число циклов попеременного замораживания и оттаивания, при котором прочность пенобетона при сжатии снижается не более чем на 15%, а потеря массы образцов не более чем на 5%. Результаты испытаний приведены в табл. 5.

Введение керамзитового гравия и пеностекла в сухую смесь повышает морозостойкость легкого бетона с марки М35 до М50. При введении гранул пенополисти-

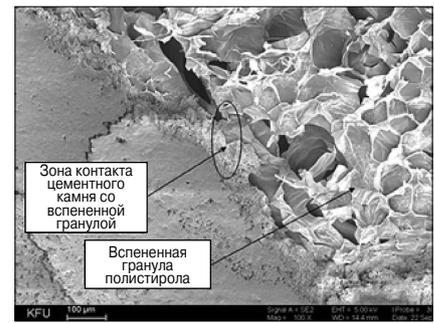
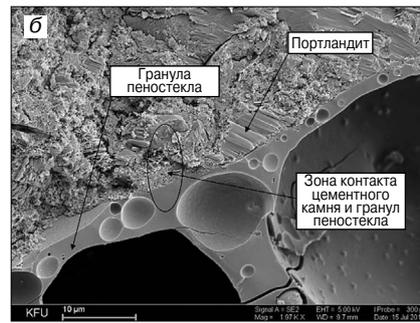
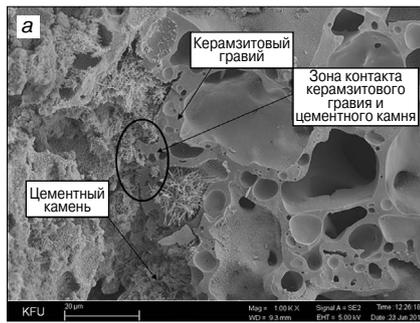


Рис. 5. Микроструктура легкого бетона из сухой смеси с: а – керамзитовым гравием при увеличении  $\times 1000$ ; б – гранулированным пеностеклом при увеличении  $\times 2000$

Рис. 6. Микроструктура легкого бетона из сухой смеси со вспененными гранулами полистирола при увеличении  $\times 100$

рола морозостойкость снизилась с марки М35 до М10, что обусловлено относительно низкой прочностью материала по сравнению с контрольным составом (пенобетоном из сухой модифицированной смеси).

Значения теплопроводности разработанных ЛПБ представлены в табл. 6.

Как следует из представленных данных, полученные бетоны являются эффективными теплоизолирующими материалами, так как имеют более низкие (в среднем на 20%) коэффициенты теплопроводности, чем нормативные той же плотности.

#### Список литературы

1. Давидюк А.Н., Савин В.И., Кузьмич Т.А., Строчкий В.Н., Давидюк А.А. Нормируемые параметры легких бетонов на минеральных пористых заполнителях и оценка несущей способности конструкций на их основе // *Промышленное и гражданское строительство*. 2018. № 4. С. 56–64.
2. Давидюк А.Н., Савин В.И., Костин А.А., Федосеев А.В. Легкие бетоны нового поколения на гранулированном пеностекле // *Бетон и железобетон*. 2015. № 5. С. 2.
3. Коровяков В.Ф., Федосеев А.В. Пеностекло возвращается // *Строительная орбита*. 2014. № 6. С. 54–55.
4. Давидюк А.Н. Легкие бетоны на стеклогранулятах – будущее ограждающих конструкций // *Технология бетонов*. 2015. № 9–10. С. 17–20.
5. Давидюк А.Н., Давидюк А.А. Прочностные свойства легких бетонов на стекловидных заполнителях для многослойных ограждающих конструкций // *Бетон и железобетон*. 2008. № 6. С. 9–13.
6. Горин В.М., Токарева С.А., Кабанова М.К. Керамзит: опыт и перспективы развития производства и применения // *Строительные материалы*. 2004. № 11. С. 32–34.
7. Горин В.М., Токарева С.А., Вытчиков Ю.С. Современные ограждающие конструкции из керамзитобетона для энергоэффективных зданий // *Строительные материалы*. 2011. № 3. С. 34–36.
8. Красникова Н.М., Хозин В.Г. Новый способ приготовления пенобетона // *Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета*. 2009. № 1. С. 273–276.
9. Красникова Н.М., Морозов Н.М., Кашапов Р.Р. Влияние кремнезольа на фазовый состав гидратированного цемента с полифункциональной добавкой // *Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета*. 2016. № 1. С. 173–178.
10. Хозин В.Г., Абдрахманова Л.А., Низамов Р.К. Общая концентрационная закономерность эффектов наномодифицирования строительных материалов // *Строительные материалы*. 2015. № 2. С. 25–33.

Результаты исследования паропроницаемости разработанных легких бетонов представлены в табл. 7.

Из полученных результатов видно, что разработанные материалы имеют хорошую паропроницаемость и, будучи примененными в стеновых ограждениях зданий, способны обеспечить комфортный микроклимат в зданиях.

Таким образом, физико-технические свойства разработанных составов легких поризованных бетонов позволяют применять их для изготовления стеновых блоков и монолитных ограждающих конструкций жилых и административных зданий.

#### References

1. Davidyuk A.N., Savin V.I., Kuzmich T.A., Strocchi V.N., Davidyuk A.A. Normalized parameters of light concretes on mineral porous aggregates and assessment of bearing capacity of structures based on them. *Promishlennoe i Grajdanskoe Stroitel'stvo*. 2018. No. 4, pp. 56–64. (In Russian).
2. Davidyuk A.N., Savin V.I., Kostin A.A., Fedoseev A.V. Lightweight concrete of new generation on the granulated foam glass. *Beton i Zhelezobeton*. 2015. No. 5, p. 2. (In Russian).
3. Korovyakov V.F., Fedoseev A.V. Foam glass returns. *Stroitel'naya Orbita*. 2014. No. 6, pp. 54–55. (In Russian).
4. Davidyuk A. N. Lightweight concrete on foam glass – the future of walling. 2015. *Tehnologiya Betonov*. No. 9–10, pp. 17–20. (In Russian).
5. Davidyuk A.N., Davidyuk A.A. Strength properties formed of such concrete with glass aggregate for multi-layer enclosing structures. *Beton i Zhelezobeton*. 2008. No. 6, pp. 9–13. (In Russian).
6. Gorin V.M., Tokareva S.A., Kabanova M.K. Expanded clay: experience and prospects of production and application. *Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]*. 2004. No. 11, pp. 32–34. (In Russian).
7. Gorin V.M., Tokareva S.A., Vytychikov Yu.S. Up-to-date enclosing structures made of haydite concrete for energy efficient buildings. *Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]*. 2011. No. 3, pp. 34–36.
8. Krasnikova N.M., Khozin V.G. A new method of preparation of foam concrete. *Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. 2009. No. 1, pp. 273–276. (In Russian).
9. Krasnikova N.M., Morozov N.M., Kashapov R.R. Effect of silica on the phase composition of hydrated cement with polyfunctional additive. *Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. 2016. No. 1, pp. 73–178 (In Russian).
10. Khozin V.G., Abdrakhmanova L.A., Nizamov R.K. The overall concentration pattern of the effects of nanomodification of construction materials. *Stroitel'nye Materialy*. 2015. No. 2, pp. 23–25. (In Russian).

В.Ф. СТЕПАНОВА, д-р техн. наук (vfstepanova@mail.ru),  
А.В. БУЧКИН, канд. техн. наук (andibuch@inbox.ru), Е.Ю. ЮРИН, бакалавр (max199107@bk.ru)

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

## Исследование свойств тяжелого бетона на крупном заполнителе, армированного неметаллической базальтовой фиброй

Применение неметаллической фибры в бетоне позволяет повысить его трещиностойкость по сравнению с конструкциями из обычного бетона. В тяжелом бетоне на крупном заполнителе может произойти снижение ожидаемого эффекта за счет возможного измельчения неметаллической фибры. В статье приведены результаты исследований фибробетона, изготовленного с использованием гранитного щебня и базальтовой фибры. Исследованы различные режимы приготовления фибробетона и рекомендован оптимальный режим введения и перемешивания базальтовой фибры. Исследованы основные физико-технические и эксплуатационные характеристики фибробетона. Показана возможность использования базальтовой фибры не только в мелкозернистом бетоне, но и в тяжелом бетоне на крупном заполнителе. На основании выполненных исследований установлены основные технические параметры фибробетона и подготовлены предложения в Изменение к СП 297.1325800.2017 «Конструкции фибробетонные с неметаллической фиброй. Правила проектирования».

**Ключевые слова:** тяжелый бетон, крупный заполнитель, неметаллическая фибра, базальтовое волокно, распределение фибры в цементной матрице, деформация бетона, водопоглощение, водонепроницаемость.

**Для цитирования:** Степанова В.Ф., Бучкин А.В., Юрин Е.Ю. Исследование свойств тяжелого бетона на крупном заполнителе, армированного неметаллической базальтовой фиброй // *Строительные материалы*. 2018. № 9. С. 46–53. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-763-9-46-53>

V.F. STEPANOVA, Doctor of Sciences (Engineering), (vfstepanova@mail.ru),  
A.V. BUCHKIN, Candidate of Sciences (Engineering), (andibuch@inbox.ru), E.Yu. YURIN, Bachelor, (max199107@bk.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)

### Investigation of the Properties of Heavy Concrete on a Large Aggregate Reinforced with Nonmetallic Basalt Fiber

The use of non-metallic fibres in concrete can improve the crack resistance of structures compared with structures made of conventional concrete. In heavy concrete on a large aggregate, the expected effect may decrease due to possible grinding of non-metallic fiber. The article presents the research results of concrete produced using crushed granite and basalt fiber. Investigated different modes of making fiber-reinforced concrete and recommended the optimal mode of injection and mixing of basalt fiber. The basic physical-technical and operational characteristics of fiber reinforced concrete are investigated. The possibility of using basalt fiber not only in fine-grained concrete, but also in heavy concrete on a large aggregate is shown. On the basis of the executed researches it is established, the main technical parameters of fiber reinforced concrete and proposals in the Change to SP 297.1325800.2017 "Fiber-reinforced concrete construction with non-metallic fiber reinforcement. Rules of design".

**Keywords:** heavy concrete, large aggregate, nonmetallic fiber, basalt fiber, distribution of fiber in the cement matrix, concrete deformation, water absorption, water resistance.

**For citation:** Stepanova V.F., Buchkin A.V., Yurin E.Yu. Investigation of the properties of heavy concrete on a large aggregate reinforced with nonmetallic basalt fiber. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 9, pp. 46–53. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-763-9-46-53> (In Russian).

Как показано ранее выполненными исследованиями [1–4], вводимая в бетонную смесь фибра способствует улучшению работы бетона при действии изгибающих нагрузок, повышает его морозостойкость, трещиностойкость и ударопрочность. Для увеличения пластичности бетона или его прочности на изгиб необходимо большее количество фибры, совместимость механических характеристик фибры и бетона и их сцепление. Эффективный контроль над трещинами не только ведет к увеличению несущей способности, надежности и эксплуатационной пригодности элементов конструкции, но и за счет ограничения ширины раскрытия трещин – к улучшению их долговечности (замедление проникновения газов и жидкостей в бетон, самозалечивание мелких трещин и т. д.) [2, 5, 6].

Отличительными признаками фибробетона (далее – ФБ) являются анизотропия свойств и дискретность, что позволяет выделить такие бетоны в самостоятельную группу конструкционных материалов с присущими только им особенностями структуры и свойств.

Ранее выполненные исследования ФБ с крупным заполнителем [1, 6] не дали ожидаемых результатов.

Однако с течением времени изменились исходные материалы и технологии изготовления ФБ, и на сегодняшний день продолжающиеся исследования как в России, так и за рубежом показали возможности промышленного изготовления ФБ с крупным заполнителем, который по своим характеристикам превосходит обычный бетон. Для изготовления ФБ применяются различные виды волокон: металлические, углеродные, стеклянные, базальтовые, полипропиленовые, полиэфирные и т. д. В настоящее время только металлическая фибра прочно заняла свои позиции в строительстве [4, 7–9]. В то же время изготовление тяжелого бетона с крупным заполнителем и неметаллической фиброй является не менее перспективным. Авторами проводились исследования на фибре из базальтового волокна.

В качестве крупного заполнителя для изготовления ФБ использовали щебень из плотных горных пород по ГОСТ 8267–93; песок кварцевый фракционированный 0,1–0,063 мм по ГОСТ 8736–2014; портландцемент ПЦ-500 Д20 по ГОСТ 10178–85 и суперпластификатор

Таблица 1

## Характеристики фибры

Наименование показателя	Микрофибра базальтовая	Макрофибра (композитная) на основе базальтовых волокон
Диаметр отрезка, мкм	10–13	1000
Длина отрезка, мм	15	15
Прочность на разрыв, МПа	1500–2000	800
Модуль упругости, МПа	93200–116000	50000
Плотность, г/см <sup>3</sup>	2,8	2

Таблица 2

## Этапы приготовления ФБ по принятым схемам

№ этапа	Схема 1		Схема 2	
	Компоненты	Время перемешивания	Компоненты	Время перемешивания
1	Ц+П+Д+Щ	30 с	Ц+П+Д+Щ+В	60 с
2	Ф	Не более 60 с	Ф	Не более 60 с
3	В	60 с	–	–
		<b>2 мин 30 с</b>		<b>2 мин</b>

**Примечание.** Ц – цемент; П – песок; Щ – щебень; Д – добавка; В – вода; Ф – фибра (базальтовая или стеклянная).

С-3 по ТУ 5745-001-97474489–2007. Технические характеристики используемой фибры представлены в табл. 1.

Исследования проводили на трех составах ФБ с крупным заполнителем класса по прочности при сжатии В30, с процентом армирования базальтовым волокном до 6% от массы вяжущего: состав контрольный (без добавок); состав 1 – с тонким базальтовым волокном (микрофиброй) и состав 2 – с базальтокомпозитной фиброй (макрофиброй).

Расчетный состав ФБ на 1 м<sup>3</sup>:

Цемент	350 кг
Песок	850 кг
Щебень гранитный	1100 кг
Вода/цемент (В/Ц)	0,40–0,44
Фибра (базальтовая или стеклянная)	от массы цемента до (3–5)%
Суперпластификатор С-3	(до 1% от массы вяжущего)
Вода	до 150 л



**Рис. 1.** Этапы введения фибры в бетонную смесь и характер ее распределения: а – состав 1 с тонким базальтовым волокном (микрофиброй); б – состав 2 с базальтокомпозитной фиброй (макрофиброй); в – фибробетон, состав 1 и 2 после перемешивания

В процессе работы использовали смесители принудительного действия.

При проведенных ранее исследованиях установлено, что принципиальное значение имеет последовательность введения воды и волокна в смесь компонентов. При этом установлено время, необходимое для распределения волокна без его разрушения (потери первоначальной длины), которое находится в интервале 2–3 мин. Для качественного и однородного распределения максимально возможная длина волокна должна быть не более 25 мм, так как более длинные волокна частично разрушаются и, кроме того, ухудшают удобоукладываемость смеси. Поэтому для отработки схем последовательности введения материалов и их перемешивания было использовано базальтовое волокно длиной 20 мм, диаметром 10–13 мкм.

С целью минимизации воды в смеси В/Ц в зависимости от состава подбирали эмпирически по равной подвижности в соответствии с этапами приготовления, представленными в табл. 2. Водоцементное отношение в зависимости от состава смеси варьировали в диапазоне 0,37–0,45.

Этапы приготовления фибробетонной смеси, характер и равномерность распределения фибры в бетоне показаны на рис. 1.

По аналогии с мелкозернистым ФБ [4] исследовали две схемы приготовления ФБ. В каждой схеме использовали различную последовательность загрузки материалов:

**схема 1** – введение волокна в сухую смесь цемента, песка, щебня, добавки; получение однородной

**Таблица 3**

**Равномерность распределения волокна в смеси**

В/Ц	Масса фибры в навеске $q_{fj}$ , г	Объемная масса смеси $\gamma_{fb}$ , г/см <sup>3</sup>	Среднее объемное содержание волокна в пробе $\mu_j$ , %	Коэффициент изменчивости $V_j$ , %
Схема 1				
0,45	4,27	2153	1,4	6,7
Схема 2				
0,37	3,91	2150	1,2	4,8

**Таблица 4**

**Прочность при сжатии в возрасте 28 сут**

Маркировка	Размеры образца, мм			Площадь рабочего сечения $A$ , мм <sup>2</sup>	Разрушающая нагрузка $F$ , кН	Прочность бетона при сжатии $R$ , МПа	
	длина	ширина	высота			единичная	средняя
Контрольный	101	101	100	10201	357,6	33,3	34,51
	102	101	100	10302	395,6	36,48	
	102	100,9	101	10292	365,7	33,76	
1	101	101	100	10201	326,3	30,39	30,88
	100	102	100	10200	311,7	29,03	
	101	101	101	10201	356,8	33,23	
2	101	100	102	10100	476,1	476,1	44,6
	102	101	101	10302	487	487	
	100	101	102	10100	468,9	468,9	

**Таблица 5**

**Прочность на растяжение при изгибе в возрасте 28 сут**

Маркировка	Размеры образца, мм		Расстояние между осями опор $l$ , мм	Максимальная нагрузка $F$ , кН	Предел прочности на растяжение при изгибе $R_{tb}$ , МПа	
	ширина $a$	толщина $b$			единичное значение	среднее значение
Контрольный	101	101,4	300	11,478	3,05	3,06
	101,3	101,1		11,781	3,14	
	101	101,1		11,125	2,97	
1	70,6	70,1	210	10,322	5,37	5,48
	70,2	70,2		10,471	5,47	
	70,2	70,1		10,706	5,6	
2	101,1	101,2	300	11,13	2,97	3,19
	101,4	100,1		11,758	3,19	
	100,9	101		12,756	3,42	

**Таблица 6**

**Составы фибробетонной смеси**

№	Состав бетонной смеси						Характеристики бетонной смеси		
	Ц, кг	Д, кг	П, кг	Щ, кг	БВ, кг	В, л	ОК, см	$\gamma$ , кг/м <sup>3</sup>	В/Ц
1	393	4	838	1081	24	144	11	2484	0,37
3	598	4	1367	–	40	220	11	2335	0,37

смеси сухих компонентов и последующее затворение их водой;

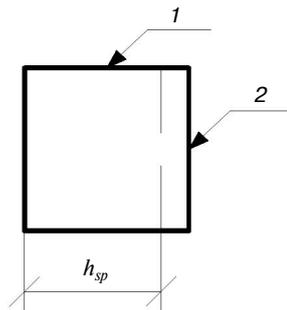
**схема 2** – введение базальтового волокна в предварительно приготовленную смесь из цемента, песка, добавок и воды.

Наряду с последовательностью загружаемых компонентов смеси изучали влияние добавки на технологические свойства смеси, на равномерность распределения волокна и на физико-механические свойства ФБ.

Наличие нераспадающейся фибры, пучков волокон является одним из основных факторов, снижающих

эффективность дисперсного армирования при перемешивании. В качестве контролируемого параметра при различных схемах последовательности загрузки материалов и их перемешивания являлось качественное и равномерное распределение волокна по объему цементно-песчаной матрицы, которое определяли согласно методике, изложенной в ВСН 56–97. Критерием оценки качества распределения волокна по объему бетонной матрицы, его разрушения в процессе перемешивания в зависимости от состава смеси принята прочность на растяжение при изгибе ФБ.

Рис. 2. Расположение надреза, выполненного в испытательном образце: 1 – верхняя поверхность бетонирования; 2 – надрез



Согласно ВСН 56–97 удовлетворительная равномерность распределения волокна в смеси характеризуется величиной коэффициента изменчивости ( $V$ ), который находится в пределах от 10 до 15%. Поэтому величина, полученная в ходе проведения работы,  $V < 10\%$  характеризует равномерность распределения волокна в бетонной смеси как высокую.

Однородность распределения волокна оценивалась как по коэффициенту изменчивости  $V$ , так и по величине объемной массы смеси. Увеличение объемной массы при одинаковых технологических параметрах указывает на получение качественной смеси. Результаты равномерности распределения базальтового волокна в смеси при различных схемах последовательности загрузки материалов и режимов перемешивания приведены в табл. 3.

Характер распределения волокна по объему бетонной матрицы несколько различается в зависимости от схемы перемешивания и состава смеси. Равномерность распределения волокна в бетонной смеси не превышает 10% и считается высокой при всех схемах перемешивания. Тем не менее для дальнейших исследований была выбрана схема 2 перемешивания, позволяющая получать, при прочих равных условиях, более качественное распределение волокна при меньшем его разрушении за счет сокращения цикла приготовления смесей по сравнению со схемой 1.

Применение суперпластификатора позволило снизить водосодержание на 17,8% по сравнению с составами без добавки, уменьшить энергоемкость приготовления смесей и сопротивление продвижению лопастей смесителя. Суперпластификатор делает смеси подвижными и удобоукладываемыми, тем самым позволяя улучшить качество перемешивания и распределения волокна.

Физико-механические характеристики бетона оценивали по значениям прочности при сжатии и растяжении при изгибе по ГОСТ 10180–85. Результаты приведены в табл. 4 и 5.

Остаточную прочность ФБ при растяжении определяли в процессе испытаний образцов-призм на изгиб по EN 14651. Размер призмы  $150 \times 150 \times 550$  мм. Для испытаний готовили образцы ФБ состава 1 и 3 с использованием микрофибры в количестве 1% от объема смеси, на крупном заполнителе и мелком заполнителе в качестве контрольного. Составы фибробетонной смеси приведены в табл. 6.

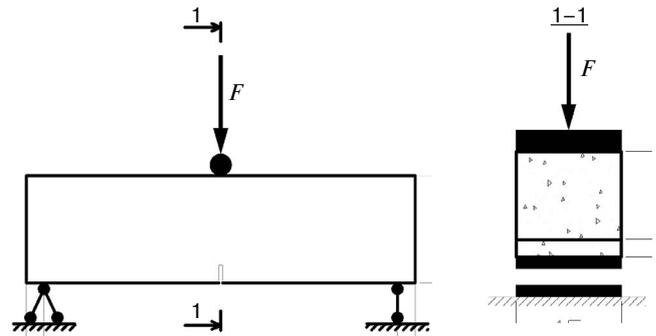


Рис. 3. Схема испытания образцов-призм из ФБ по EN 14651

Для выполнения надрезов в испытательных образцах использовали мокрую резку. Ширина прорези  $\leq 5$  мм, глубина  $\leq 25$  мм. Прорезь в образцах выполняли через 3 сут с момента их изготовления. Надрез производили посередине образца в повернутом на  $90^\circ$  вокруг продольной оси положении, как показано на рис. 2. Схема испытания образцов-призм из ФБ по EN 14651 показана на рис. 3.

В начале нагружения образца скорость перемещения активной траверсы испытательной машины соответствовала скорости приращения перемещений на 0,05 мм/мин, а после достижения перемещений внешних граней надреза значения  $a_f = 1$  мм – скорость приращения перемещений внешних граней надреза на 0,2 мм/мин.

Испытания проводили до достижения значения перемещений внешних граней надреза  $a_f = 4$  мм. В ходе испытаний для каждого образца строили диаграмму нагрузка – перемещение внешних граней надреза ( $F-a_f$ ), (рис. 4, 5).

Для каждого образца с точностью до  $0,1$  Н/мм<sup>2</sup> определяли значения остаточной прочности на растяжение  $R_{F0,5}$  и  $R_{F2,5}$  с учетом неупругих свойств ФБ по формулам:

$$R_{F0,5} = \frac{3 \cdot F_{0,5} \cdot l}{2 \cdot b \cdot h_{sp}^2} \cdot k_{F0,5}; \quad (1)$$

$$R_{F2,5} = \frac{3 \cdot F_{2,5} \cdot l}{2 \cdot b \cdot h_{sp}^2} \cdot k_{F2,5}; \quad (2)$$

где  $F_{0,5}$  – значение нагрузки, соответствующее перемещению внешних граней надреза  $a_f = 0,5$  мм;  $F_{2,5}$  – значение нагрузки, соответствующее перемещению внешних

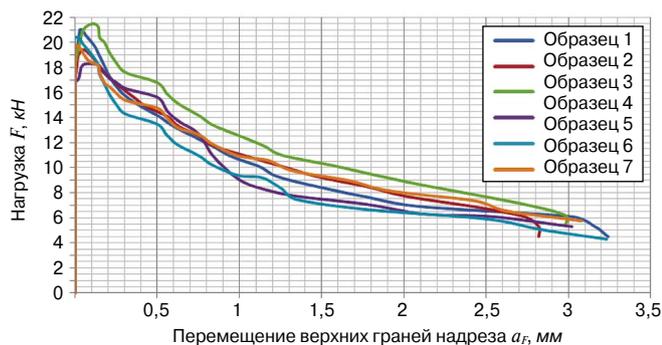


Рис. 4. Диаграммы нагрузка – перемещение внешних граней надреза для мелкозернистого ФБ

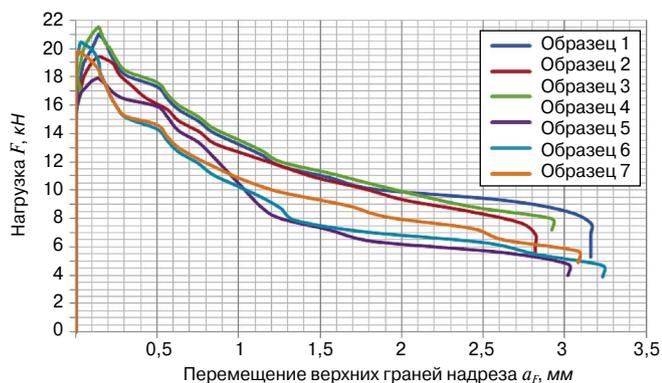


Рис. 5. Диаграммы нагрузка – перемещение внешних граней надреза для ФБ с крупным заполнителем

граней надреза  $a_f = 2,5$  мм;  $l$  – длина пролета, мм;  $b$  – ширина сечения образца, мм;  $h_{sp}$  – расстояние между вершиной надреза и верхней гранью образца, мм;  $k_{F0,5} = 0,45$  и  $k_{F2,5} = 0,34$  – коэффициенты учета неупругих деформаций растянутой зоны образца.

Результаты испытания остаточной прочности ФБ представлены в табл. 7 и 8.

На основании выполненных исследований установлен следующий характер деформирования контрольных образцов при их изгибе с контролем приращения перемещений (рис. 6). Вначале образцы деформируются линейно – практически до образования первой трещины в сечении, нормальном к продольной оси. После образования трещины нагрузка скачкообразно падает до некоторого уровня, характеризующегося работой пересеченных трещиной фибровых волокон. При дальнейшем увеличении перемещений прочность нормального сечения образцов начинает снижаться.

Для построения расчетных схем для нормального сечения фибробетонных элементов связь напряжений  $\sigma_{fb}$  с относительными деформациями  $\epsilon_{fb}$  принимается в виде диаграммы деформирования ФБ при осевом сжатии, которая аналогична диаграммам деформирования традиционного тяжелого бетона – двухлинейной, трехлинейной (указаны для примера на рис. 7) или криволинейной [10]. Отличием являются лишь числовые значения координат базовых точек диаграмм деформирования при осевом сжатии. Установленным испытаниями характер деформирования опытных образцов качественно не отличается от диаграмм деформирования, установленных при испытаниях образцов из ФБ, изготовленных из тяжелого бетона с мелким заполнителем.

Таблица 7

Результаты испытания остаточной прочности ФБ с крупным заполнителем и неметаллической фиброй

Образец	Значения нагрузки, кН			Значения остаточной прочности, МПа			Нормативные значения остаточной прочности на осевое растяжение, МПа		$R_{fb3,n} / R_{fb1,n}$	Индекс подкласса
	$F_{el}$	$F_{0,5}$	$F_{2,5}$	$R_{f_{el,m}}$	$R_{F0,5,m}$	$R_{F2,5,m}$	$R_{fb1,n}$	$R_{3fb1,n}$		
1	21	17,3	9,7	6,7	5,5	3,1	7,2	6,8	0,95	с
2	19,4	15,3	8,1	6,2	4,9	2,6				
3	21,5	17,6	8,7	6,9	5,6	2,8				
4	17,9	15,9	5,8	5,7	5,1	1,9				
5	20,4	14,3	6,3	6,5	4,6	2				
6	19,8	14,6	6,9	6,3	4,7	2,2				
Среднее	20	15,8	7,6	6,4	5,1	2,4				

Таблица 8

Результаты испытания остаточной прочности мелкозернистого бетона с неметаллической фиброй

Образец	Значения нагрузки, кН			Значения остаточной прочности, МПа			Нормативные значения остаточной прочности на осевое растяжение, МПа		$R_{fb3,n} / R_{fb1,n}$	Индекс подкласса
	Нормативные значения остаточной прочности на осевое растяжение, МПа			$R_{f_{el,m}}$	$R_{F0,5,m}$	$R_{F2,5,m}$	$R_{fb1,n}$	$R_{3fb1,n}$		
1	19,9	15,7	8,6	6,4	5	2,8	7,6	7,4	0,97	с
2	24,5	17,3	9,1	7,9	5,5	2,9				
3	22,2	16,6	8,8	7,1	5,3	2,8				
4	18,9	15,4	7,8	6	4,9	2,5				
5	19,8	15,2	7,3	6,3	4,9	2,3				
6	21,7	15,9	9	6,9	5,1	2,9				
Среднее	21,2	16	8,4	6,8	6	2,7				

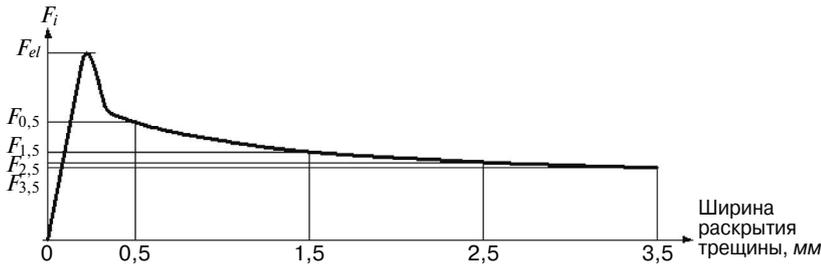


Рис. 6. Характерная диаграмма деформирования ФБ

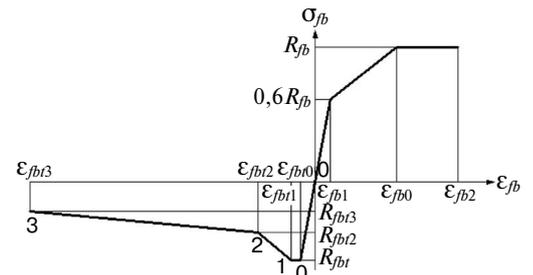


Рис. 7. Расчетные диаграммы деформирования ФБ

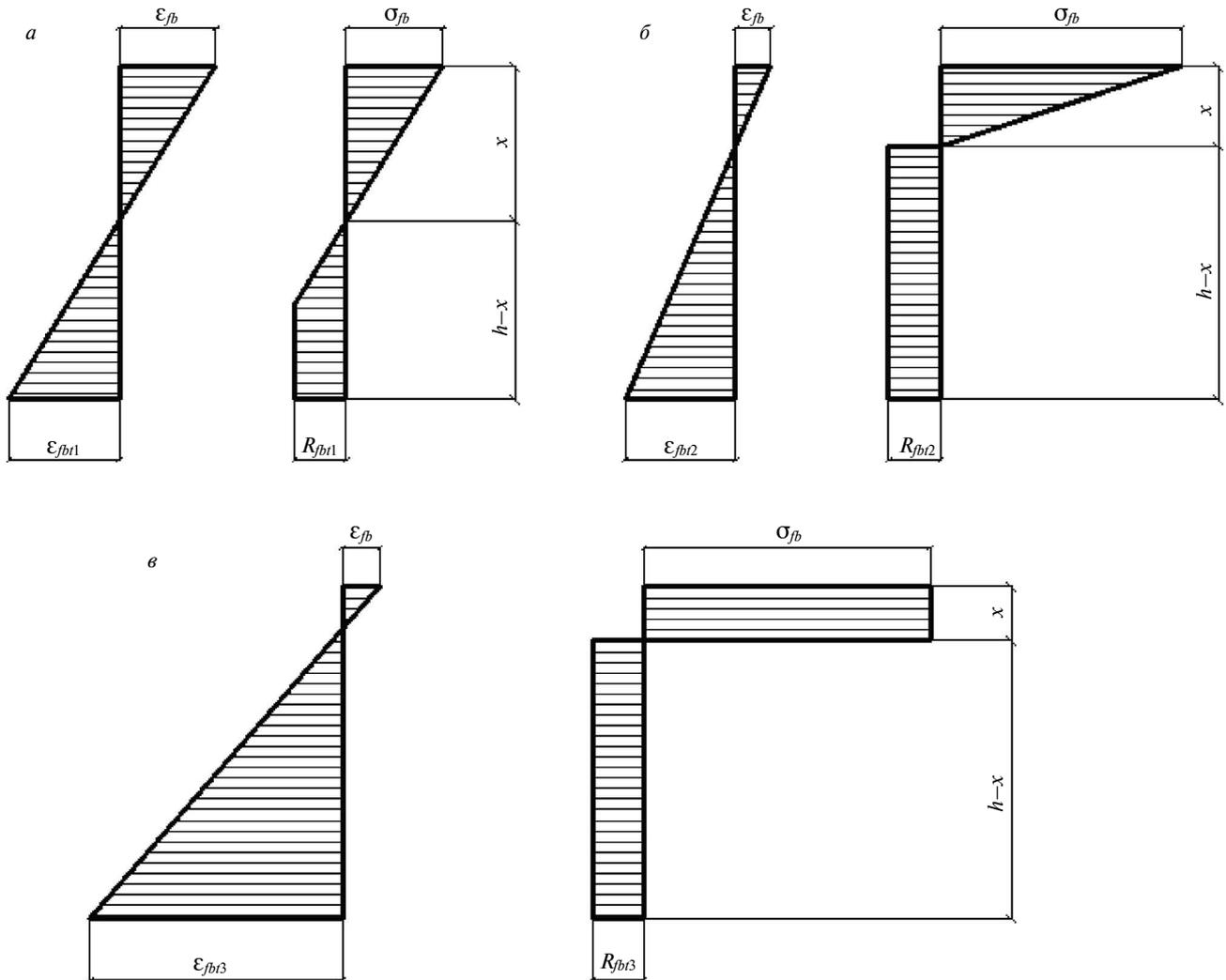


Рис. 8. Расчетные схемы для определения коэффициентов неупругих деформаций ФБ

Диаграмма деформирования ФБ при осевом растяжении установлена по результатам испытаний контрольных опытных образцов и включает четыре базовые точки, которые соответствуют:

- максимально достигнутому сопротивлению ФБ осевому растяжению  $R_{fb1}$  и соответствующих ему упругой составляющей относительных деформаций  $\epsilon_{fb0}$  (точка 0, рис. 7) и полных относительных деформаций  $\epsilon_{fb1}$  (точка 1, рис. 7);
- остаточному сопротивлению ФБ осевому растяжению  $R_{fb2}$ , соответствующему значению относительных деформаций  $\epsilon_{fb2}$  (точка 2, рис. 7);

- остаточному сопротивлению ФБ осевому растяжению  $R_{fb3}$ , соответствующему значению относительных деформаций  $\epsilon_{fb3}$  (точка 3, рис. 7).

Сопротивление ФБ осевому растяжению  $R_{fb1}$  установлены при испытаниях опытных образцов по максимальному значению сосредоточенной силы  $F_{el}$  (рис. 6), которое фиксируется при значении перемещения внешних граней надреза в образце в интервале от 0 до 0,05 мм. Остаточные сопротивления ФБ осевому растяжению  $R_{fb2}$  и  $R_{fb3}$  установлены по значениям сосредоточенных сил  $F_{0,5}$  и  $F_{2,5}$  (рис. 6), которые фиксируются при значении перемещения внешних гра-

ней надреза в образце, равном 0,5 и 2,5 мм соответственно.

Значения  $R_{fb1}$ ,  $R_{fb2}$  и  $R_{fb3}$  определяли с учетом неупругих свойств ФБ на рассматриваемой стадии деформирования опытного образца. Для этого для образцов, испытанных на действие одной сосредоточенной силой в середине пролета, зависимости для вычисления нормативных значений сопротивления ФБ осевому растяжению в базовых точках диаграммы приняли в виде:

$$R_{fb1,n} = \frac{3 \cdot F_{el,m} \cdot l}{2 \cdot b \cdot h_{sp}^2} \cdot k_{Fel} \cdot (1 - 1,64 \cdot v_{Fel,m}); \quad (3)$$

$$R_{fb2,n} = \frac{3 \cdot F_{0,5,m} \cdot l}{2 \cdot b \cdot h_{sp}^2} \cdot k_{F0,5} \cdot (1 - 1,64 \cdot v_{F0,5,m}); \quad (4)$$

$$R_{fb3,n} = \frac{3 \cdot F_{2,5,m} \cdot l}{2 \cdot b \cdot h_{sp}^2} \cdot k_{F2,5} \cdot (1 - 1,64 \cdot v_{F2,5,m}), \quad (5)$$

где  $F_{el,m}$ ,  $F_{0,5,m}$ ,  $F_{2,5,m}$  – средние значения нагрузок  $F_{el}$ ,  $F_{0,5}$  и  $F_{2,5}$ , кН;  $l$  – длина пролета образца, мм;  $b$  – ширина сечения образца, мм;  $h_{sp}$  – расстояние между вершиной надреза и верхней гранью образца, мм;  $k_{Fel}$ ,  $k_{F0,5}$  и  $k_{F2,5}$  – коэффициенты учета неупругих деформаций ФБ;  $v_{Fel,m}$ ,  $v_{F0,5,m}$  и  $v_{F2,5,m}$  – коэффициенты вариации, устанавливаемые по результатам испытаний, которые определяют по формулам:

$$v_{F0,5,m} = \frac{S_{F0,5,m}}{R_{F0,5,m}}; \quad (6)$$

$$v_{F2,5,m} = \frac{S_{F2,5,m}}{R_{F2,5,m}}; \quad (7)$$

$S_{F0,5,m}$  и  $S_{F2,5,m}$  – среднеквадратичные отклонения, которые определяют по формулам:

$$S_{F0,5,m} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (R_{F0,5,i} - R_{F0,5,m})^2}{(n-1)}}; \quad (8)$$

$$S_{F2,5,m} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (R_{F2,5,i} - R_{F2,5,m})^2}{(n-1)}}; \quad (9)$$

где  $n$  – число контрольных образцов-призм.

Значения коэффициентов учета неупругих деформаций ФБ определяют исходя из следующих предположений:

- сечения образца под нагрузкой остаются плоскими;
- эпюра напряжений в сжатой зоне образца при достижении относительных деформаций в растянутой зоне значений  $\epsilon_{fb1}$  и  $\epsilon_{fb2}$  принимается треугольной формы (рис. 8, а, б), а при достижении относительных деформаций  $\epsilon_{fb3}$  – прямоугольной формы (рис. 8, в) с напряжениями  $R_{fb1}$ ;
- эпюра напряжений в растянутой зоне образца при достижении относительных деформаций в растянутой зоне значений  $\epsilon_{fb1}$  принимается трапециевидальной формы (рис. 8, а), а при достижении относительных деформаций  $\epsilon_{fb2}$  и  $\epsilon_{fb3}$  – прямоугольной формы (рис. 8, б, в).

Значение относительных деформаций  $\epsilon_{fb1}$  принято равным:

$$\epsilon_{fb1} = \frac{R_{fb1}}{E_{fb}} + 0,0001, \quad (10)$$

где  $E_{fb}$  – начальный модуль деформаций ФБ.

Числовые значения относительных деформаций  $\epsilon_{fb2}$  и  $\epsilon_{fb3}$  устанавливали исходя из гипотезы, что расстояния между смежными трещинами равны высоте сечения контрольного образца. Тогда при перемещениях внешних граней надреза в образце, равных 0,5 и 2,5 мм, значения указанных деформаций для образцов с пропилом ( $h = 125$  мм) составят:  $\epsilon_{fb2} = 0,004$ ;  $\epsilon_{fb3} = 0,02$ .

Согласно принятым предпосылкам напряжение в ФБ сжатой грани сечения опытных образцов при достижении относительной деформации растянутой грани значения  $\epsilon_{fb1}$  составит:

$$\sigma_{fb1} = \epsilon_{fb1} \cdot E_{fb} \cdot v_{fb1} = R_{fb1} \cdot \frac{v_{fb1}}{v_{fb3}} \cdot \frac{x}{h-x}, \quad (11)$$

где  $v_{fb1}$  – коэффициент упругости ФБ растянутой грани сечения при деформации  $\epsilon_{fb1}$ ;  $v_{fb3}$  – коэффициент упругости ФБ сжатой грани сечения при деформации  $\epsilon_{fb3}$ .

### Выводы

По результатам выполненных исследований установлено:

1. ФБ может рассматриваться как однородный изотропный материал, а методика, применяемая для анализа напряжений, деформаций и прогибов, аналогична той, которая используется для изотропных материалов согласно действующим нормативно-техническим документам.

2. Проведены экспериментальные исследования тяжелого бетона с неметаллической фиброй, в результате которых установлены: прочностные характеристики ФБ (прочность при сжатии, растяжении при изгибе; трещиностойкость ФБ, включая прочность на растяжение при изгибе при раскрытии трещины до 3,5 мм).

3. Прочностные характеристики тяжелого бетона с крупным заполнителем с введением в него неметаллической фибры (стекло, базальт) повышаются, однако стеклянные и базальтовые волокна, изготовленные из ровингов, частично ломаются при перемешивании смеси и частично растворяются при взаимодействии с цементной матрицей. В связи с этим наиболее приемлемым дисперсно-армирующим компонентом для бетонов с крупным заполнителем, повышающим прочностные и деформационные свойства, являются разрабатываемые в последние годы различные виды композитной фибры – стеклопластиковая, базальтопластиковая и углепластиковая.

Степень повышения прочностных характеристик зависит от объема включенной в его состав фибры. Наряду с повышенным сопротивлением осевому растяжению исследованный ФБ обладает остаточным сопротивлением растяжению. При этом необходимо отметить, что макрофибра требует конструктивных изменений с целью обеспечения анкеровки в бетоне и более полного использования прочностных свойств.

4. Выполнен анализ существующих методов расчета фибробетонных конструкций с неметаллической фиброй, в результате которого установлено, что основным документом является СП 297.1325800.2017 «Конструкции фибробетонные с неметаллической фиброй. Правила проектирования». На основании анализа результатов экспериментальных исследований установлены технические параметры (сопротивление ФБ осевому сжатию, осевому растяжению, нормативный класс ФБ по остаточной прочности на растяжение при изгибе) для расчета несущей способности бетонных конструкций с неметаллической фиброй.

5. Результаты расчета прочности нормальных и наклонных сечений конструкций по предложенным СП 297.1325800 методикам удовлетворительно совпадают с результатами испытаний опытных образцов. При

таким расчете несущая способность конструкции существенно недооценивается.

6. Характер деформирования опытных образцов из тяжелого бетона с крупным заполнителем и с неметаллической фиброй качественно совпадает с результатами испытаний образцов из мелкозернистого бетона с неметаллической фиброй. Поэтому указания нормативных документов по проектированию фибробетонных конструкций из мелкозернистого бетона с неметаллической фиброй целесообразно распространить на конструкции из тяжелого бетона с крупным заполнителем и стеклянной или базальтовой фиброй.

7. Область применения СП 63.13330.2012 следует распространить на проектирование конструкций из ФБ с введением классов по остаточной прочности на осевое растяжение, назначаемого по результатам испытаний контрольных образцов-балок в соответствии с методом определения остаточной прочности ФБ на растяжение.

#### Список литературы

1. Горб А.М., Войлоков И.А. Фибробетон – история вопроса, нормативная база, проблемы и решения // *Международное аналитическое обозрение*. 2009. № 2. С. 1–4. <http://www.monolitpol.ru/files/monolitpol026.pdf> (дата обращения 14.04.2018)
2. Фибробетон и его применение в строительстве: *Сб. науч. тр. под ред. Б.А. Крылова, К.М. Королева*. М.: НИИЖБ Госстроя СССР, 1979. 175 с. С. 5–8.
3. Степанова В.Ф., Бучкин А.В. Цементные композиции, армированные базальтовым волокном // *Технология бетонов*. 2007. № 5. С. 28–29.
4. Beddar M. Fiber reinforced concrete: past, present and future. *Бетон и железобетон – пути развития: Науч. тр. II Всерос. (Междунар.) конф. по бетону и железобетону: В 5 т. Т. 3. Секционные доклады, секция «Технология бетона»*. М.: Дипак, 2005. С. 228–234.
5. Бучкин А.В. Мелкозернистые бетоны, армированные тонким базальтовым волокном // *Мир дорог*. 2010. № 6. С. 46–47.
6. Степанова В.Ф., Бучкин А.В. Коррозионное поведение базальтового волокна в цементной матрице бетона // *Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века*. 2011. № 9. С. 22–26.
7. Мухамедиев Т.А., Соколов Б.С. Новое в нормировании сталефибробетона и расчетах сталефибробетонных конструкций // *Строительные материалы*. 2017. № 4. С. 59–64.
8. Степанова В.Ф., Фаликман В.Р., Бучкин А.В. Задачи и перспективы применения композитов в строительстве. *Актуальные вопросы теории и практики применения композитной арматуры в строительстве: Сб. мат. III науч.-техн. конф.* Ижевск. 2017. С. 55–72.
9. NF EN 14651–2005 Test method for metallic fibered concrete – Measuring the flexural tensile strength (limit of proportionality (LOP), residual). 2005. 17 с.
10. Мухамедиев Т.А. К вопросу расчета фибробетонных конструкций // *Промышленное и гражданское строительство*. 2017. № 1. С. 16–20.

#### References

1. Gorb A.M., Vojlovok I.A. The fiber-reinforced concrete – background, regulatory framework, problems and solutions. *Mezhdunarodnoe analiticheskoe obozrenie*. 2009. No. 2, pp. 1–4. <http://www.monolitpol.ru/files/monolitpol026.pdf> (Date of access 14.04.2018). (In Russian).
2. The fiber-reinforced concrete and its application in construction. *Collection of scientific works ed. by B.A. Krylova, K.M. Koroleva*. M.: NIIZhB Gosstroja SSSR. 1979. 175 p., pp. 5–8. (In Russian).
3. Stepanova V.F., Buchkin A.V. Cement compositions reinforced with basalt fiber. *Tehnologii betonov*. 2007. No. 5, pp. 28–29. (In Russian).
4. Beddar M. Fiber reinforced concrete: past, present and future. *Concrete and reinforced concrete – the ways of development: scientific works of the 2-nd All-Russia. (Intern.) Conf. for concrete and reinforced concrete: in 5 volumes. Vol. 3: Section reports, section “Concrete Technology”*. Moscow. 2005, pp. 228–234. (In Russian).
5. Buchkin A.V. Fine-grained concrete, reinforced with fine basalt fiber. *Mir dorog*. 2010. No. 6, pp. 46–47. (In Russian).
6. Stepanova V.F., Buchkin A.V. Corrosion behavior of basalt fiber in concrete cement matrix. *Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tehnologii XXI veka*. 2011. No. 9, pp. 22–26. (In Russian).
7. Muhamediev T.A., Sokolov B.S. New in rationing of steel fiber concrete and steel fiber concrete structures calculation. *Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]*. 2017. No. 4, pp. 59–64. (In Russian).
8. Stepanova V.F., Falikman V.R., Buchkin A.V. Tasks and prospects of application of composites in construction. *Actual questions of theory and practice of application of composite reinforcement in construction: Collected materials of the Third Scientific and Technical Conference*. Izhevsk. 2017, pp. 55–72. (In Russian)
9. EN 14651–2005 Test method for metallic fibered concrete – Measuring the flexural tensile strength (limit of proportionality (LOP), residual). 2005. 17 p.
10. Muhamediev T.A. To the question of the calculation of fiber-reinforced concrete structures. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2017. No. 1, pp. 16–20. (In Russian).

### СПЕЦИАЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА



#### Технология производства стеновых цементно-песчаных изделий

Балакшин Ю.З., Терехов В.А. М.: ООО РИФ «СТРОЙМАТЕРИАЛЫ». 2012. – 276 с.

В книге описано производство и применение стеновых материалов методом вибропрессования из цементно-песчаных бетонов. Рассмотрена существующая и перспективная номенклатура изделий и их свойства. Описаны сырьевые материалы для производства цементно-песчаных изделий: песок, щебень, вяжущие и химические добавки.

Сформулированы специфические требования к сырьевым материалам, а также рекомендации по подбору состава бетонной смеси. Подробно представлена технология производства цементно-песчаных вибропрессованных стеновых изделий. Особое внимание уделено технологическому контролю на производстве и техническому контролю и обслуживанию оборудования. Чертежи и табличная информация облегчают восприятие материала. Книга предназначена для организации производственно-технического обучения на предприятии, будет полезна инженерно-техническому персоналу и широкому кругу специалистов.

**Заказать литературу можно через редакцию, направив заявку по e-mail: [mail@rifsm.ru](mailto:mail@rifsm.ru), или оформить заказ на сайте [www.rifsm.ru](http://www.rifsm.ru)**

В.В. ГРАНЕВ<sup>1</sup>, д-р техн. наук (cniipz@cniipz.ru), А.Н. МАМИН<sup>1</sup>, д-р техн. наук (otozs@yandex.ru),  
Э.Н. КОДЫШ<sup>1</sup>, д-р техн. наук (otks@yandex.ru); К.И. ЕРЕМИН<sup>2</sup>, д-р техн. наук;  
М.Н. ЕРШОВ<sup>3</sup>, канд. техн. наук; Г.Р. ШНЕЙДЕРОВ<sup>4</sup>, канд. техн. наук

<sup>1</sup> ОАО «ЦНИИПромзданий» (127238, г. Москва, Дмитровское ш., 46-2)

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

<sup>3</sup> ООО «Производственно-строительное предприятие «Качество и Надежность» (ООО «ПСП «Кин»)  
(121096, г. Москва, ул. Василисы Кожиной, 14, к. 6)

<sup>4</sup> ЗАО «Центральный ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский и проектный институт строительных металлоконструкций им. Н.П. Мельникова» (ЗАО «ЦНИИПСК им. Мельникова») (117393, г. Москва, ул. Архитектора Власова, 49)

## Некоторые свойства порошкового металла при его лазерном напылении для восстановления сечений стальных строительных конструкций

При восстановлении металлических конструкций, являющихся памятниками культурного наследия, необходимо максимально сохранить первоначальную конструктивную схему и существующие элементы. Как правило, такие конструкции подвержены щелевой коррозии, приводящей к локальному уменьшению сечений. В статье представлено обоснование и экспериментальное подтверждение возможности применения лазерной наплавки порошкового металла для восстановления поврежденных коррозией стальных элементов строительных конструкций с воссозданием первоначального облика. Отражены преимущества лазерной наплавки по сравнению с другими способами наращивания металлических сечений. Приведены результаты исследований микроструктуры и механических параметров опытных образцов. Отмечено заметное влияние скорости и интенсивности нанесения наплавляемого слоя на качество получаемых изделий. При неудачно подобранном технологическом режиме процесса лазерной наплавки в образцах возникали значительные остаточные температурные деформации. Указано, что метод лазерной наплавки рекомендуется использовать в процессе восстановления поврежденных строительных конструкций при реконструкции и реставрации зданий и сооружений; качество сплавления материалов достаточно для обеспечения совместной работы основного и наплавляемого материалов; перед лазерной наплавкой необходимо подобрать режим (направление, скорость и интенсивность) наплавки или использовать специальные струбцины, предотвращающие возможную деформацию восстанавливаемого элемента; экспериментальным путем необходимо выполнить тщательный подбор материала напыления, который имеет деформативность, аналогичную основному металлу. При этом для наиболее нагруженных элементов следует экспериментально определить степень восстановления несущей способности.

**Ключевые слова:** порошковый металл, лазерная наплавка, восстановление строительных конструкций, исследование микроструктуры, щелевая коррозия, механические испытания образцов, башня Шухова.

**Для цитирования:** Гранев В.В., Мамин А.Н., Кодыш Э.Н., Еремин К.И., Ершов М.Н., Шнейдеров Г.Р. Некоторые свойства порошкового металла при его лазерном напылении для восстановления сечений стальных строительных конструкций // *Строительные материалы*. 2018. № 9. С. 54–57. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-763-9-54-57>

V.V. GRANEV<sup>1</sup>, Doctor of Sciences (Engineering), (cniipz@cniipz.ru), A.N. MAMIN<sup>1</sup>, Doctor of Sciences (Engineering), (otozs@yandex.ru),  
E.N. KODYSH<sup>1</sup>, Doctor of Sciences (Engineering), (otks@yandex.ru); K.I. EREMIN<sup>2</sup>, Doctor of Sciences (Engineering);  
M.N. ERSHOV<sup>3</sup>, Candidate of Sciences (Engineering); G.R. SHNEJDEROV<sup>4</sup>, Candidate of Sciences (Engineering)

<sup>1</sup> ОАО «TSNIIPromzdany» (46-2 Dmitrovskoye Shosse, 127238, Moscow, Russian Federation)

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

<sup>3</sup> ООО «Production-Construction Enterprise «Quality and Reliability» (ООО «PSP «KIN»)  
(14, bldg. 6, Vasilisy Kozhinoy Street, Moscow, 121096, Russian Federation)

<sup>4</sup> ЗАО «Melnikov Central Research and Design Institute of Steel Structures» (ZАО «TSNIIPSK named after Melnikov»  
(49, Architect Vlasov Street, Moscow, 117393, Russian Federation)

### Some Properties of Powder Metal during its Laser Deposition to Restore the Cross Sections of Steel Building Structures

When restoring metal structures, which are monuments of cultural heritage, it is necessary to maximally preserve the initial structural scheme and existing elements. As a rule, such structures are subjected to crevice corrosion which leads to local reduction of cross sections. The article presents the justification and experimental confirmation of the possibility to use laser cladding of powder metal for the restoration of corrosion-damaged steel elements of building structures with the reconstruction of the original appearance. When manufacturing prototypes, a noticeable effect of the speed and intensity of deposition of the clad layer on the quality of the products was revealed. At poorly-chosen technological mode of process of laser cladding, there were significant residual thermal strains in the samples. The advantages of laser cladding in comparison with other methods of metal cross-section expansion are reflected. The results of studies of the microstructure and mechanical parameters of prototypes are presented. It is confirmed that the method of laser cladding is recommended to use in the process of restoration of damaged building structures when reconstructing and restoring buildings and structures; the quality of fusion of materials is sufficient to provide the joint operation of the main and melting materials; before laser cladding, it is necessary to select the mode (direction, speed and intensity) of surfacing or use special clamps to prevent possible deformations of the element under restoration; experimentally, it is necessary to perform a careful selection of the spraying material, which has a deformability similar to the base metal. In this case, for the most loaded elements, the degree of recovery of the bearing capacity should be experimentally determined.

**Keywords:** powder metal, laser cladding, restoration of building structures, study of micro-structure, crevice corrosion, mechanical tests of samples, Shukhov Tower.

**For citation:** Granev V.V., Mamin A.N., Kodysh E.N., Eremin K.I., Ershov M.N., Shnejderov G.R. Some properties of powder metal during its laser deposition to restore the cross sections of steel building structures. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 9, pp. 54–57. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-763-9-54-57> (In Russian).



Рис. 1. Примеры проявления щелевой коррозии металлических конструкций: а – Радиобашня В.Г. Шухова (ул. Шаболовка, г. Москва) [1–3]; б – водонапорная башня, г. Выкса (Нижегородская обл.); в – листопрокатный цех, г. Выкса (Нижегородская обл.)

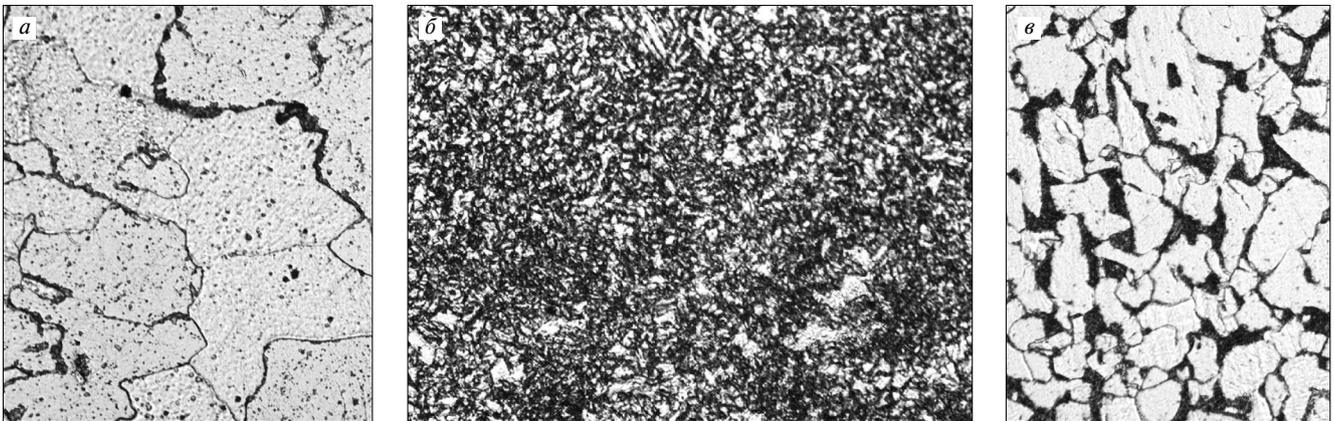


Рис. 2. Структура исследованных образцов (увеличение  $\times 500$ ): а – зона 1, наплавленный металл; б – зона 2, переходной участок; в – зона 3, основной металл

Обследования металлических элементов московской Радиобашни В.Г. Шухова и других аналогичных объектов показали, что самыми массовыми и опасными для конструкций подобных сооружений являются коррозионные повреждения, вызванные прежде всего щелевой коррозией, возникающей и развивающейся между металлическими деталями в заклепочных соединениях [1–3]. На рис. 1 показаны характерные коррозионные повреждения стальных конструкций на примере сооружений В.Г. Шухова, являющихся памятниками культурного наследия (по результатам технических обследований, проведенных АО «ЦНИИПромзданий», ПСП «Кин» и ООО «Асгард» в 2011–2018 гг). При восстановлении и реставрации подобных объектов необходимо сохранить их внешний облик и исходные материалы, поэтому применение традиционных способов восстановления, таких как усиление дополнительными элементами, недопустимо, а полная или частичная замена поврежденных элементов должна быть сведена к минимуму [4–7].

В ходе научно-технического сопровождения проекта реставрации московской Радиобашни на Шаболовке [8] перед авторами была поставлена задача разработать конструктивные решения, направленные на максимальное сохранение существующих элементов башни с обеспечением необходимой механической безопасности сооружения.

В большинстве основных несущих конструкций Радиобашни зафиксирована потеря площади сечений от щелевой коррозии, которая образовалась в узловых сопряжениях на ограниченных по длине участках элементов. Вследствие плохой свариваемости стали [2] такие локальные участки не подлежат замене, поэтому при значительных повреждениях без принятия специальных мер пришлось бы заменять весь элемент.

Предложено наращивание поврежденных участков сечений с восстановлением их первоначальной геоме-

три методом лазерной наплавки порошкового металла, что позволит сохранить большинство несущих элементов. Лазерная наплавка — это нанесение покрытия на поверхность заготовки путем сплавления тонкого слоя основы с присадочным материалом, в качестве которого применяют металлический порошок или проволоку.

Подобная технология сегодня достаточно широко применяется в машиностроении для восстановления поврежденных деталей, поскольку имеет ряд преимуществ перед другими способами наращивания металлических сечений, среди которых [9]:

- дозируемая энергия;
- возможность локальной обработки поверхности;
- минимизация зоны термического влияния;
- возможность обработки деталей больших габаритов благодаря высокой производительности наплавки;
- быстрый нагрев и остывание наплавляемого материала;
- образуемая ультрадисперсная структура покрытия эффективно противостоит процессам коррозии и эрозии;
- возможность обработки на нужную глубину;
- минимальное перемешивание основного и наплавляемого материала.

Для предварительного экспериментального подтверждения возможности применения данного метода восстановления сечений по разработанной в АО «ЦНИИПромзданий» методике были изготовлены, исследованы и испытаны опытные образцы.

На заготовки размером  $93 \times 38 \times 8$  мм из металла, аналогичного примененному при строительстве Радиобашни В.Г. Шухова, на предприятии АО «Плакарт» лазерным напылением было нанесено 3 мм порошкового металла.

Исследования двух образцов (пластины № 1 и 2) с наплавленным металлом проведены в Испытательном центре «ЦНИИПСК-ТЕСТ».

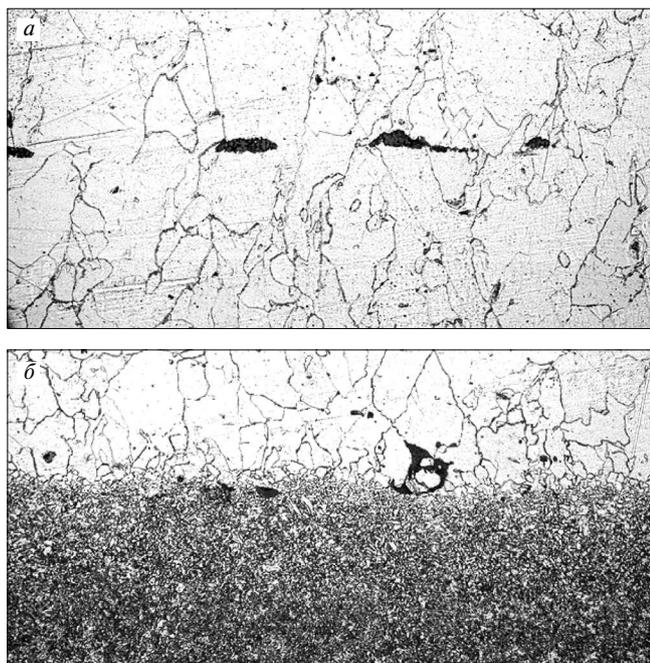


Рис. 3. Неметаллические включения (увеличение  $\times 200$ ): а – в наплавленном металле; б – на переходном участке

В ходе исследований выполнено:

- определение химического состава основного металла и покрытия;
- металлографический анализ образца с наплавкой;
- измерение твердости по сечению металла с наплавкой;
- испытание при сдвиге не до разрушения металла с покрытием (две пластины: № 1 и № 2);
- испытание при изгибе до разрушения металла с покрытием (пластина № 2);
- испытание при сжатии до разрушения по ГОСТ 25.503–97 «Расчеты и испытания на прочность. Методы механических испытаний металлов. Метод испытания на сжатие» (пластина № 1).

Химический анализ металла проведен методом атомно-эмиссионного спектрального анализа по ГОСТ Р 54153–2010 «Сталь. Метод атомно-эмиссионного спектрального анализа»; ГОСТ 18895–97 «Сталь. Метод фотоэлектрического спектрального анализа» на эмиссионном спектрометре АРГОН. Определено, что по химическому составу основной металл соответствует стали СтЗсп по ГОСТ 380–2005 «Сталь углеродистая обыкновенного качества. Марки (с Изменением № 1)»; металл наплавки – железному порошку марки ПЖВ1 по ГОСТ 9849–86 «Порошок железный. Технические условия (с Изменениями № 1, 2)».

Металлографический анализ проведен на оптическом микроскопе НЕОФОТ 32. Шлифы изготавливали в плоскости поперечного сечения пластины с наплавкой.

Микроструктуру исследовали в трех зонах шлифа: зона 1 – наплавленный металл; зона 2 – переходный слой; зона 3 – основной металл.

Выявлено, что структура наплавленного металла состоит из ферритных зерен (балл – 7 по ГОСТ 5639–82 «Стали и сплавы. Методы выявления и определения величины зерна (с Изменением № 1)» и частиц карбидов, расположенных в виде прослоек по границам зерен (рис. 2, а). В переходной зоне толщиной 0,3 мм на линии сплавления структура представляет собой эвтектоид (рис. 2, б). Структура основного металла – ферритно-перлитная (рис. 2, в). Размер ферритного зерна соответствует баллу 8,5 по ГОСТ 5639–82.

Результаты измерения микротвердости

№ отпечатка	Зона измерения	Длина диагонали отпечатка, мм			Значение твердости, кг/мм <sup>2</sup>
		C1	C2	Ср. *	
1	Основной металл	6	6	30	206
2	Переходной слой	6	7	32,5	186,5
3		6,5	6	31,25	196
4		5	5	25	297
5	Металл наплавки	6	7	32,5	186,5
6		9	9	45	91,6
7		7	8	37,5	138,5
8		7	8	37,5	138,5
9		7	8	37,5	138,5
10		7	8	37,5	138,5
11		6	7	32,5	186,5
12		7	6	32,5	186,5
13		7	8	37,5	138,5
14		7	7	35	151
15		7	7	35	151
16		7	7	35	151
17		7	7	35	151

\* С учетом увеличения.

В наплавленном металле наблюдаются неметаллические включения, расположенные как во внутренних объемах наплавленного металла (рис. 3, а), так и на границе сплавления с металлом основы (рис. 3, б).

Измерения твердости для трех точек основного и трех точек наплавленного металла проводили методом Виккерса в соответствии с ГОСТ 2999–75 «Металлы и сплавы. Метод измерения твердости по Виккерсу (с Изменениями № 1, 2)» на твердомере ИТ 5010-01. Результаты измерений – твердость наплавленного металла (83–122 НВ) ниже, чем основного металла (155 НВ).

Измерение микротвердости проводили в соответствии с ГОСТ 9450–76 (СТ СЭВ 1195–78) «Измерение микротвердости вдавливанием алмазных наконечников (с Изменениями № 1, 2)» на твердомере ПМТ-3М с нагрузкой 0,05 кг. Результаты измерений представлены в таблице.

Механические испытания образцов, изготовленных из пластин с покрытием, проведены на машине испытательной универсальной ЦД-40.

Испытание на изгиб проводили на двух образцах в соответствии с ГОСТ 14019–2003 (ИСО 7438:1985) «Материалы металлические. Метод испытания на изгиб» для определения способности металлических материалов выдерживать пластическую деформацию при изгибе.

Образцы при испытании располагали основным металлом в растянутой зоне (образец № 1) и наплавленным металлом в растянутой зоне (образец № 2). При испытании на изгиб до появления трещин на образце с основным металлом в растягивающей зоне угол изгиба составил 44°; на образце с наплавленным металлом в растягивающей зоне – 11°. В обоих образцах первые трещины образовались в наплавленном металле.

Испытания на сдвиг производили при воздействии на пластину с наплавленным металлом нагрузки, параллельной плоскости сплавления. Площадь участка сдвигаемого наплавленного металла составляла 48 мм<sup>2</sup>, уси-

лие сдвига около 980 Н. Разрушающее напряжение при сдвиге наплавленного металла составило 20,4 Н/мм<sup>2</sup>.

Испытание на сжатие проводили на образце прямоугольной формы с размерами 10×10×20 мм (ширина×длина×высота). Образец устанавливали на траверсу испытательной машины, нагрузку задавали через оправку диаметром 8 мм на плоскость образца размером 10×10 мм. При нагрузке 24990 Н (2550 кгс) в образце со стороны наплавленного металла появились трещины и произошла потеря первоначальной (прямоугольной) формы. Исследование микроструктуры образцов после испытаний показало, что разрушение образцов с наплавленным металлом произошло без расслоения слоев на границе основного и наплавленного металлов.

При изготовлении опытных образцов было выявлено заметное влияние скорости и интенсивности нанесения наплаваемого слоя на качество получаемых изделий. При неудачно подобранном технологическом режиме процесса лазерной наплавки в образцах возникали значительные остаточные температурные деформации.

По результатам проведенных исследований сделаны следующие выводы:

- метод лазерной наплавки рекомендуется использовать в процессе восстановления поврежденных строительных конструкций при реконструкции и реставрации зданий и сооружений;

- качество сплавления материалов достаточно для обеспечения совместной работы основного и наплаваемого материалов. Расслоение основного и наплаваемого материалов при деформациях сжимаемых образцов не зафиксировано;

- перед лазерной наплавкой необходимо подобрать режим (направление, скорость и интенсивность) наплавки или использовать специальные струбины, предотвращающие возможную деформацию восстанавливаемого элемента;

- в испытанных образцах при принятом наплаваемом металле отмечено возникновение трещин как при растяжении, так и при сжатии, что приводит к ухудшению механических параметров;

- для восстановления сечения элементов Радиобашни В.Г. Шухова и других подобных объектов экспериментальным путем необходимо выполнить тщательный подбор материала напыления с деформативностью, аналогичной основному металлу. При этом для наиболее нагруженных элементов следует экспериментально определить степень восстановления несущей способности. При подборе состава наплаваемого металла необходимо исключить возможность возникновения электрохимической коррозии. Перед выполнением лазерной наплавки следует очистить поверхность основного металла от продуктов коррозии.

#### Список литературы

1. Гранёв В.В., Кодыш Э.Н., Мамин А.Н. К 160-летию со дня рождения В.Г. Шухова // *Промышленное и гражданское строительство*. 2013. № 2. С. 73–76.
2. Мамин А.Н., Кодыш Э.Н., Ершов М.Н. Обследование строительных конструкций радиобашни В.Г. Шухова на Шаболовке. *Международный конгресс «Гений В.Г. Шухова и современная эпоха»*. М.: МВТУ им. Баумана, 2015. С. 122–131.
3. Кодыш Э.Н., Мамин А.Н., Бобров В.В., Рэуцу А.В., Кузнеценко С.А. Результаты обследования Радио-

башни В.Г. Шухова // *Строительство и реконструкция*. 2017. № 6. С. 43–48.

4. Прядко И.П. Шуховская радиобашня: реставрация шедевра // *Научное обозрение*. 2017. № 6. С. 16–20.
5. Ершов М.Н., Мамин А.Н., Корчуков А.С. Спасение Шуховской башни // *O-journal. Очистка. Окраска*. Сентябрь–октябрь 2012. С. 60–61.
6. Ершов М.Н., Корчуков А.С. Реконструкция-реставрация Шуховской радиобашни в г. Москве. Социально-правовые проблемы реставрации технически сложных памятников истории и культуры // *Технология и организация строительного производства*. 2014. № 2. С. 17–22.
7. Гранёв В.В., Мамин А.Н., Кодыш Э.Н., Кузнеценко С.А., Ершов М.Н. Техническое состояние несущих конструкций Радиобашни В.Г. Шухова // *Промышленное и гражданское строительство*. 2012. № 12. С. 90–92.
8. Гранёв В.В., Мамин А.Н., Кодыш Э.Н., Бобров В.В., Ершов М.Н., Матвеюшкин С.А. Сохраним радиобашню В.Г. Шухова // *Промышленное и гражданское строительство*. 2016. № 6. С. 14–19.
9. John C. Ion. Laser processing of engineering materials. Elsevier, 2005. 587 с.

#### References

1. Granev V.V., Kodysh E.N., Mamin A.N. To the 160th anniversary of the birth of V. G. Shukhov. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2013, No. 2, pp. 73–76. (In Russian).
2. Mamin A.N., Kodysh E.N., Ershov M.N. Inspection of building structures of the radio tower VG Shukhov on Shabolovka. *International Congress "The Genius of V.G. Shukhov and the modern era"*. M.: MVTU them. Bauman. 2015, pp. 122–131. (In Russian).
3. Kodysh E.N., Mamin A.N., Bobrov V.V., Reutsu A.V., Kuznechenko S.A. The results of the survey of the radio tower by V.G. Shukhov. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*. 2017. No. 6, pp. 43–48. (In Russian).
4. Pryadko I.P. Shukhov radio tower: restoration of the masterpiece. *Nauchnoe obozrenie*. 2017. No. 6, pp. 16–20. (In Russian).
5. Ershov M.N., Mamin A.N., Kotukov A.S. Rescue of the Shukhov tower. *O-journal. Ochistka. Okraska*. September–October 2012, pp. 60–61. (In Russian).
6. Ershov M.N., Korchukov A.S., the Reconstruction-restoration of Shukhov radio tower in Moscow. Social and legal problems of restoration of technically complex monuments of history and culture. *Tekhnologiya i organizatsiya stroitel'nogo proizvodstva*. 2014. No. 2, pp. 17–22. (In Russian).
7. Granev V.V., Mamin A.N., Kodysh E.N., Kuznechenko S.A., Ershov M.N. Technical condition of bearing constructions of radio Tower by V. Shukhov. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2012. No. 12, pp. 90–92. (In Russian).
8. Granev V.V., Mamin A.N., Kodysh E.N., Bobrov V.V., Ershov M.N., Matveyushkin S.A. Sokhranim radiobashnyu V.G. Shukhova. *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo*. 2016. No. 6, pp. 14–19. (In Russian).
9. John C. Ion. Laser processing of engineering materials. Elsevier, 2005. 587 p.

Посетите новый сайт журнала «Строительные материалы»®

journal-sm.ru

А.Д. ЖУКОВ<sup>1</sup>, канд. техн. наук (lj211@yandex.ru); К.А. ТЕР-ЗАКАРЯН<sup>2</sup>, управляющий директор; И.В. БЕССОНОВ<sup>3</sup>, канд. техн. наук; В.С. СЕМЕНОВ<sup>1</sup>, канд. техн. наук; А.В. СТАРОСТИН<sup>3</sup>, инженер

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

<sup>2</sup> ООО «ТЕПОФОЛ» (140301, Московская обл., г. Егорьевск, ул. Профсоюзная, 34)

<sup>3</sup> Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН (127238, г. Москва, Локомотивный пр., 21)

## Системы строительной изоляции с применением пенополиэтилена

Одним из достоинств вспененного полиэтилена является возможность формирования бесшовных изоляционных оболочек. Материал прикрепляют к основанию механически, листы соединяют в замок и сваривают горячим воздухом. Приведены результаты обследования строительных конструкций: каркасных коттеджей и бескаркасных складских сооружений, в которых пенополиэтилен выполняет функцию наружной или интерьерной изоляции, а также системы изоляции плавающего пола. Натурное обследование каркасного здания показало, что влажность соснового бруса находится в пределах нормативной; появления гнили не зафиксировано. Обоснована целесообразность утепления только наружным полотном пенополиэтилена расчетной толщины без заполнения каркаса, что при нормативном воздухообмене и соблюдении условий кондиционирования будет достаточным для поддержания микроклимата в помещении. Тепловизионная съемка бескаркасного хранилища, выполненного из гофрированного листа, продемонстрировала практически полное отсутствие мостиков холода по глади изоляционной оболочки. Отмечается, что внедрение современных технологий теплоизоляции (утепления) продовольственных складов и овощехранилищ не только решает вопрос энергоэффективного всепогодного их использования, но напрямую влияет на эффективность систем хранения плодовоовощной продукции в подобных сооружениях.

**Ключевые слова:** вспененный полиэтилен, системы изоляции, сварка замковых соединений, бесшовное полотно, каркасный коттедж, бескаркасное сооружение.

**Для цитирования:** Жуков А.Д., Тер-Закарян К.А., Бессонов И.В., Семенов В.С., Старостин А.В. Системы строительной изоляции с применением пенополиэтилена // *Строительные материалы*. 2018. № 9. С. 58–61. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-763-9-58-61>

A.D. ZHUKOV<sup>1</sup>, Candidate of Sciences (Engineering) (lj211@yandex.ru); K.A. TER-ZAKARYAN<sup>2</sup>, Managing Director;

I.V. BESSONOV<sup>3</sup>, Candidate of Sciences (Engineering); V.S. SEMENOV<sup>1</sup>, Candidate of Sciences (Engineering); A.V. STAROSTIN<sup>3</sup>, Engineer

<sup>1</sup> Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (26, Yaroslavl Highway, Moscow, 129337, Russian Federation)

<sup>2</sup> ООО «ТЕПОФОЛ» (34, Profsoyuznaya Street, Egor'evsk, Moscow Region, 140301, Russian Federation)

<sup>3</sup> Scientific-Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (21, Lokomotivny Driveway, Moscow, 127238, Russian Federation)

### Systems of Construction Insulation with the Use of Foam Polyethylene

One of the advantages of foam polyethylene is the ability to form seamless insulation shells. Material is mechanically attached to the base, the sheets are locked and welded with hot air. The results of the survey of building structures: frame cottages and frameless storage facilities, in which the foam polyethylene performs the function of external or interior insulation, as well as the insulation system of floating floor, are presented. Full-scale inspection of the frame building showed that the humidity of pine balk is within the normative; the appearance of rot is not fixed. The expediency of insulation only by the outer sheet of the foam polyethylene of calculated thickness without filling the frame is justified, which in case of normative air exchange and compliance with the conditions of air conditioning will be sufficient to maintain the microclimate in the room. Thermo-vision survey of the frameless storage, made of corrugated sheet, demonstrated the almost complete absence of cold bridges on the smooth surface of the insulation shell. It is noted that the introduction of modern technologies of thermal insulation (heat insulation) of food warehouses and vegetable stores not only solves the issue of their energy-efficient all-season use, but directly affects the efficiency of storage systems of fruits and vegetables in such facilities.

**Keywords:** foamed polyethylene, insulation system, welding of lock connections, seamless sheet, frame cottage, frameless structure.

**For citation:** Zhukov A.D., Ter-Zakaryan K.A., Bessonov I.V., Semenov V.S., Starostin A.V. Systems of construction insulation with the use of foam polyethylene. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 9, pp. 58–61. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-763-9-58-61> (In Russian).

Системы изоляции зданий и сооружений предполагают применение эффективных теплоизоляционных изделий [1–6] на основе минеральной ваты, пенополистиролов, пенополиуретанов и др. Изделия из несшитого пенополиэтилена (НПЭ) длительное время применяли в качестве изоляции трубопроводов, отражающей изоляции, защиты от инфильтрации воздуха и др. Современные технологии и технические решения позволили расширить область применения НПЭ как строительной теплоизоляции [7, 8].

Новизна материала и запатентованной технологии Теплофол® (патент №2645190) по сравнению с известными решениями заключается в разработке рулонного материала на основе НПЭ толщиной от 20 до 150 мм с замковым соединением, а также технологии бесшовного соединения отдельных теплоизоляционных полотен. Рулоны несшитого вспененного полиэтилена (НПЭ)

закрепляются на каркасе механическим способом и соединяются в замок. В свою очередь, замковая система на стыке двух полотен сваривается между собой посредством строительного фена. В результате сваривания при температуре 110–120°C получается единое бесшовное полотно [9, 10, 11]. В статье излагаются результаты практического опыта применения подобных решений в системах наружной и интерьерной изоляции в каркасных и бескаркасных сооружениях.

Каркасные конструкции широко применяются при строительстве малоэтажных зданий. К преимуществам таких конструкций относят относительно небольшую массу, ремонтпригодность, возможность выполнения монтажных и строительных работ с применением средств малой механизации. Относительно малая нагрузка на фундамент делает возможным применение малозаглубленных или свайных фундаментов, что



Рис. 1. Теплоизоляция коттеджа: а – разворачивание рулона НПЭ; б – закрепление теплоизоляции и сшивка полотен НПЭ; в – формирование изоляционного контура и оконных проемов

также снижает стоимость сооружения. В качестве каркаса используют в основном изделия из древесины, пропитанные антипиренами и антисептиками.

В рассматриваемых системах теплоизоляционные материалы (средней плотностью 50–70 кг/м<sup>3</sup>) располагают между элементами каркаса, и не подвергаются механической нагрузке. Прочностные характеристики таких изделий невысоки, что предполагает защиту изоляционных слоев не только от механических нагрузок, но и от потоков воздуха и паровоздушной смеси. В противном случае возможен вынос волокон и связующего, что приводит к усадке и деформации этих изделий, т. е. нарушению сплошности изоляционного покрытия.

Применение рулонного пенополиэтилена делает возможным изоляцию каркасной системы по внешнему контуру (рис. 1). Рулоны НПЭ (длина рулона может изготавливаться любая в соответствии с техническими требованиями) разматываются по периметру здания и фиксируются к деревянным стойкам саморезами со шляпками. Полотна по поверхностям контакта соединяют встык и сваривают горячим воздухом. Пенополиэтилен по периметру проемов дополнительно механически закрепляют. Длина соединительного элемента равна длине изоляционного слоя из НПЭ плюс 10–20 мм в зависимости от типа несущей конструкции. Далее в изоляционной оболочке прорезают оконные и дверные проемы, устанавливают оконное оформление.

Пенополиэтилен паро- и влагонепроницаем, соответственно непроницаема бесшовная изоляционная оболочка, выполненная из этого материала. Учитывая то, что изоляционная оболочка располагается по внешнему контуру каркасной системы, наиболее важным вопросом становится влажностное состояние каркаса.

Целью натурального обследования стали: оценка влажностного состояния деревянного каркаса и утеплителя – пенополиэтилена, а также теплозащитные свойства наружной стены. Обследование жилого дома проведено в марте 2018 г., так как март является завершающим месяцем зимнего отопительного периода и считается месяцем наибольшего влагонакопления строительных материалов, эксплуатируемых в наружных ограждающих конструкциях. Жилой дом эксплуатировался круглогодично в течение пяти лет. Отопление осуществляется посред-

ством дизельного котла. Кондиционирование воздуха в обследуемом помещении осуществляется посредством приточно-вытяжной системы вентиляции с рекуперацией. Стена дома снаружи по полотну из пенополиэтилена обшита фанерой толщиной 10 мм с последующей облицовкой пластиковым сайдингом.

Температура наружного воздуха составляла  $-12 \pm 2^\circ\text{C}$ , относительная влажность 80%, содержание водяных паров (абсолютная влажность) 1,7 г/м<sup>3</sup>. Температура воздуха в помещении составляла  $23 \pm 2^\circ\text{C}$ , относительная влажность 20%, содержание водяных паров (абсолютная влажность) 4,7 г/м<sup>3</sup>. Каркасная конструкция наружных стен обследуемого дома состоит из соснового бруса 150×150 мм, пространство между которым заполнено разноразмерными кусками пенополиэтилена; снаружи каркас обернут состыкованным полотном вспененного полиэтилена марки Теплофол® толщиной 50 мм с металлизированным покрытием. Штыки полотна сварены строительным феном по технологии производителя.

Проведены замеры влажности сосновой вагонки (внутренняя отделка) экспресс-измерителем влажности и теплопроводности ИВТП-12 по ГОСТ 8.621–2006. Влажность в среднем составила около 14 мас. %. Для оценки влажностного состояния строительных материалов, составляющих наружную стену здания, отобраны пробы пенополиэтилена и фрагменты соснового бруса (рис. 2). Пробы помещены в герметичные пакеты и транспортированы в лабораторию для термогравиметрического определения влажности.

В процессе послойного демонтажа материалов наружной стены при визуальном осмотре выявлены зоны увлажнения внутренней поверхности пенополиэтиленового полотна, окутывающего каркас дома. Увлажнение обнаружено в зонах, где утеплитель в каркасе состоял из разрозненных кусков и уложен с заметным швами и неплотным примыканием. Плесени и гнили на деревянных элементах каркаса не обнаружено.

Для оценки теплозащитных качеств наружной стены из деревянного каркаса с утеплением полотном вспененного полиэтилена марки Теплофол® на выбранном участке стены проведено экспериментальное определение сопротивления теплопередаче в соответствии с ГОСТ 26254–84 «Здания и сооружения. Методы опреде-



Рис. 2. Место отбора проб и фрагментов соснового бруса в наружной стене здания

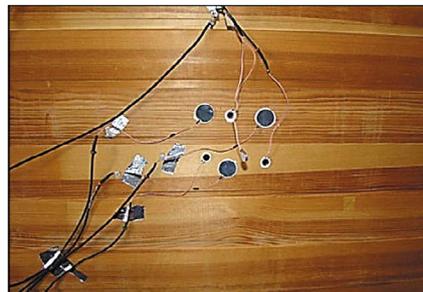
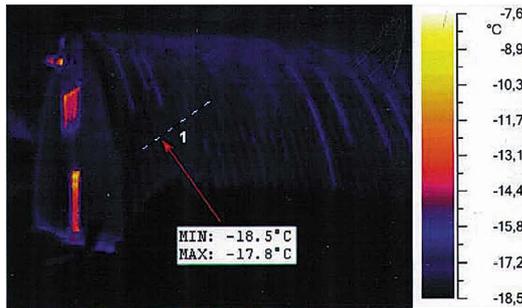


Рис. 3. Установка датчиков температуры и тепловых потоков





Контур - Линия 1

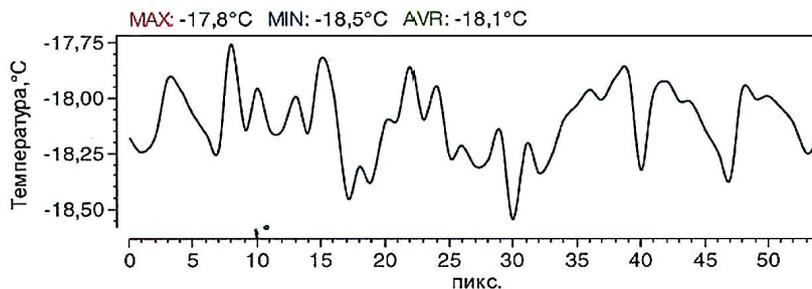


Рис. 5. Тепловизионная съемка утепленного ангара

Рис. 4. Устройство изоляционной оболочки ангара

ления сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций», ГОСТ Р 56623–2015 «Контроль неразрушающий. Метод определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций» и ГОСТ 25380–2014 «Здания и сооружения. Метод измерения плотности тепловых потоков, проходящих через ограждающие конструкции». Датчики были установлены как на внутренней, так и на наружной поверхности стены (рис. 3). По результатам экспериментальных определений сопротивления наружной стены из деревянного каркаса с утеплением полотном вспененного полиэтилена марки Теплофол® вычислено сопротивление теплопередаче  $3,12 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ .

Определенная влажность соснового бруса составила 7,7–7,8%; наружный слой вспененного полиэтилена имел влажность 13,9%; внутренние слои пенополиэтилена — 0,17–0,25%. Следует отметить, что увлажнение наружного слоя вспененного полиэтилена происходило не в массе, а с внутренней поверхности. Влага на поверхности образуется за счет конденсации и накапливается, не имея возможности свободно испаряться, поскольку слой закрыт фрагментами внутреннего утепления. Рекомендовано производить утепление лишь наружным полотном пенополиэтилена расчетной толщины без заполнения каркаса. Таким образом, при нормативном воздухообмене и соблюдении условий кондиционирования для поддержания микроклимата в помещении, отвечающего требованиям ГОСТ 30494–2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях», условия для систематического влагонакопления и отсыревания древесины будут отсутствовать.

Другой не менее интересной для строителя областью применения НПЭ являются системы «плавающего пола», в которых пенополиэтилен выполняет функцию как тепло-, так и звукоизоляции. Рулоны пенополиэти-

лена укладывают на основание и соединяют в замок с последующей сваркой феном. Для обеспечения эффективной звукоизоляции полотна заводят на стену и надежно фиксируют саморезами с шайбами к основанию. Этим полностью обеспечивается основная задача плавающего пола — создание изоляционной оболочки с минимальным количеством стыков и теплопроводящих элементов при отделении конструкции покрытия пола от его несущих элементов.

Теплоизоляция Теплофол® в настоящее время успешно применяется для утепления арочных и каркасных металлических ангаров различного назначения: производственных помещений, промышленно-складских комплексов, сельскохозяйственных хранилищ, складов, продовольственных баз и предприятий животноводческой отрасли. Формирование в овощехранилищах и складах оптимального температурно-влажностного режима включает специальные строительные и инженерные мероприятия (рис. 4).

Температура применения вспененного полиэтилена, которая колеблется в интервале от  $-60$  до  $+80^\circ\text{C}$ , создает все необходимые условия для проведения всесезонного монтажа. Работы по теплоизоляции хранилища не зависят от внешней температуры воздуха и могут проводиться 365 дней в году. Более того, сам рулонный полиэтилен не подвержен разрушению под влиянием сезонных температурных колебаний, что делает его всепригодным и подходящим для регионов с экстремальными температурными режимами, включая суровые климатические условия использования.

Бесшовное утепление овощехранилищ ангарного типа с применением рулонного материала Теплофол® с теплоотражающим покрытием обеспечивает эффективную систему изоляции овощехранилища благодаря формированию единой герметичной оболочки сооружения (рис. 5). Такой эффект достигается за счет тепловой сварки замковых соединений, расположенных на стыках полотен. При подобном монолитном утеплении получаемая сплошная изоляционная оболочка не имеет мостиков холода по глади поверхностей, препятствует проникновению влаги внутрь помещения и образованию конденсата. В этом случае эффективность теплоизоляционного контура значительно повышается, внутренняя температура сохраняется на заданном уровне, расходы на внутренний обогрев сокращаются.

Внедрение современных технологий теплоизоляции (утепления) продовольственных складов и овощехранилищ не только решает вопрос энергоэффективного все-сезонного их использования, но напрямую влияет на эффективность систем хранения плодоовощной продукции в подобных сооружениях.

Утепленные ангары также могут эксплуатироваться в качестве гаражей под хранение автотранспорта сельскохозяйственного назначения. Температура, поддерживаемая внутри помещения благодаря данной технологии утепления, облегчает запуск транспортных средств, делая его быстрым, легким и удобным. Это особенно важно и востребовано в регионах, для которых характерен большой ход суточных температур, вызванный перепадом дневных и ночных температурных значений.

Исследования подтвердили, что утеплитель Теплофол® и технологии бесшовного замкового соединения соответствуют современным требованиям и техническому уровню для утепления объектов из металло-

конструкций производственного и складского назначения (арочных, каркасных и каркасно-тентовых ангаров). Учитывая горючесть материала, считаем обязательным рекомендовать применение защитных экранов и облицовок из негорючих материалов.

Различные аспекты применения пенополиэтилена в строительных системах изучались в процессе реализации договоров с НИУ МГСУ (кафедра «СМиМ»): «Исследование физико-механических характеристик вспененного полиэтилена Теплофол® в системах наружной и интерьерной изоляции», а также НИИСФ РААСН (лаборатория «Стройфизика-ТЕСТ»): «Определение эксплуатационных характеристик теплоизоляционного материала из вспененного полиэтилена марки Теплофол®». Исследования касались типовых проектных решений, определения эксплуатационных характеристик материала, а также проведения натурного обследования жилого частного дома, утепленного вспененным полиэтиленом.

### Список литературы

1. Жук П.М., Жуков А.Д. Нормативная правовая база экологической оценки строительных материалов: перспективы совершенствования // *Экология и промышленность России*. 2018. № 4. С. 52–57.
2. Gimenez I., Faroog M.-K., El Mahi A., Kondrotas A., Assarar M. Experimental analysis of mechanical behaviour and damage development mechanisms of PVC foams in static tests // *Materials Science* (Mediagotyra). 2004. № 10 (1). Pp. 34–39.
3. Федюк Р.С., Мочалов А.В., Симонов В.А. Тенденции развития норм по тепловой защите зданий в России // *Вестник инженерной школы ДВФУ*. 2012. № 2 (11). С. 39–44.
4. Умнякова Н.П., Цыганков В.М., Кузьмин В.А. Экспериментальные теплотехнические исследования для рационального проектирования стеновых конструкций с отражательной теплоизоляцией // *Жилищное строительство*. 2018. № 1–2. С. 38–42.
5. Гнип И.Я., Кершулис В.И., Вайткус С.Я. Доверительные интервалы прогноза деформаций ползучести пенопласта из полистирола // *Строительные материалы*. 2005. № 3. С. 47–49.
6. Gnip I.J., Keršulis V.J., Vaitkus S.J. Analytical description of the creep of expanded polystyrene under compressive loading // *Mechanics of Composite materials*. 2005. № 41 (4). Pp. 357–364.
7. Семенов В.С., Тер-Закарян К.А., Жуков А.Д., Сазонова Ю.В. Особенности реализации изоляционных систем в условиях Крайнего Севера // *Строительные материалы*. 2018. № 4. С. 65–69.
8. Семенов В.С., Розовская Т.А., Губский А.Ю. Перспективы применения вторичных полиэфирных волокон для производства тепло- и звукоизоляционных материалов // *Строительные материалы*. 2016. № 6. С. 21–24.
9. Патент РФ № 2645190. Замковая технология теплоизоляционного материала для бесшовной сварки соединительных замков / Тер-Закарян К.А. Заявл. 26.09.2016. Опубл. 16.02.2018. Бюл. № 5.
10. Жуков А.Д., Тер-Закарян К.А., Тучаев Д.У., Петровский Е.С. Энергоэффективное утепление продовольственных складов и овощехранилищ // *Международный сельскохозяйственный журнал*. 2018. № 1. С. 65–67.
11. Wang Y., Huang Z., Heng L. Cost-effectiveness assessment of insulated exterior walls of residential buildings in cold climate // *International Journal of Project Management*. 2007. Vol. 25. Iss. 2. Pp. 143–149. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2006.09.007>.

### References

1. Zhuk P.M., Zhukov A.D. Normative legal base of environmental assessment of building materials: prospects for improvement. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*. 2018. No. 4, pp. 52–57. (In Russian).
2. Gimenez I., Faroog M.-K., El Mahi A., Kondrotas A., Assarar M. Experimental analysis of mechanical behaviour and damage development mechanisms of PVC foams in static tests. *Materials Science* (Med iagotyra). 2004. No. 10 (1), pp. 34–39.
3. Fedyuk R.S., Mochalov A.V., Simonov V.A. Trends in the development of norms for thermal protection of buildings in Russia. *Vestnik inzhenernyi shkoly DVFU*. 2012. No. 2 (11), pp. 39–44. (In Russian).
4. Umnyakova N.P., Tsygankov V.M., Kuzmin V.A. Experimental Heat Engineering Studies for Rational Design of Wall Structures with Reflecting Heat Insulation. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2018. No. 1–2, pp. 38–42. (In Russian).
5. Gnip I.Ya., Kershulis V.I., Vaitkus S.Y. Confidential intervals of the forecast of deformations of creep of polyfoam from polystyrene. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2005. No. 3. pp. 47–49. (In Russian).
6. Gnip I.J., Keršulis V.J., Vaitkus S.J. Analytical description of the creep of expanded polystyrene under compressive loading. *Mechanics of Composite materials*. 2005. No. 41 (4), pp. 357–364.
7. Semenov V.S., Ter-Zakaryan K.A., Zhukov A.D., Sazonova Yu.V. Features of Realization of Insulation Systems under Conditions of the Far North. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 4, pp. 65–69. (In Russian).
8. Semenov V.S., Rozovskaya T.A., Gubsky A.Yu. Prospects of Using Recycled Polyester Fibers for Manufacturing Heat- and Sound Insulation Materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2016. No. 6, pp. 21–24. (In Russian).
9. Patent RF 2645190. Zamkovaya tekhnologiya teploizolyatsionnogo materiala dlya besshovnoi svarki soedinitel'nykh zamkov [Castle technology of heat-insulating material for seamless welding of connecting locks]. Declared 26.09.2016. Published 16.02.2018. Bulletin No. 5. (In Russian)
10. Zhukov A.D., Ter-Zakaryan K.A., Tuchaev D.U., Petrovsky E.S. Energy-efficient warming of food stores and vegetable stores. *Mezhdunarodnyi sel'skokhozyaistvennyi zhurnal*. 2018. No. 1, pp. 65–67. (In Russian).
11. Wang Y., Huang Z., Heng L. Cost-effectiveness assessment of insulated exterior wall of residential buildings in cold climate. *International Journal of Project Management*. 2007. Vol. 25. Iss. 2, pp. 143–149. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2006.09.007>.

Н.С. СОКОЛОВ<sup>1,2</sup>, канд. техн. наук, директор (forstnpf@mail.ru)

<sup>1</sup> ООО НПФ «ФОРСТ» (428000, Россия, Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул. Калинина, 109 а)

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова» (428015, Россия, Чувашская Республика, г. Чебоксары, Московский пр., 15)

## Определение типа заглубленной конструкции усиления основания под насыпью высокоскоростной железнодорожной магистрали

В статье рассматривается проблема строительства высокоскоростной магистрали в долине рек Волга, Ока, Сура на основаниях со сложными инженерно-геологическими условиями с перемежающимися слабыми грунтами (просадочные, биогенные представленные илами, торфами и сапропелями, набухающие и т. д.). Наличие в основании сильно деформируемых инженерно-геологических элементов усложняет безопасную эксплуатацию скоростных поездов. Предельно допустимая осадка земляного полотна при скоростях движения до 400 км/ч не должна превышать  $S_u = 15$  мм. Для обеспечения требований безопасной эксплуатации подвижного состава высокоскоростных магистралей требуется армирование слабых оснований с передачей внешних нагрузок на инженерно-геологические элементы с высокой несущей способностью и низкой деформативностью.

**Ключевые слова:** сложные инженерно-геологические условия, высокоскоростная магистраль, буровые сваи, электроразрядная технология.

**Для цитирования:** Соколов Н.С. Определение типа заглубленной конструкции усиления основания под насыпью высокоскоростной железнодорожной магистрали // *Строительные материалы*. 2018. № 9. С. 62–65. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-763-9-62-65>

N.S. SOKOLOV<sup>1,2</sup>, Candidate of Sciences (Engineering), Director (forstnpf@mail.ru)

<sup>1</sup> ООО NPF «FORST» (109a, Kalinina Street, Cheboksary, 428000, Russian Federation)

<sup>2</sup> I.N. Ulianov Chuvash State University (15, Moskovskiy pr., Cheboksary, 428015, Russian Federation)

### Definition of the Type of a Buried Structure for Base Strengthening Beneath the Embankment of High-Speed Railway

The article deals with the problem of construction of a high-speed railway in the valley of the Volga, Oka, Sura rivers on the grounds with complex engineering-geological conditions with alternating weak soils (subsidence, biogenic represented by silts, peat and sapropels, swollen, etc.). The presence of heavily deformed engineering-geological elements in the base complicates a safe operation of high-speed trains. The maximum permissible depression in the subgrade surface at speeds of up to 400 km/h should not exceed  $S_u = 15$  mm. To meet the requirements of safe operation of the rolling stock of high-speed railways (HSR), reinforcement of weak bases with the transfer of external loads on engineering-geological elements with high bearing capacity and low deformation is required.

**Keywords:** complex engineering-geological conditions, high-speed railway, (HSR), bored piles, electric discharge technology (EDT).

**For citation:** Sokolov N.S. Definition of the type of a buried structure for base strengthening beneath the embankment of high-speed railway. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 9, pp. 62–65. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-763-9-62-65> (In Russian).

Освоение территорий прилегающих к долинам рек Волга, Ока, Сура и их притоков является сложной геотехнической проблемой для целей возведения высокоскоростных железнодорожных магистралей (ВСМ). В данной статье рассматривается возможность их возведения по территории Средней Волги от г. Нижнего Новгорода до г. Чебоксары.

Проектируемая трасса проходит в пределах Волго-Уральского свода — одной из крупнейших положительных структур Русской платформы.

В течение четвертичного времени различные части рассматриваемой территории находились в различных климатических условиях и подвергались воздействию разнообразных физико-географических процессов. Северная часть ее неоднократно подвергалась оледенениям, а южная — воздействию трансгрессий Каспийского моря. Эти различные условия наложили свой отпечаток на характер четвертичного покрова территории. В северо-западной части ее широко развиты ледниковые и водно-ледниковые образования, в средней — аллювиальные и элювиально-делювиальные, а в самой южной — морские лиманные отложения. В толще четвертичных отложений находятся торф, кирпичные глины, песок, песок с прослоями гравия, суглинки и глины (в надпойменных террасах Волги, Суры и Цивилия).

В районах Нижегородского и Чебоксарского Поволжья покровные отложения представлены легкими суглинками и тяжелыми супесями характерного желтоватого или буровато-палевого цвета с четко выраженными признаками лессовидности (макропористость, столбчатая отдельность и др.) и просадочными свойствами. Обводненность пород комплекса незначительна и имеет спорадический характер.

Современные болотные отложения (bIV) распространены неравномерно на всей исследуемой территории. В обширных понижениях рельефа, приуроченных к долинам рек или низменностям в зоне лесов, образуются особенно крупные торфяники — торфяные бассейны. На рассматриваемой территории примерно в равном количестве встречаются низинные и верховые торфяники. Отложения представлены торфами и заторфованными грунтами. Средняя мощность болотных отложений от 2 до 3 м и может достигать до 10 м. На отдельных участках, где развиты болотные отложения, непосредственно с поверхности залегают болотные воды.

В соответствии с СП 14.13330.2014 «Строительство в сейсмических районах» район коридора проектируемой трассы железной дороги по степени сейсмической активности определен по шкале MSK-64 по Карте сейсмического районирования России ОСР-97-С (вероятность возможного превышения интенсивности земле-

трясений в течение 50 лет – 1%). Согласно приложению Б СП 14.13330.2014 расчетная сейсмическая интенсивность в баллах шкалы MSK-64 для средних грунтовых условий и степени сейсмической опасности С (1%) в течение 50 лет равна: 7 баллов для Чувашской Республики и 6 баллов для Нижегородской области.

Из экзогенных геологических процессов на территории Нижегородской области по площади распространения выделяется в первую очередь процесс овражной эрозии: оврагами поражено до 40% площади области, заболоченные территории занимают 30% от ее площади, зарастованные – до 26%. Оползневой процессом наиболее поражены территории Богородского, Котовского, Павловского, Лысковского, Воротынского районов, правобережные склоны рек Оки и Волги. Карбонатный карст распространен преимущественно на юге области: в Первомайском, Дивеевском, Вознесенском районах, г. Сарове; карбонатно-сульфатный и гипсовый карст развивается преимущественно в г. Дзержинске, Заречной части Нижнего Новгорода, в Павловском, Арзамасском и других районах.

Развитие процесса подтопления и заболачивания отмечается в той или иной степени по левобережью Чебоксарского и Горьковского водохранилищ, рек Оки и Волги, а также в пределах Фокинской и Лысковской низин на правобережье Чебоксарского водохранилища и Кстовской низины на Волжском правобережье.

Наиболее активное развитие оползневой процесса отмечалось на правобережье Чебоксарского водохранилища в районе населенных пунктов Бармино, Сомовка, Васильсурск, Хмелевка; на правобережье р. Оки в районе пст. Береговые Новинки, Новинки, Сартаково и др.; на правобережье р. Волги в пределах Нагорной части г. Нижний Новгород. В озерной зоне Чебоксарского водохранилища, на участке II категории «Васильсурск-Н», оползнеобразующими факторами которого являлись климатические условия и подземные воды, активность оползневой процесса остается по-прежнему самой высокой. В весенний период Сурский склон был полностью захвачен оползневой смещением. Активизация оползней произошла в основном в средней части склона и частично в верхней, вызвав деформацию жилого дома, расположенного в прибрежной части плато. Активизация оползней в нижней части склона была связана с подмывом основания склона и подземными водами.

Развитие речной эрозии и абразии отмечено в период половодья. На локальных участках отмечался сильный размыв берегов.

На территории Чувашской Республики проявляется широкий комплекс процессов. В их числе овражная, речная, береговая и плоскостная эрозия, оползневой, абразионный, карстовый, суффозионный и обвальный процессы, заболачивание, криогенное пучение, эоловая и речная аккумуляция, сезонная солифлюкция и др. Воздействие их ведет к значительному изменению геологической среды и условий обитания, существенно затрудняет и ограничивает хозяйственную деятельность. Наиболее распространенным неблагоприятным геологическим процессом в пределах республики является овражная эрозия. Распределение оврагов отличается значительной неравномерностью. Наиболее поражена процессом северная часть республики. Плотность проявления активных форм здесь может достигать 11 единиц на 1 км<sup>2</sup>.

Опасностью развития и высокой динамичностью характеризуются оползневые процессы. В разной степени ими поражено около 2% территории республики. Чаще распространение оползней диктуется наличием многочисленных речных и эрозионных систем. Наиболее крупные и многочисленные формы встречаются по бортам речных долин. Оползни весьма разно-

образны по масштабам проявления и формам смещения. Наряду с блоковыми телами повсеместно развиты оползни-сплывы и оползни-потоки. Разветвленная речная сеть определяет широкое развитие речной береговой эрозии. Этому процессу подвержено 3% территории республики. По имеющимся сведениям, скорость размыва берегов колеблется в пределах от первых сантиметров до 5–6 м в год. Образование заболоченных участков в пределах республики связано с наличием избыточно увлажненных поверхностей либо зарастающих водоемов. Наиболее широко процесс развит в долинах рек Волга и Сура. Общая площадь заболоченных участков на территории субъекта Федерации составляет 0,2%.

К числу опасных процессов относится также карст. Степень подверженности территории республики его воздействию составляет 0,08%. Наиболее активное течение процесса отмечено в прибрежной зоне Куйбышевского водохранилища. Частота проявления открытых форм здесь может достигать 12 единиц на 1 км<sup>2</sup> площади побережья.

По результатам проведенных инженерно-геологических обследований территории широко распространено морозное пучение грунтов. Особенно часто его воздействию подвержены дорожные сооружения. Местами их проявления являются участки развития пылеватых суглинков, избыточного увлажнения грунтов. В Чувашской Республике по побережью Чебоксарского и Куйбышевского водохранилищ отмечено свыше 500 активных оврагов и промоин.

С учетом вышесказанного можно сделать вывод о том, что инженерно-геологические условия для строительства высокоскоростной магистрали на участке от г. Нижний Новгород представляет собой сложную геотехническую проблему. Для обеспечения нормативных значений несущей способности оснований и деформативности одной из рациональных технологий является армирование его с помощью заглубленных конструкций, таких как буровые сваи, изготавливаемые по различным технологиям [1–7]. В работе [8] приводится алгоритм определения наиболее эффективной заглубленной конструкции.

Для наиболее оптимального решения рассматриваемой проблемы подходит принцип интерактивного проектирования [9] для каждого рассматриваемого типа буровых свай. Он предлагает следующую схему: базовый проект – опытная площадка – корректировка базового проекта. Обычно в качестве опытной площадки принимается участок свайного поля, включенного в состав базового проекта. В этом случае возможно избегание дополнительных затрат. Результаты натурных испытаний должны являться основой проектирования подземных сооружений с применением типа буровых свай.

Следует отметить тот факт, что при принятии экономически обоснованного и технически целесообразного типа заглубленных конструкций должны быть идентичные входные данные. Это:

- одинаковость отметок заложений нижнего конца и верха свай;
- идентичность инженерно-геологических и гидрогеологических условий;
- соответствие внешних нагрузок во всех расчетных схемах. Часто наблюдаются случаи назначения различных длин для рассматриваемых типов в интерактивном проектировании. Определяющим условием назначения отметок нижнего конца свай является обеспечение требуемых значений осадок усиленного основания согласно СП 22.13330.2011 «Актуализированная редакция СНиП 2.02.01–83\*».

Несущая способность свай, изготавливаемых по применяемым в настоящее время технологиям, опреде-

Типы буровых свай	Количество свай в свайно-плитном фундаменте, шт.	Длина свай, м	Общий погонаж, м	Стоимость 1 м свай, р.	Общая стоимость объекта, млн р.
2 – буронабивные сваи, погружаемые инвентарной трубой с теряемым наконечником	125	17	2125	5000–8000	10,6–17
3 – буронабивные сваи с использованием обсадных труб или проходных шнеков	134	17	2278	5000–8000	11,4–18,2
4 – буронабивные сваи, выполняемые под защитой глинистой рубашки	146	17	2482	5000–8000	12,4–19,9
1 – сваи ЭРТ без промежуточных уширений	144	17	2448	3500–6000	8,6–14,7
Сваи ЭРТ с многоместными уширениями	80	17	1360	3500–6000	4,8–8,2

ляется как сумма величин несущих способностей по пяте и боковой поверхности. Последние зависят от геометрических параметров сваи (площади опирания и боковой поверхности) и инженерно-геологических характеристик грунтов, примыкающих к свае (расчетных сопротивлений грунта под пятой и по боковой поверхности сваи).

Для сравнительных расчетов в [8] рассмотрены **буроинъекционные сваи, изготовленные по разрядно-импульсной технологии (ЭРТ)** без промежуточных уширений и с промежуточными уширениями; **буронабивные сваи**, погружаемые инвентарной трубой с теряемым наконечником; **буронабивные сваи** с использованием обсадных труб или проходных шнеков (SFA), а также **буронабивные сваи**, выполняемые под защитой глинистой рубашки.

**Список литературы**

1. Балюра М.В., Окулова М.Н. О влиянии некоторых факторов на деформируемость грунтов в горизонтальном направлении. В кн.: Основания и фундаменты зданий и сооружений в условиях строительства Томска. Томск: Томский государственный архитектурно-строительный университет, 1977. С. 36–41.
2. Окулова М.Н. Исследование НДС грунтов вблизи нагруженного штампа // *Основания, фундаменты и механика грунтов*. 1966. № 4. С. 5–8.
3. Окулова М.Н. Экспериментальное исследование боковых деформаций в нагруженных песчаных основаниях и их роль в общей осадке. Томск: Томский государственный архитектурно-строительный университет, 1967. Т. II.
4. Шелест Л.А. Вертикальные и горизонтальные деформации грунта при штамповых испытаниях. *Труды НИИОСП*. М.: НИИОСП, 1972. Вып. 63.
5. Darragh R.D. Controlled Water Tests to Pre-load Tank Foundations. *Pros. A.S.C.E.* 1964. Vol. 90, pp. 303–329.
6. Belloni L.A., Garassini LA., Jamiolkowaki M. Differential Settlements of Petroleum Steel Tanks. *Proc. Conference on Settlements of Structures*, Cambridge, pp. 323–328.
7. Коновалов П.А., Усманов Р.А. Исследование деформаций сильносжимаемых оснований гибких штампов и резервуаров // *Труды Дунайско-Европейской конференции по механике грунтов и фундаментостроению*. Кишинев, 1983. Т. 3. С. 107–112.
8. Соколов Н.С. Критерии экономической эффективности использования буровых свай // *Жилищное строительство*. 2017. № 5. С. 34–38.
9. Соколов Н.С., Соколов С.Н. Применение буроинъекционных свай при закреплении склонов. *Материалы V Всероссийской конференции «Новое в архитектуре, проектировании строительных конструкций и реконструкции» (НАСКР-2005)*. 2005. Чебоксары: ЧГУ. С. 292–293.

Существенное повышение несущей способности достигается в случае, если свая представляет собой конструкцию из нескольких уширений [10–14], при этом нижнее уширение выполняется по пяте сваи, увеличивая ее площадь и верхнее (по боковой поверхности) работают как дополнительные опоры, а несущая способность грунтов при опирании на них этими опорами значительно выше несущей способности этих же грунтов при трении о них боковой поверхности сваи. Практика изготовления таких свай показала их высокую эффективность. Несущая способность свай ЭРТ с двумя уширениями в 1,5–2,5 раза выше, чем у свай, выполненных без уширений.

В таблице приведены результаты расчетов для выбора типа сваи для армирования оснований высокоскоростной магистрали (ВСМ).

**References**

1. Balura M.V., Okulova M.N. On the influence of some factors on the deformability of soils in the horizontal direction. V kn.: *Osnovaniya i fundamentey zdaniy i sooruzhenij v usloviyah stroitel'stva Tomska* [Bases and foundations of buildings and structures in the construction of Tomsk]. Tomsk: Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering. 1977. Pp. 36–41. (In Russian).
2. Okulova M.N. Investigation of the stress-strain state of soils near the loaded stamp. *Osnovaniya, fundamentey i mekhanika gruntov*. 1966. No. 4, pp. 5–8. (In Russian).
3. Okulova M.N. Experimental study of lateral deformations in loaded sandy bases and their relays in the total sediment. Tomsk: Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering, 1967. Vol. II. (In Russian).
4. Shelest L.A. Vertical and horizontal deformation of soil during die testing. *Trudy NIIOSP*. Moscow. NIIOSP, 1972. Vol. 63. (In Russian).
5. Darragh R.D. Controlled Water Tests to Pre-load Tank Foundations. *Pros. A.S.C.E.* Vol. 90, 1964, pp. 303–329.
6. Belloni L.A., Garassini LA., Jamiolkowaki M. Differential Settlements of Petroleum Steel Tanks. *Proc. Conference on Settlements of Structures*, Cambridge, pp. 323–328.
7. Konovalov P.A., Usmanov R.A. Investigation of deformations of highly compressible bases of flexible dikes and reservoirs. *Papers of the Danube-European conference on soil mechanics and Foundation engineering*. Kishinev, 1983. Vol. 3, pp. 107–112. (In Russian).
8. Sokolov N.S. Criteria of economic efficiency of use of drilled piles. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2017. No. 5, pp. 34–38. (In Russian).
9. Sokolov N.S. Using continuous flight augering piles for securing slopes. *Materials of 5th All-Russian conference "New in architecture, design of building structures and reconstruction"*. Cheboksary. The Chuvash State University. 2005. Pp. 292–293. (In Russian).
10. Sokolov N.S. The method of continuous flight augering piles carrying capacity calculation which are made by us-

10. Соколов Н.С. Метод расчета несущей способности буринъекционных свай-РИТ с учетом «подпятников». *Материалы VIII Всероссийской (II Международной) конференции «Новое в архитектуре, проектировании строительных конструкций и реконструкции» (НАСКР-2014)*. 2014. Чебоксары: ЧГУ. С. 407–411.
11. Соколов Н.С., Рябинов В.М. Об одном методе расчета несущей способности буринъекционных свай ЭРТ // *Основания, фундаменты и механика грунтов*. 2015. № 2. С. 10–13.
12. Соколов Н.С., Рябинов В.М. Об эффективности устройства буринъекционных свай с многоместными уширениями с использованием электроразрядной технологии // *Геотехника*. 2016. № 2. С. 28–34.
13. Соколов Н.С., Рябинов В.М. Особенности устройства и расчета буринъекционных свай с многоместными уширениями // *Геотехника*. 2016. № 3. С. 60–66.
14. Соколов Н.С., Рябинов В.М. Технология устройства буринъекционных свай повышенной несущей способности // *Жилищное строительство*. 2016. № 9. С. 11–15.11.
11. Sokolov N.S., Ryabinov V.M. About one method of calculation of the bearing capability the buroinjektsi-onnykh svay-ERT. *Osnovaniya, fundamentey i mekhanika gruntov*. 2015. No. 2, pp. 10–13. (In Russian)
12. Sokolov N.S., Ryabinov V.M. About effectiveness of the appliance of continuous flight augering piles with multiple caps using electric-discharge technology. *Geotekhnika*. 2016. No. 2, pp. 28–34. (In Russian).
13. Sokolov N.S., Ryabinov V.M. Special aspects of the appliance and the calculation of continuous flight augering piles with multiple caps. *Geotekhnika*. 2016. No. 3, pp. 60–66. (In Russian).
14. Sokolov N.S. Ryabinov V.M. The technology of appliance of continuous flight augering piles with increased bearing capacity. *Zhilishnoe Stroitelstvo* [Housing Construction]. 2016. No. 9, pp. 11–14. (In Russian).

## 14-й Международный конгресс по прикладной минералогии ICAM-2019

23–27 сентября 2019 г., Белгород,

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Девиз конгресса – «Прикладная минералогия: будущее рождается сегодня»

### НАУЧНАЯ ПРОГРАММА ICAM-2019

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

Для молодых ученых оргкомитет предусматривает проведение дискуссионного клуба.

#### ПОЛЕВЫЕ ЭКСКУРСИИ

Лебединский ГОК      Стойленский ГОК (г. Старый Оскол)

#### КОНТРОЛЬНЫЕ СРОКИ

Начало приема докладов 1 июня 2018 г.  
Окончание приема докладов 1 ноября 2018 г.  
Рецензирование докладов до 1 декабря 2018 г.

#### ОРГАНИЗАТОРЫ ICAM-2019



Национальный оргкомитет, председатель **Евгений Савченко**  
Национальный программный комитет, председатель **Леонид Вайсберг**  
Совет ICAM, президент **Саверио Фиоре**  
При поддержке IMA-CAM, председатель **Маартен А.Т.М. Брёкманс**  
Сайт конгресса **www.geo.komisc.ru/icam2019**  
Оргкомитет: **icam2019@gmail.com**  
секретарь Национального программного комитета **О.Б. Котова kotova@geo.komisc.ru**

САЙЕД ХЕМЕДА<sup>1</sup>, доцент; МЕРВАТ ХАЛИЛ<sup>2</sup>, профессор;  
ШОЕБ АХМЕД<sup>1</sup>, профессор, АХМЕД АБД ЭЛ АЗИЗ<sup>1</sup>, канд. наук

<sup>1</sup> Университет Каира, отдел сохранения, факультет археологии (1, улица Гамаа, Гиза, 12613, Египет)

<sup>2</sup> Жилищно-строительный национальный исследовательский центр (87, Эль Тахир, Эль Докки, Гиза, Египет)

## Механические характеристики реставрационных растворов на основе нано-модифицированной извести

Реставрационные строительные растворы представляют собой смеси вяжущих (нормальная известь или натуральная гидравлическая известь) с мелкозернистыми и крупнозернистыми наполнителями или заполнителями; мелкозернистые заполнители – карбонатные или силикатные. Реставрационные растворы используются для заполнения и укрепления кладки, или укрепления, или сохранения напластований раствора. Общим методом для укрепления поверхностных слоев исторического раствора, например фресок, стеновых или напольных мозаик, было использование готовых смесей вяжущих (обычно на основе цемента) или синтетических смол. В исследовании представлены 16 составов растворов смесей на основе извести, содержащих добавки и нано-частицы, которые были разработаны, изготовлены и экспериментально испытаны для того, чтобы оценить: 1) эффект нано-материалов при гидролизе и карбонизации известковых вяжущих, широко используемых при разработке реставрационных растворов; 2) улучшение и усовершенствование их микроструктуры и текстуры; 3) физические, механические и динамические свойства типа динамического модуля Юнга и скорости распространения волн через образцы растворов. Объемная стабильность и деформации усадки представляли особый интерес у полученных растворов. Использование нано-частиц показало позитивный эффект, что свидетельствует о правильном подборе и дозировании вяжущих; таким образом, были достигнуты высокая эффективность и совместимость со старыми растворными материалами. Микроанализ и механическая характеристика свидетельствовали, что растворы с нано-титановыми и нано-кремнеземными добавками показали улучшенные механические свойства при сравнении с образцами без нано-модификаторов. Результаты свидетельствуют об улучшении карбонизации и гидратации растворов смесей с нано-титаном и нано-кремнеземом. Добавление нано-частиц кремнезема и титана может улучшить их свойства, так как они снижают Ca/Si в соединениях C–S–H и увеличивают среднюю длину силикатной цепочки, приводящую к матрице C–S–H с долговременной стабильностью.

**Ключевые слова:** Рашид, реставрация, растворы, нано-материалы, консервация, гидравлические растворы, историческое наследие и археологическое наследие.

**Для цитирования:** Сайед Хемеда, Шоуб Ахмед, Мерват Халил, Ахмед Абд Эл Азиз. Механические характеристики реставрационных растворов на основе нано-модифицированной извести // *Строительные материалы*. 2018. № 9. С. 66–74.

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-763-9-66-74>

SAYED HEMEDA<sup>1</sup>, Associate Professor; MERVAT KHALIL<sup>2</sup>, Professor; SHOEB AHMED<sup>1</sup>, Professor, AHMED Abd el AZIZ<sup>1</sup> Ph.O.

<sup>1</sup> Cairo University, Conservation Departments, Faculty of Archaeology (1, Gamaa Street, Giza12613 Egypt)

<sup>2</sup> Housing and Building National Research Center (87, El Tahrir Street, El Dokki, Giza, Egypt)

### Mechanical Characterization of Nano-modified Lime-Based Restoration Mortars

Restoration structural mortars are mixtures of binders (either normal lime or natural hydraulic lime NHL) with fine and coarse fillers or aggregates; fine aggregates of carbonate or silicate nature. Restoration mortars are used for the filling and strengthening of masonry or the consolidation and preservation of mortar stratification. The common practice for the consolidation of historic mortar surface layers such as in case of murals, floor wall mosaics, renders was the use of ready mixed (usually cement based) binders or of synthetic resins usually cement based binders or of synthetic resins. The study presents totally 16 compositions of lime-based mortars mixtures containing admixtures and nano-particles were designed, manufactured and experimentally tested in order to evaluate. 1) The effect of nano-materials in the hydrolysis and carbonation of the lime binders widely used in the design of restoration mortars. 2) The improvement and upgrading of their microstructures, texture. 3) The physical, mechanical and dynamic properties like dynamic Young's modulus and wave velocity through the mortars specimens. The volume stability and shrinkage deformations were points of interest of the derived mortars. The use of nano admixtures has showed positive effects provided that proper selection and proportioning of binders is made, so as high performance and compatibility with the old masonry materials to be achieved. The micro analysis and mechanical characterization indicated that the mortars with the nano-titanium and nano-silica additions showed improved mechanical properties over time when compared to the specimens without nano admixtures. The results evidenced carbonation and hydration enhancement of the mortar mixtures with nano-titanium and nano-silica. The addition of silica and titanium nano-particles can enhance their properties since they decrease the Ca/Si of C–S–H compounds and increase the mean silicate chain length, leading to a C–S–H matrix of long-term stability.

**Keywords:** Rashid, restoration mortars, nano materials, conservation, hydraulic mortars, historical heritage and archaeological heritage.

**For citation:** Sayed Hemeda, Shoeb Ahmed, Mervat Khalil, Ahmed Abd el Aziz. Mechanical characterization of nano-modified lime-based restoration mortars. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 9, pp. 66–74. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-763-9-66-74> (In Russian).

The adhesion of mortars to fragments of archaeological stone or bricks is an important intervention, which results in a substantial structural integrity between the adhered materials, leading to the slowing or preventing from further decay. Treatment options include the application of adhesives and grouts, as well mechanical pinning repairs. Commonly used adhesives such as epoxy, acrylic and polyester resins demonstrated excessive strength, high irreversibility and, if improperly applied, their removal may be more damaging to the

historic fabric [1–4]. Significantly investigate need been embraced [5].

Upon the physical, compound furthermore microstructural properties about Portland Cement-based mortars and renders. Accordingly, an expanding seeing of the connected failure-inducing mechanisms of such products, utilized in-conjunction for porous construction materials may be creating [6–8]. This information what's more background need prompted the reintroduction about lime similarly as a

repair shed material for building protection fill in. Lime and Portland cement would both basic binders used previously, plastic repair products. They create the base of the mortality table those manifestations those holding 'matrix' between aggravator grains [9]. Furthermore might a chance to be utilized separately or in combination, similarly as a 'hybrid' blend. Both lime what's more Portland cement are, or need been, every now and again utilized for masonry repair, with fluctuating degrees of success [10]. Will a lessepsegree, materials might be dependent upon epoxy resin or acrylic resin binders; then again these bring not been distinguished likewise normal repair materials for structures. Epoxy resin and acrylic resin binders would less averse should make utilized within the preservation of objects, and would outside those degree for this work [11]. Studying the effect of nanomaterials in improving the characterization and durability of restoration mortars through researches and studies has not been achieved yet as required. Although these material had been used in some places for more than 20 years. Many of these studies and research are interested in the investigation the durability of the traditional mortars. From this point of view, this research come to compensate the shortage of this issue by studying the effect of using nanomaterials like nanosilica, nanotitanium, nanoclay and others on some durability properties of some traditional lime based mortars produced with partial replacement of lime powder at the specific ratios for each one. Approximately, no studies in Egypt focusing entirely of the effect of nanomaterials like nanosilica, nanotitanium and nanoclay on some important properties of restoration lime based mortars durability such as compressive and shear stresses, permeability and aggressive medium. Historical masonries are exposed to aggressive environmental conditions. Al-Mahalli mosque is considered the largest central mosque in the city which is threatened damaged and structural deficiency as a result of mechanical and physiochemical and biological factors.

Figures (1–4) show the main facade of Al Mahalli mosque, and its deterioration due to rising humidity, the major arcades and the overhang structure, cracks and fissures in the vertical walls. Also the effect of using cement mortars on Taquaa mosque and the appearance of salts on surface.

Figures (3, 4) show other historical house in Rashid called El Manadilly, in which Figure (3) shows the decomposition of building materials danger cracks appeared in some pillars and separation between the facade and the radial walls.

Figure (4) shows the permanent deformation of the mortar in the zone of the borders of the facade due to the variation of temperature and humidity. The living organisms have a role of damage circle that attacked the building materials in ancient buildings in rational, because the environment is suitable for the growth of these objects and gravity as produced from organic acids and inorganic as well as deformation chromatography to external surfaces of building materials, due to the production of various fungi colors [12], where dangers cracks appeared in some pillars and separation between the faced and the radial walls.

Figure 5 shows the main faced of Bawabet Abo el Riehs, where dangers cracks appeared in some pillars and separation between the faced and the radial walls.



Рис. 1. Повреждения из-за повышенной влажности  
Fig. 1. Deterioration due to rising humidity

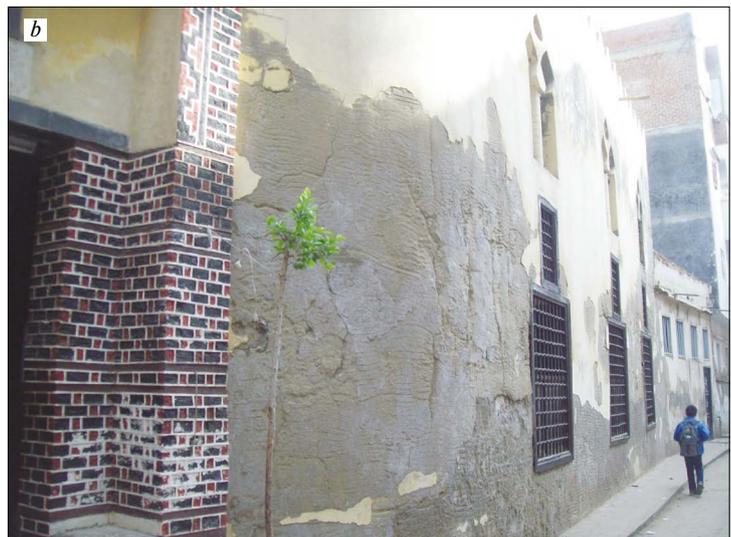
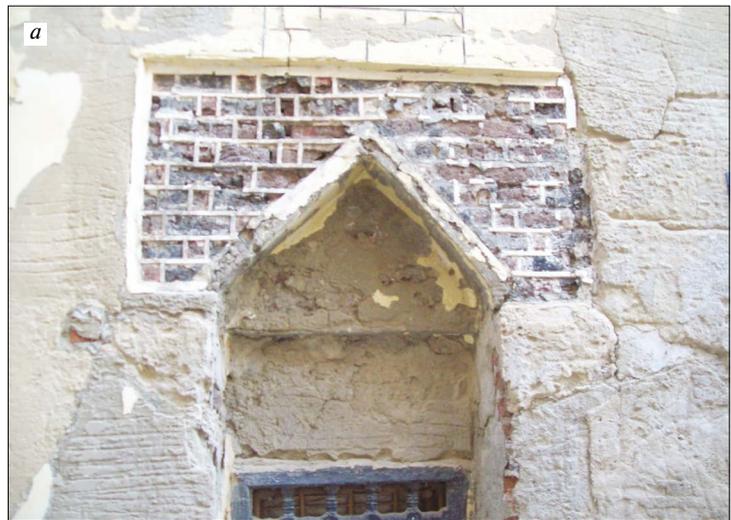
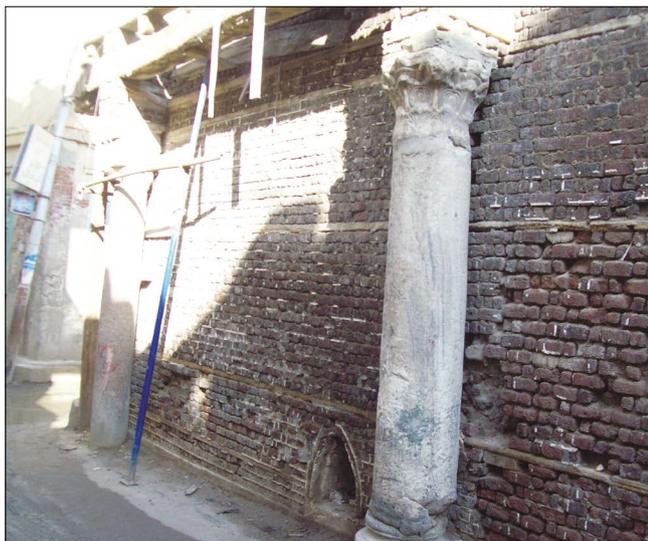


Рис. 2. Основные аркады и нависающая структура, трещины и щели в вертикальных стенах (а); эффект использования цементного раствора на поверхности мечети Такуаа и появление солей на поверхности (b)

Fig. 2. Major arcades and the overhanging structure, cracks and fissures in the vertical walls (a); The effect of using cement mortar on Taquaa mosque surface, and the appearance of salts on surface (b)



**Рис. 3.** Главный фасад дома El Manadily. Опасности трещин возникли на некоторых колоннах, и разделение между фасадом и радиальными стенами

**Fig. 3.** The main facade of El Manadily house. Dangers cracks appeared in some pillars and separation between the facade and the radial walls



**Рис. 4.** Дом El Manadily. Постоянная деформация кирпича в зоне границ и главная стена фасада

**Fig. 4.** El Manadily house. Permanent deformation of the brick in the zone of the borders and main wall of the facade



**Рис. 5.** Главный фасад bawabet Abo el Riech (a); опасности трещины появились в некоторых колоннах и разделение между фасадом и радиальными стенками (b)

**Fig. 5.** The main facade of bawabet Abo el Riech (a); dangers cracks appeared in some pillars and separation between the facade and the radial walls (b)



Figure 6 shows El Maizouny house with Permanent deformation of the brick in the zone of the borders and main wall of the facade.

Figure 7 shows salts efflorescence on the surface of building materials of south facing of Al Mahalli mosque. Hence, it was necessary to use the achievements of other sciences as physics and chemistry of the significant results can be adapted and utilized in the treatment and maintenance of archaeological materials. Given the growing interest in recent times with the knowledge of nanotechnology and in view of the achievements of this technology from the success and progress in improving the properties of materials in general and indicated by recent research on the principles for nanotechnology in construction areas and building materials, which stressed the importance of the use of nanomaterials applied to protect the facades of historical buildings as well as its role in the architectural restoration operations [12]. So, nano materials (NMs) can be adapted in the treatment and maintenance of mortar, as a basic plaster for building material in ancient buildings in Rashid.

### The Method used to Investigate and Analysis the mortar in the Historical and Archaeological Heritage in Rashid City

X-ray diffraction (XRD) test method was carried out on mortar samples from south facing of Al Mahalli mosque. XRD technique using a PW1050/70 diffractometer (Philips, Holland) was recorded with a diffractometer with Cu-K $\alpha$  radiation generated at 40 KV and 30 mA. It covers 2 $\theta$  from 5° to 50°. Figure 8 shows XRD for the mortar sample. The diffractometer shows that this sample composed of calcite and halite. Figure 8 and table 1 show the percentage chemical compounds of mortar.

Scanning Electron Microscope (SEM) model Inspect S (FEI Company) was used to investigate the mortar sample (control sample; U). The SEM was equipped with an energy dispersive X-ray analyzer (EDAX). Figure 9, a shows photograph of mortar sample (control sample; U). The sample examined by SEM and EDAX shows that it composed of CaO, SiO<sub>2</sub>. Figure 9, b shows the elemental analysis by EDAX of the control sample taken from the mortar of the mosque. Table 2 shows the chemical analysis by EDAX for the control sample.



Рис. 6. Дом El maizouny. Деформация кирпича в зоне границ и главной стены фасада

Fig. 6. El maizouny house. Permanente deformation of the brick in the zone of the borders and main wall of the facade



Рис. 7. Высокосообразование на поверхности строительных материалов южной облицовки мечети Al Mahalli

Fig. 7. Salts efflorescence on the surface of building materials of south facing of Al Mahalli mosque

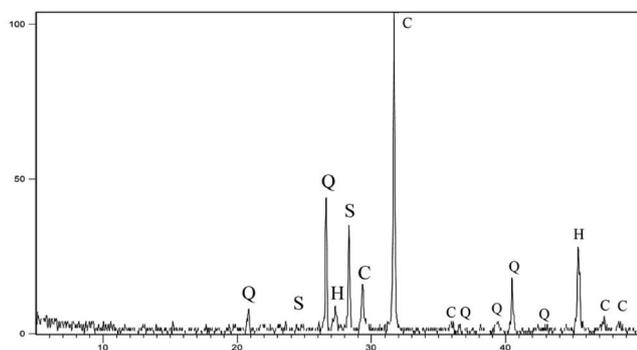


Рис. 8. Дифракция рентгеновских лучей образца раствора

Fig. 8. XRD pattern of mortar sample

Таблица 1  
Table 1

Химический состав образца раствора  
The percentages of chemical compounds of mortar sample

Минерал Minerals	Химическая формула Chemical formula	Содержание, мас. % Chemical compounds (mass, %)
Calcite	CaCO <sub>3</sub>	69,7
Quartz	SiO <sub>2</sub>	11,34
Sylvite. Syn	KCL	13,51
Halite	NaCL	5,22

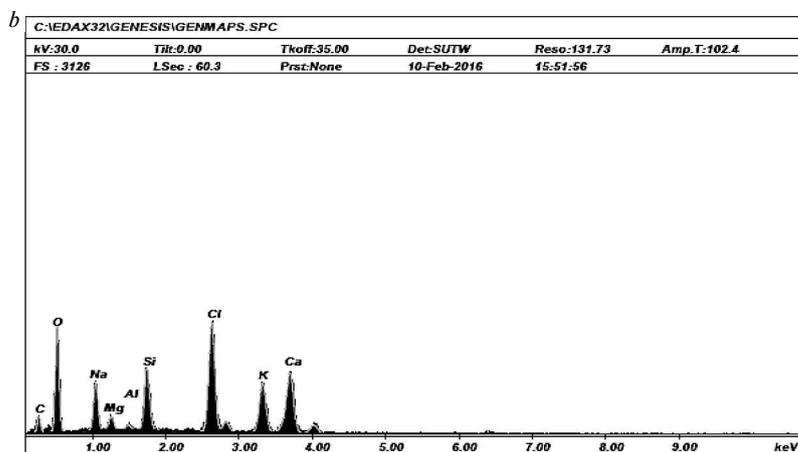
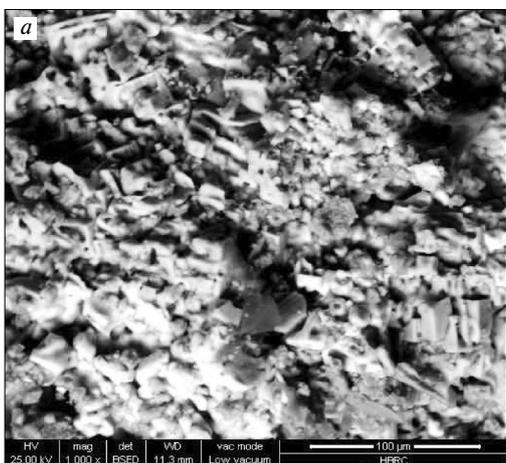


Рис. 9. Микроструктура раствора (контрольный образец, U) (a); элементный анализ EDAX для раствора (контрольный образец, U) (b)

Fig. 9. Microstructure of mortar (control sample; U) (a); the elemental analysis by EDAX for mortar (control sample; U) (b)

Таблица 2  
Table 2

Элементарный анализ EDAX для раствора (контрольный образец, U)  
The elemental analysis by EDAX for mortar (control sample; U)

Основные составляющие Main Constituents	C	NaO <sub>2</sub>	Cl	CaO	SiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Содержание, % Content, %	19.65	8.85	8.13	5.65	5.42	4.48	1.84	0.46

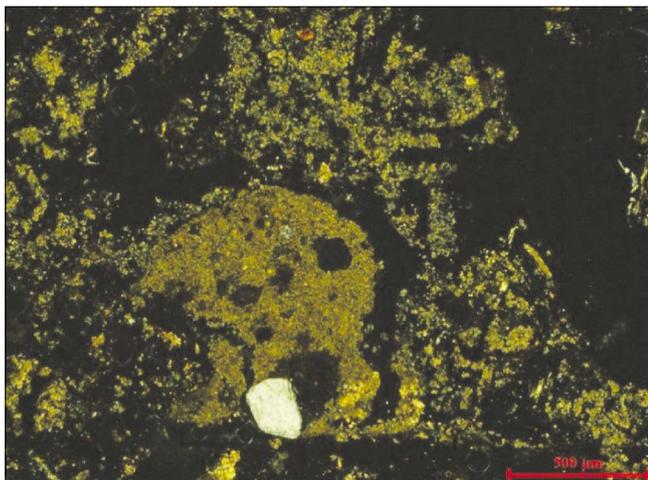


Рис. 10. Тонкий срез образца раствора из мечети  
Fig. 10. Thin section of mortar sample from the mosque

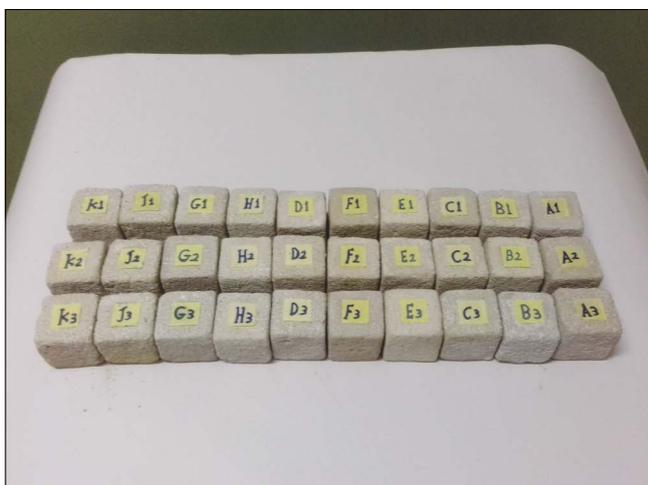


Рис. 11. Образцы с кодовым номером до начала исследования  
Fig. 11. Specimens with their code numbers before the consolidation treatment

Таблица 3  
Table 3

**Традиционные и наноматериалы, используемые для консолидации (уплотнения)  
The traditional and nano materials used for consolidation**

	Традиционный материал Traditional materials	Наноматериал Nano-materials
1.	Wacker Bs15	Nano silica
2.	Wacker SKM 550	Nano titanium
3.	Estel 1100	Nano calcite
4.	Euco Colle (acrylic materials)	

Thin section analysis by Polarizing Light Microscope. Polarizing Microscope model N.Kon Eclipse LV 100 PoL was used for investigation. Figure 10 shows a photographic for the mortar (control sample; U) from the west face of the mosque. The figure shows that the sample has Calcite and Quartz.

**Experimental study**

El-Mahalli mosque in Rashid city was chosen for this study. Studying the site of this mosque found that, the main



Рис. 12. Образцы с кодовыми номерами для уплотнения  
Fig. 12. The specimens with their code numbers of the consolidation treatment

Таблица 4  
Table 4

**Материалы для консолидации, используемые в каждой серии испытаний  
The consolidation materials used in each treatment**

No.	Sample Notation Обозначение образца	The consolidation materials used Материал, используемый для консолидации
1	U	Control sample
2	A	Euco Colle materials with 25% concentration in water
3	B	Wacker Bs15 materials with 20% concentration in water
4	C	Wacker SKM 550 with 10% concentration in water
5	D	Estel 1100
6	E	Nano Silica with 3% concentration in alcohol
7	F	Nano Silica with 2% concentration in (Wacker Bs15) Bs15 materials with 20% concentration in water
8	G	Nano restore with 50% with Euco Colle materials with 50% concentration and diluted in water by 1:1 ratio in water
9	H	Nano Titanium with 2% in Estel 1100
10	J	Nano Silica with 1.5% concentration and Nano Titanium with 1.5% with (Wacker Bs15) Bs15 materials with 20% concentration in water
11	K	Nano Silica with 2% concentration with (Wacker SKM 550) SKM 550 with 10% concentration in water

building materials are the fired brick and mortar. Mortar samples were prepared in the form of cubic with 5 cm length from material exact ally as the historical mortar material as petrography and X-ray indicated, then dried in electric oven for 24 hours at 100±5°C. 33 specimens were prepared and classified into 11 groups, each group of code name composed of 3 specimens. Figure 11 shows the specimens with their code number before the consolidation treatment.

Consolidation process required one of the important proceed to valid coherence for the internal structure of the mortar in historic buildings in Rashid city. Consolidation materi-

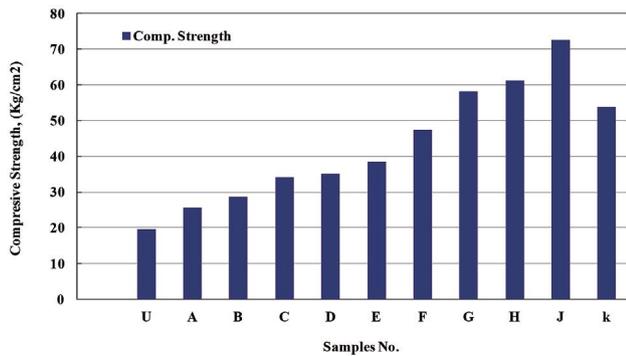


Рис. 13. Средняя прочность при сжатии образцов после уплотнения  
 Fig. 13. The average compressive strength of samples after consolidation

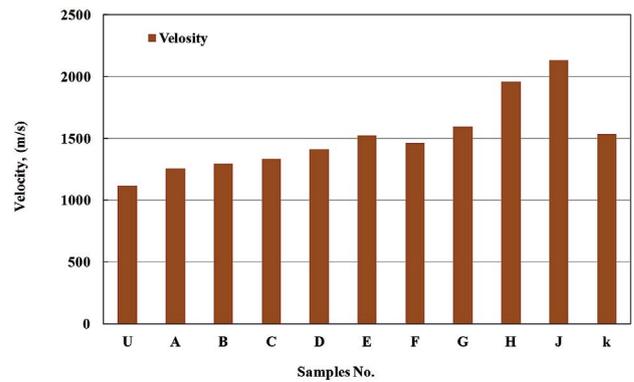


Рис. 14. Средняя скорость волны образцов после уплотнения  
 Fig. 14. The average wave velocity of samples after consolidation

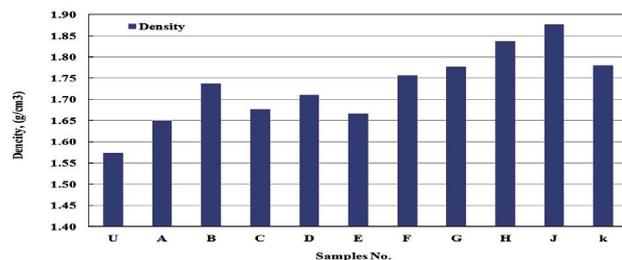


Рис. 15. Средняя объемная плотность образцов после уплотнения  
 Fig. 15. The average bulk density of samples after consolidation

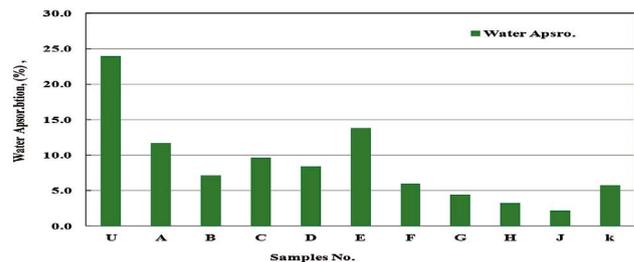


Рис. 16. Среднее водопоглощение образцов после уплотнения  
 Fig. 16. The average water absorption of samples after consolidation

al takes into consideration its ability to improve the physical and mechanical properties and it's compatible to the nature of mortar fabric. Two types of materials were used as follow in table 3.

In case of single shape (nano granule dispersed in carrier media such as water or alcohol), these materials made one or more job. For example nano silica used in strengthened the mortar of lime [13, 14], and the form of gypsum materials re-pelled to water [15]. Nano-titanium used in strengthened of hydraulic mortar and improve the physical and mechanical properties of these mortars. In case of composed shape, one or two of nano materials were be mixed with polymer. The mixing must be good to get homogenous composed has good characteristics better than the single shape. Using nano silica and nano titanium mixed with polymer lead to improve and reinforce historical materials, improve also their mechanical properties and be super water repellent and self-cleaning [16, 17].

The distributions of NMs in polymer silicone and acrylic solution with a defiant concentration success in create protect layered for historical material surfaces. This layer is characterized by super water repellent and protect these materials from open environment, which exposed to heavy rain and snow and air pollution [18]. Nano reinforced materials applied with brushing, which appear the penetration, distribution and homogeneity through the historical materials. This application used in 10 treatments. Treatments from 2–5 were carried out by using the traditional materials (polymers), while treatments from 6–11 were carried out by using NMs in single or composed shape. Group one is the control sample. Table 4 shows the consolidation materials used in each treatment. Figure 12 shows the specimens with their code number after the consolidation treatment.

### Evaluation and Analysis for consolidation materials

Cubes samples of 4×4×4 cm were used to carry out the compression test of the control and the modulated samples.

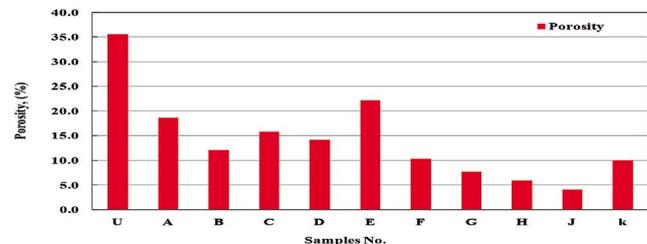


Рис. 17. Средняя относительная пористость образцов после уплотнения  
 Fig. 17. The average apparent porosity of samples after consolidation

Compressive strength test was carried out using 50 ton Italy Matest pressing machine with a loading rate of 6.5 KN/min as the specimens.

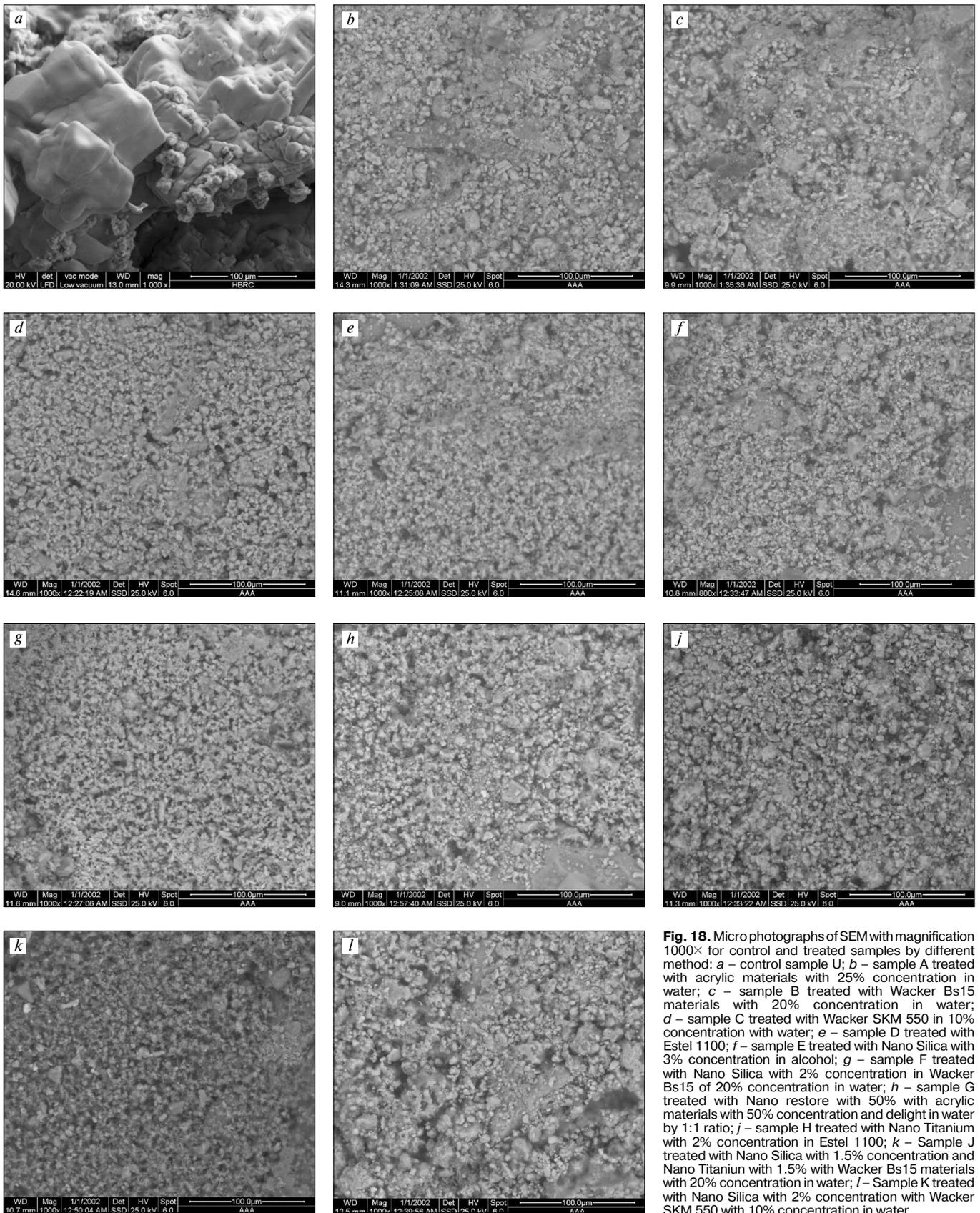
The pressure resistance (compressive strength) of each sample was calculated as follows in Equ. (1):

$$C.S = P/A = \text{Kg/cm}^2, \quad (1)$$

Where, C.S is the compressive strength; in Kg/cm<sup>2</sup>, P – load; in KN and A – area, in cm<sup>2</sup>.

Figure 13 shows the average C.S for 3 cubes for each sample. The figure shows that, sample with code number (J) treated with nano silica concentration of 1.5% and nano titanium concentration of 1.5% with Wacker Bs15 of 20% concentration in water, gives the highest C.S where its value is 72.67 Kg/cm<sup>2</sup> which increase the control one (19.48 Kg/cm<sup>2</sup>) by about 273.04%.

Ultrasonic pulse velocity test gives indication about the quality of building materials by the way of waves flow. The velocity of waves flow of ultrasonic through any materials depend on two factors, one of them is internal factor, which depends on the type of materials, grain size, the fabric, the density and porosity of the material. The other factor is external factor, which depend on the temperature, porosity pres-



**Fig. 18.** Micro photographs of SEM with magnification 1000× for control and treated samples by different method: *a* – control sample U; *b* – sample A treated with acrylic materials with 25% concentration in water; *c* – sample B treated with Wacker Bs15 materials with 20% concentration in water; *d* – sample C treated with Wacker SKM 550 in 10% concentration with water; *e* – sample D treated with Estel 1100; *f* – sample E treated with Nano Silica with 3% concentration in alcohol; *g* – sample F treated with Nano Silica with 2% concentration in Wacker Bs15 of 20% concentration in water; *h* – sample G treated with Nano restore with 50% with acrylic materials with 50% concentration and delight in water by 1:1 ratio; *j* – sample H treated with Nano Titanium with 2% concentration in Estel 1100; *k* – Sample J treated with Nano Silica with 1.5% concentration and Nano Titanium with 1.5% with Wacker Bs15 materials with 20% concentration in water; *l* – Sample K treated with Nano Silica with 2% concentration with Wacker SKM 550 with 10% concentration in water

**Рис. 18.** Микрофотографии SEM с увеличением 1000× для контрольных и образцов, обработанных различными способами: *a* – контрольный образец U; *b* – образец А, обработанный 25%-ным водным раствором акрилового материала; *c* – образец В, обработанный 20%-ным водным раствором Wacker Bs15; *d* – образец С, обработанный 10%-ным водным раствором Wacker SKM 550; *e* – образец D, обработанный Estel 1100; *f* – образец Е, обработанный 3%-ным спиртовым раствором наносиликата; *g* – образец F, обработанный наносиликатом с концентрацией 2% в 20%-ном водном растворе Wacker Bs15; *h* – образец G, обработанный восстановлением Nano с 50% акриловыми материалами с концентрацией 50% и разбавленным в воде соотношением 1:1; *j* – образец H, обработанный Nano Titanium с 2%-ной концентрацией в Estel 1100; *k* – образец J, обработанный 20%-ным водным раствором Wacker Bs15 + Nano Silica 1,5% + Nano Titanium с 1,5%; *l* – образец K, обработанный 10%-ным водным раствором Wacker SKM 550 + Nano Silica 2%

sure of liquid and the stress on materials. For this test an ultrasonic tester model E4b was used, in which it consists of two microphones for transmit and receive waves connected with the main device. The tow microphone put on both side of the specimen to determine the time of the wave travel. The velocity of the wave determined as follows in Equ. (2):

$$VP = H(X1000)/T(X1000000), \quad (2)$$

Where, H is the height of spaceman in meter; T is the time of wave travel in spaceman in min

Figure 14 shows the average wave velocity for 3 samples for each group. The figure shows that, sample with code number (J) treated with nano silica concentration of 1.5% and nano titanium concentration of 1.5% with Wacker Bs15 of 20% concentration in water, gives the highest velocity of 2133 m/s, which increase that of control one (1115 m/s) by about 91.30%.

The physical properties (bulk density, water absorption and apparent porosity) of these samples were determined by calculating the volume of each sample, measuring the dry weight and the wet weight of each sample. The physical properties were calculated as follows: Bulk Density (D) in gm/cm<sup>3</sup> was determined as follows in Equ. (3):

$$D = W/V, \quad (3)$$

Where: D is the bulk density in gm/cm<sup>3</sup>, W is original weight in gm and V is volume in cm<sup>3</sup>.

Water Absorption (W.A) in % was determined as follows in Equ. (4):

$$W.A = 100*((W_2 - W_1)/W_1), \quad (4)$$

Where: W.A is the water absorption in %; W<sub>1</sub> and W<sub>2</sub> is dry and wet weight in gm.

Apparent porosity (A.P) in % was determined as follows in Equ. (5):

$$A.P = 100*((W_2 - W_1)/V). \quad (5)$$

Figures 15–17 show the physical properties of samples. Figure 15 shows the bulk density in which sample with code number (J) treated with nano silica concentration of 1.5% and nano titanium concentration of 1.5% with Wacker Bs15 of 20% concentration in water, gives the highest bulk density of 1.87 gm/cm<sup>3</sup>, which increase the control one (1.57 gm/cm<sup>3</sup>) by about 19.1%.

Figure 16 shows the water absorption in which sample with code number (J) treated with nano silica concentration of 1.5% and nano titanium concentration of 1.5% with Wacker Bs15 of 20% concentration in water, gives the minimum water absorption which is 2.19%, and decrease the control one (23.95%) by about 90.85%. Figure 17 shows the apparent porosity in which sample with code number (J) treated with nano silica concentration of 1.5% and nano titanium concentration of 1.5% with Wacker Bs15 of 20% concentration in water, gives the minimum apparent porosity of 4.06%, which decrease the control one (35.53%) by about 88.57%.

Scanning Electron micros for mortar after treatment were carried out using SEM model Inspect S (FEI Company) supplied with EDAX to investigate the effect of reinforced materials and its penetration through the texture of mortar by comparing them with the untreated sample. Figure 18 show these investigation equipped with an energy dispersive x-ray analyzer (EDAX).

Microphotographs of the control sample U (Fig. 18, a), shows the weakness and cracks of the sample, also shows non cohesion and interdependence with the presence of some salt impurities. Fig. 18, b shows the complete distribution of polymer on sample surface and inside holes. Fig. 18, c shows the

homogenous penetration and distribution of polymer and covering the grains without close the pore.

Fig. 18, d shows the non-complete distribution of polymer on the surface of sample and so, the non-cone connect of grains by good way. Fig. 18, e shows the presence of thick layer polymer which covers the grains by excellent way. Fig. 18, f shows the good homogenous arrangement of nano silica particles but it is not able to cover all surface and so holes appear. Fig. 18, g shows the good distribution and penetration for polymer and nano silica particles distributed with homogeneous and arranged shape. Fig. 18, h shows the good distribution for polymer but nano restore particles distributed with non-homogeneous shape. Fig. 18, j shows the good distribution and penetration for polymer and covering the grains. Also nano titanium distributed with good arrangement on the surface. Fig. 18, k shows the excellent distributed and penetration for polymer on the surface and inside cracks without closing the pores. Also SiO<sub>2</sub> and TiO<sub>2</sub> particles distributed in arranged way on sample surface. This indicates the strength of sample and its ability of water retard. Fig. 18, l shows the good distribution of polymer, but SiO<sub>2</sub> distributed in semi-arranged way.

## Conclusions

1. The deterioration actions of historical building in Rashid mainly are the ground water (GWT), rains, and salt weathering, variation of temperature, air pollution and biological factors.
2. The XRD, Photographic analysis and SEM indicate that the structural mortar of Rashid consists mainly of calcite, quartz and contaminated with halite.
3. The present study indicate that the Nano-materials improve the physical and mechanical properties of mortar in historical building in Rashid and give better results than the traditional materials.
4. Compressive strength for sample (J) after treatment with Nano Silica of 1.5% concentration and nano titanium of 1.5% concentration with (Wacker Bs15) Bs15 materials of 20% concentration in water give the highest load of 72.67 Kg/cm<sup>2</sup> by an increase of 273.04% with respect to the control one which give a compressive strength of 19.48 Kg/cm<sup>2</sup>.
5. Ultrasonic pulse velocity for sample (J) after treatment with nano silica of 1.5% concentration and nano titanium of 1.5% concentration with (Wacker Bs15) Bs15 materials of 20% concentration in water give the highest velocity of 2133 m/s with an increase of 91.3% of the control sample which give 1115 m/s.
6. Physical properties for sample (J) after treatment with Nano Silica of 1.5% concentration and Nano Titanium of 1.5% concentration with (Wacker Bs15) Bs15 materials of 20% concentration in water give the highest bulk density of 1.87 gm/cm<sup>3</sup> with an increase of 19.1% of the control sample which give 1.57 gm/cm<sup>3</sup>.

## References

1. Amstock J.S. Handbook of adhesives and sealants in construction. 2000. New York: McGraw-Hill Professional. 656 p.
2. Papayianni I., Design of compatible repair materials for the restoration of monuments. *International Journal for Restoration*. 2004. Vol. 1 (6), pp. 623–639.
3. Papayianni I., Stefanidou M. and Pacht V., Grouts for injection of historical masonries: influence of the binding system and other additions on the properties of the matrix. In: *Proc. 2-nd Historic Mortars Conference and Rilem TCRHM "Repair Mortars for Historic Masonry"*. RILEM Publications SARL. 2010, pp. 1123–1134.

4. Papayianni I., Stefanidou M. and Pachta V., Experimental study of nano-modified lime based grouts. *World Journal of Engineering*. 2012. Vol. 9 (6), pp. 501–508.
5. Taylor HFW: Cement chemistry. 1990, London: Academic Williams G: Repointing stone and brick walling: technical pamphlet 5. 2001. London: Society for the Protection of Ancient Buildings.
6. Odgers D, Henry A. English heritage. Practical building conservation stone. 2012. Farnham: Ashgate Publishing Limited. 338 p.
7. Gibbons P. The preparation and use of lime mortars: technical advice note 1. 2003. Edinburgh: Historic Scotland.
8. Brereton C. Repair of historic buildings in Scotland: advice on the principles and methods. 1995. Edinburgh: Historic Scotland. 85 p.
9. Allen G., Allen J., Elton N., Farey N., Holmes S., Livesey P., Radonjic M. Hydraulic lime mortar for stone, brick and block masonry. Dorset: Donhead. 2003. 96 p.
10. Torney C, Forster A.M., Kennedy C.J., Hyslop E.K. “Plastic” repair of natural stone in Scotland: perceptions and practice. *Structural Survey*. 30 (4), pp. 297–311. DOI: 10.1108/02630801211256643
11. Torney C., Forster A., Szadurski E., Specialist ‘restoration mortars’ for stone elements: a comparison of the physical properties of two stone repair materials. *Heritage Science*. 2014;1. <https://doi.org/10.1186/2050-7445-2-1>
12. Stefanidou M., and Poppyianni I. Nano particles to water repellency of lime based mortars, stone core. *Recent progress in the consolidation of calcareous materials*. 2010. Litomyšl. Czech Republic.
13. Maravelak-Kalaitzaki. M., et al. Physico-chemical and mechanical characterization of hydraulic mortars containing nano-titania for restoration applications. *Cement and Concrete Composites*. 2013. 36 (1), pp. 33–41. DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2012.07.002
14. Gordina A.F., Polyanskikh Y.V., Tokarev A.F. Water resistance gypsum materials modified with cement, silica fume and nanostructures. *5th International Conference on Nano-Technology in Construction*. 2014.
15. Pinho L., Elhaddad F., Facio D.S., Mosquera M.J. A novel TiO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub> nanocomposite converts a very friable stone into a self-cleaning building material. *Applied Surface Science*. 2013. Vol. 275, pp. 389–396. DOI: 10.1016/j.apsusc.2012.10.142
16. Stefanidou M., et al. Testing of nano structured protection and consolidation of biocalcarenite. Rome, Italy. 2013.
17. Licchelli M., Malagodi M., Weththimuni M., Zanchi C., Nanoparticles for conservation of bio-calcarenite stone. *Applied Physics A*. 2014. Vol. 114. Iss. 3, pp 673–683. <https://doi.org/10.1007/s00339-013-7973-z>
18. Karapanagiotis I., Grosu D., Aslandou D., Katerina E. Facile method to prepare superhydrophobic and water repellent cellulosic paper. *Journal of Nanomaterials*. 2015. Article ID 219013, 9 pages <http://dx.doi.org/10.1155/2015/219013>.

**ИНФОРМАЦИЯ**

## Новые требования к составу, содержанию и порядку оформления заключения госэкспертизы

Новые требования к составу, содержанию и порядку оформления заключения государственной экспертизы проектной документации и результатов инженерных изысканий вступили в силу 1 сентября 2018 г. Соответствующий приказ Минстроя России (№341/пр) опубликован на официальном интернет-портале правовой информации pravo.gov.ru.

Необходимость изменения существующих требований обусловлена переходом к ведению единого государственного реестра заключений экспертизы проектной документации объектов капитального строительства (ЕГРЗ) и необходимостью оформления заключения в форме электронного документа. В частности, уточняется перечень сведений, подлежащих введению в заключение. Данные сведения необходимы для корректного включения информации о таком заключении в ЕГРЗ, в соответствии с Правилами его

формирования (постановление Правительства РФ от 24 июля 2017 г. № 878).

Кроме того, в новой редакции требований описаны особенности присвоения номеров заключений государственной экспертизы проектной документации и результатов инженерных изысканий с учетом начала ведения ЕГРЗ.

Справочно. Приказ Минстроя России от 8 июня 2018 г. № 341/пр подготовлен в соответствии с пунктом 37 Положения об организации и проведения государственной экспертизы проектной документации и результатов инженерных изысканий, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 5 марта 2007 г. № 145. Документ также признает утратившим силу приказ Минстроя России от 9 декабря 2015 г. № 887/пр.

**По материалам Минстроя РФ**

Н.В. ДУБЫНИН<sup>1</sup>, канд. архитектуры (arh\_nauka@mail.ru); Т.Н. КОЛЕСНИКОВА<sup>2</sup>, д-р архитектуры; З.К. ПЕТРОВА<sup>3</sup>, д-р архитектуры; Л.Б. КОЛОГРИВОВА<sup>1</sup>, д-р архитектуры (cniipz@cniipz.ru); К.И. ЕРЕМИН<sup>4</sup>, д-р техн. наук; Г.П. ТОНКИХ<sup>5</sup>, д-р техн. наук

<sup>1</sup> АО «ЦНИИПромзданий» (127238, г. Москва, Дмитровское ш., 46, корп. 2)

<sup>2</sup> Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева (302026, Орловская область, г. Орел, ул. Комсомольская, 95)

<sup>3</sup> ЦНИИП Минстроя России (119331, г. Москва, пр. Вернадского, 29)

<sup>4</sup> Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (129337, г. Москва, Ярославское ш., 26)

<sup>5</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России (Федеральный центр науки и высоких технологий) (121352, г. Москва, ул. Давыдовская, 7)

## Архитектурно-технические решения, строительные технологии и нормативные требования к панорамному остеклению высотных зданий

Рассмотрены проблемы реализации в проектах высотных зданий панорамного остекления. В настоящее время его применение стало востребованным с точки зрения архитектуры, но приемы устройства светопрозрачных ограждающих конструкций высотных зданий без дополнительного страхующего ограждения не проработаны в действующих нормах с точки зрения обеспечения безопасности. Безусловно, современные технологии позволяют выполнить светопрозрачные конструкции достаточно надежными, чтобы выдержать необходимые нагрузки, но если нагрузки от внешних факторов давно определены, то возможные ударные нагрузки с внутренней стороны ограждающих конструкций, обеспечивающие безопасность от выпадения человека, до сих пор не уточнены в нормативной литературе. Чтобы найти возможные пути решения данного вопроса, имеющего значение для повышения архитектурных качеств высотных зданий, был выполнен анализ действующих нормативных документов и методических пособий, действовавших ранее. При этом найдено теоретическое решение, подтверждение которого требует дальнейшего изучения и обсуждения специалистами, в том числе и экспериментальных исследований или анализа опыта эксплуатации. Данный вопрос является одним из важных в области высотного строительства, которые требуют уточнения и дополнения в разработанный относительно недавно первый в нашей стране свод правил по проектированию высотных зданий СП 267.1325800.2016. В связи с чем особенно возрастает роль организаций-разработчиков, имеющих не только опыт проектирования, но и научный потенциал в данной области.

**Ключевые слова:** панорамное остекление, инновация, нормативная база высотного строительства, архитектура высотных зданий, светопрозрачные ограждающие конструкции высотных зданий, проектирование высотных зданий.

**Для цитирования:** Дубынин Н.В., Колесникова Т.Н., Петрова З.К., Кологривова Л.Б., Еремин К.И., Тонких Г.П. Архитектурно-технические решения, строительные технологии и нормативные требования к панорамному остеклению высотных зданий // *Строительные материалы*. 2018. № 9. С. 75–79. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-763-9-75-79>

N.V. DUBYNIN<sup>1</sup>, Candidate of Architecture (arh\_nauka@mail.ru); T.N. KOLESNIKOVA<sup>2</sup>, Doctor of Architecture; Z.K. PETROVA<sup>3</sup>, Doctor of Architecture; L.B. KOLOGRIVOVA<sup>1</sup>, Doctor of Architecture (cniipz@cniipz.ru); K.I. EREMIN<sup>4</sup>, Doctor of Sciences (Engineering); G.P. TONKIKH<sup>5</sup>, Doctor of Sciences (Engineering)

<sup>1</sup> JSC "TSNIIPromzdany" (46, korp. 2, Dmitrovskoye Shosse, Moscow, 127238, Russian Federation)

<sup>2</sup> Orel State University named after I.S. Turgenev (95, Komsomolskaya Street, Orel Region, Orel, 302026, Russian Federation)

<sup>3</sup> TSNIIP of RF Ministry (29, Vernadskogo Prospect, Moscow, 119331, Russian Federation)

<sup>4</sup> Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (26, Yaroslavskoye Shosse, Moscow, 129337, Russian Federation)

<sup>5</sup> All-Russian Research and Scientific Institute for Civil Protection and Emergency Situations Problems of EMERCOM (Federal Center of Science and High Technologies) (7, Davydovskaya Street, Moscow, 121352, Russian Federation)

### Architectural-Technical Solutions, Construction Technologies and Regulation Requirements to Panoramic Glazing of High-Rise Buildings

Problems of the realization of panoramic glazing in the designs of high-rise buildings are considered. At present, its application has become demanded from the point of view of architecture, but the methods of installation of translucent enclosing structures of high-rise buildings without additional safety fencing are not worked out in the current standards from the point of view of safety. Of course, modern technologies make it possible to perform translucent structures reliable enough to withstand the required load, but if the load from external factors have long been identified, the possible impact loads on the inside of the enclosing structures, which ensure safety from human falling out, is still not specified in the regulatory literature. In order to find possible solutions to this issue, which is important for improving the architectural qualities of high-rise buildings, the analysis of existing normative documents and manuals that were in force earlier was carried out. Herewith, a theoretical solution was found, but its confirmation requires further study and discussion by specialists, including experimental studies or analysis of operating experience. This issue is one of the important in the field of high-rise construction, which require clarification and additions to the recently developed first in our country set of rules for the design of high-rise buildings SP 267.1325800.2016. In this connection, the role of development organizations with not only design experience, but also scientific potential in this area is especially increasing.

**Keywords:** panoramic glazing, innovation, regulatory base of high-rise construction, architecture of high-rise buildings, translucent enclosing structures of high-rise buildings, design of high-rise buildings.

**For citation:** Dubynin N.V., Kolesnikova T.N., Petrova Z.K., Kologrivova L.B., Eremin K.I., Tonkikh G.P. Architectural-technical solutions, construction technologies and regulation requirements to panoramic glazing of high-rise buildings. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 9, pp. 75–79. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-763-9-75-79> (In Russian).

Применение надежных безопасных закаленных и многослойных стекол в строительстве, выполнение из них таких элементов зданий, как стены, пол, крыши и т. п., стало обычным, хотя и дорогостоящим архитек-

турным приемом. Современное проектирование невозможно без стекла, и роль его отнюдь не ограничивается простым заполнением светопроемов: применение стекла постоянно расширяется и особую популярность при-

обретает сплошное остекление фасадов [1]. Это подтверждает большой опыт проектирования и строительства, рассмотренный во многих публикациях и трудах [2–4]. При этом архитектурно-технические решения остекления фасадов постоянно развиваются за счет инноваций в направлении повышения энергоэффективности [3], насыщения инженерным оборудованием, интеллектуальным освещением, внедрения медиаэлементов [4], использования автоматизированных управляющих устройств и систем [5], применения нанотехнологий [6]. Благодаря развитию технологий стеклянные ограждающие конструкции становятся все более доступными и распространенными. Современные светопрозрачные фасадные системы позволяют архитектору претворять в жизнь различные по форме, цвету, освещенности высотные здания, воплощая архитектурно-художественный замысел, выразительность, масштабность, пропорции и другие эстетические характеристики, ограждая среду пребывания человека в здании от многих внешних факторов — холода, избытка тепла, избытка освещения, ветра, дождя, шума, несанкционированного проникновения, огня и т. п. [7–14]. При этом одним из престижных приемов является панорамное остекление, когда вся наружная стена от пола до потолка выполняется из светопрозрачных конструкций. Согласно определению, приведенному в п. 3.16 ГОСТ Р 56926–2016 «Конструкции оконные и балконные различного функционального назначения для жилых зданий. Общие технические условия», **панорамное остекление** — это все виды светопрозрачных конструкций с общей габаритной высотой, равной высоте помещения в чистоте, и общей габаритной шириной, равной ширине помещения. Некоторые варианты данного приема представлены на рисунке. Однако проблемой его применения является необходимость устройства дополнительного страхующего ограждения, нарушающего обзор.

В п. 6.26 СП 267.1325800 «Здания и комплексы высотные. Правила проектирования» указано, что остекление высотных зданий следует выполнять с использованием закаленного, термоупрочненного либо многослойного стекла по ГОСТ 30826, не допускающего травмирования людей, находящихся как внутри помещений, так и снаружи, от поражения осколками стекол и фрагментами перечисленных элементов в случае разрушения светопрозрачных конструкций, в том числе при чрезвычайных ситуациях. Ударостойкость светопрозрачных конструкций устанавливается по классу защиты не ниже P2A, а безопасность при эксплуатации — SM4 в соответствии с ГОСТ 24866–2014.

Приведенное требование решает многие вопросы проектирования остекленных фасадов, но не является исчерпывающим ответом на все из них. Ряд нерешенных нюансов остается при проектировании панорамного остекления. В его исполнении нет ничего технически сложного, но возникает спорная ситуация между конструкторами и архитекторами. Так, при формировании интерьеров дизайнеры стремятся создать сплошную стеклянную поверхность, обеспечивающую максимальный обзор, которому бы ничего не мешало. Даже переплеты стремятся свести к минимуму, иногда полностью исключив их, и это возможно с конструктивной точки зрения. Но в упомянутом СП 267.1325800.2016 в п. 6.16 указано, что при устройстве остекления от пола, в том числе светопрозрачной навесной фасадной системой со сплошным остеклением фасада, необходимо с внутренней стороны предусматривать ограждения высотой не менее 1,2 м.

Это ограждение, по мнению архитекторов и дизайнеров, крайне мешающее панорамному обзору, и становится часто камнем преткновения. Правда, в следующем п. 6.15. СП 267.1325800.2016 сделана оговорка, что до-

пускается не устраивать указанное ограждение при условии остекления противоударным стеклом. При этом безопасность данного решения должна обеспечиваться тем, что элементы остекления, а также система его крепления к зданию предусматривают восприятие расчетных ударных нагрузок на стекло изнутри помещений. Но данная формулировка выглядит расплывчатой и не дает свободы действий архитекторам и конструкторам, так как критерии для определения рассматриваемых нагрузок в действующей нормативной базе отсутствуют. Т. е. при любом чрезвычайном происшествии, когда ограждающая конструкция окажется разрушенной, пользователь, даже если это произошло по его вине, всегда может обвинить проектировщика, указав, что они не учли все возможные нагрузки и воздействия.

Обратим внимание на проект федерального закона «Технический регламент о безопасности стекла и изделий из него, применяемых в зданиях и сооружениях» (в настоящее время документ еще не утвержден), где в целях обеспечения безопасности в п. 2 ст. 9 указано, что «разрушение конструкции не должно приводить к опасности падения человека через конструкцию...»

В п. 9 ст. 10 говорится: «...конструкция (включая стекло, крепления и несущую конструкцию) должна предотвратить падение человека сквозь нее. Стекло и его крепления должны выдержать все нагрузки, которыми они могут подвергаться в нормальных условиях эксплуатации».

В п. 11 той же статьи отмечается, что «если разрушение закаленного стекла создает прямую опасность падения человека через конструкцию, необходимо использовать многослойное стекло, или комбинацию многослойного и закаленного стекла, или защитное ограждение».

Итак, приходим все к тому же выводу, что поскольку единых официально утвержденных нагрузок на стекло пока нет, гарантированно обеспечить безопасность можно за счет дополнительного защитного ограждения, которое давно апробировано на практике.

Остекление, в том числе и панорамное, в последнее время все чаще используется при строительстве многоквартирных жилых зданий, в том числе их балконов [8]. Это является положительным опытом, который следует учитывать при проектировании высотных зданий.

Следует обратить внимание на упомянутый выше ГОСТ Р 56926–2016, который, по сути, дополняет СП 267.1325800.2016. Согласно п. 5.2.2.5 «панорамное остекление жилых помещений и кухонь (не примыкающих к балкону (лоджии)) допускается при условии обязательного устройства дополнительного защитного ограждения. Дополнительное защитное ограждение должно обеспечивать невозможность выпадения человека наружу и может выполняться в том числе с применением светопрозрачного заполнения». Однако в данном пункте речь идет об открываемых светопрозрачных конструкциях с устройством так называемых французских балконов и т. п., на которых и устраивается указанное дополнительное ограждение. Хотя устройство французских балконов не применяется на высоте более 75 м, все же данное требование представляет интерес тем, что допускает дополнительное ограждение в виде светопрозрачной конструкции.

Ниже по тексту стандарта вновь приводится требование о необходимости дублирования светопрозрачных конструкций еще одним безопасным ограждением. Так, в п. 5.3.2.5 (в) указано следующее: «Панорамное балконное остекление применяют только вместе с дополнительным защитным ограждением, которое должно иметь высоту не менее 1200 мм согласно требованиям СП 54.13330 и может быть установлено параллельно плоскости панорамного остекления как с внутренней, так и с внешней стороны».

Таблица 1

Нагрузки на ограждающие конструкции

Нагрузки	Длительность действия нагрузки	Нормативное значение нагрузки	Коэффициент надежности по нагрузке	Место приложения нагрузки
Статические				
Горизонтальная равномерно распределенная по длине панели (от оборудования, мебели и др.)	Кратковременная	500 Н/м	1,2	На уровне середины высоты панели
То же, сосредоточенная	То же	500 Н	1,2	В любом месте глухой части панели на площади размером 10×10 см
Динамические (ударные)				
Удар мягким телом	Кратковременная	120 Дж 250 Дж	–	В любом месте глухой части панели
То же, твердым	То же	2,5 Дж	3 / 4	То же

Таблица 2

Класс безопасности при эксплуатации, фрагмент

Класс защиты	Высота падения, мм	Масса мешка, кг
СМ 4	2000±50	45±1

Таблица 3

Класс защиты от удара жестким предметом, фрагмент

Класс защиты	Высота падения, мм	Количество ударов	Масса шара, кг
P2A	3000±50	3	4,11±0,06

Итак, согласно нормативным документам также необходимо дополнительное ограждение для обеспечения безопасности, в частности предотвращения выпадения человека наружу.

Следует отметить, что на основании п. 5.3.2.5 (г) целесообразно допустить возможность на этажах, расположенных на высоте менее 15 м, применять полупрозрачные заполнения нижнего экрана из безопасного многослойного стекла по ГОСТ 30826–2014 «Стекло многослойное. Технические условия» без дополнительного защитного ограждения.

Относительно вида стекол даны указания в п. 5.3.2.5 (а), что «в качестве светопрозрачного заполнения нижнего экрана применяют только безопасное закаленное стекло по ГОСТ 30698 или многослойное по ГОСТ 30826–2014».

В Плате расчета нагрузок стандарт, так же как и свод правил, не приводит конкретных методов и критериев. Так, в п. 5.3.2.5 (а) указано: «В случае наружного расположения защитного ограждения узлы крепления основного стеклосущего ригеля к стойке и его сечение должны быть дополнительно рассчитаны на действие сосредоточенной ударной нагрузки при случайном падении на него человека. Значение расчетной нагрузки принимают согласно СП 20.13330».

В пп. 5.3.1.6–5.3.1.7 в качестве основного расчетного критерия безопасности при эксплуатации панорамного остекления принимают предельно допустимый прогиб стекляннной пластины в центре пролета при действии равномерно распределенной ветровой нагрузки в условиях урагана. А также дополнительные критерии:

- устойчивость безопасного стекла нижнего экрана при действии сосредоточенной нагрузки удара;
- предельно допустимый прогиб основных несущих профильных элементов при действии ураганного ветра в плоскости расчетного фасада здания;

– разрушение (излом) основных несущих профильных элементов при действии бокового ураганного ветра.

Итак, сила сосредоточенной нагрузки, а также условия случайного падения человека (высота, масса, скорость), которые должны выдерживать светопрозрачные ограждающие конструкции, чтобы обеспечить безопасность пользования, в рассмотренном своде правил и стандартах не оговариваются. Нет критериев оценки удара жестким предметом. Тем не менее в действующих нормах все же можно найти некоторые методы оценки прочности ограждающих конструкций.

Так, следует принять во внимание п. 8.3 СП 54.13330.2016, где указано, что «ограждения должны быть непрерывными, оборудованы поручнями и рассчитаны на восприятие горизонтальных нагрузок не менее 0,3 кН/м». При этом подразумевается, что оно металлическое и способно выдержать удар жестким предметом, энергия которого будет погашена за счет деформации. ГОСТ 25772–83 «Ограждения лестниц, балконов и крыш стальные. Общие технические условия» в части нагрузок отсылает к СП 20.13330, где этот вопрос не отражен.

Представляют интерес параметры расчета ограждающих конструкций зданий, применяемые в предшествующем опыте разработки нормативно-методических документов, а именно в «Пособии по проектированию жилых зданий. Вып. 3» (утверждено приказом ЦНИИЭП жилища Госкомархитектуры от 31 июля 1986 г. № 459) в п. 5.99, где даны величины местных нагрузок (возникающих в процессе эксплуатации внутри здания, кроме ветровых и иных внешних воздействий) на наружные стены. В табл. 1 представлены те из них, которые могут быть применимы в данном случае.

Также в пособии даны следующие рекомендации: «При испытании панели и элементов ее крепления на статические нагрузки разрушающая нагрузка должна не менее чем в два раза превышать значение нормативной нагрузки. Испытание на удар мягким телом следует выполнять при вертикальном положении панели. Ударная нагрузка создается мешком с песком массой 30 или 50 кг. При энергии удара 120 Дж не должны образовываться трещины и остаточные прогибы; при энергии удара 250 Дж не должно происходить разрушение несменяемых частей конструкции. При однократном действии ударной нагрузкой глубина вмятины на поверхности обшивки не должна превышать 1 мм. Испытание на удар твердым телом выполняется только для внутренней обшивки панели. Для удара используется стальной шар массой 0,5 кг. При энергии удара 2,7 Дж



Варианты панорамного остекления: а – смотровая площадка на телебашне в Шанхае, Китай; б – общественные помещения строящегося высотного здания «Москва-Сити», Россия; в – фасад высотного здания с панорамным остеклением «Москва-Сити», Россия

в обшивке не должно образовываться трещин, а диаметр вмятин не должен превышать 20 мм. Панели рекомендуются испытывать с деталями крепления, что позволяет создавать условия, соответствующие действительным условиям в здании».

Для сравнения, согласно табл. 9 и 11 ГОСТ 30826–2014 «Стекло многослойное. Технические условия» (табл. 2, 3), класс безопасности при эксплуатации стекла SM4 и класс защиты стекла P2A, которое следует применять для остекления фасадов высотных зданий, соответствуют следующие показатели.

Из приведенных данных видно, что класс безопасности при эксплуатации SM4 имеет более низкие показатели, чем в пособии, а класс защиты P2A значительно выше. При этом можно считать логичным, что при панорамном остеклении с исключением дополнительного ограждения класс защиты стекла P2A может оставаться прежним, а класс безопасности при эксплуатации следует значительно увеличить. Но при этом возникает другая проблема, связанная с комплексной безопасностью, для решения которой необходима переработка п. 6.26 СП 267.1325800.2016, где класс безопасности при эксплуатации SM4 и защиты P2A увязаны с обеспечением исключения травмирования людей, находящихся как внутри помещений, так и снаружи, от поражения осколками стекол и фрагментами элементов конструкций в случае их разрушения, в том числе при чрезвычайных ситуациях (ЧС). Также остается неосвоенным вопрос разрушения остекления при взрыве внутри здания, когда необходимо снижение избыточного давления в помещениях, которое обычно обеспечи-

вается за счет легкоразрушаемых светопрозрачных конструкций. Казалось бы, установка триплекса поможет решить проблему, однако в случае со светопрозрачными фасадами из высокопрочного стекла требуется проработка специальных технических решений.

Учитывая, что панорамное остекление практически выполняет функцию наружной стены, формирующей фасад здания, целесообразно рассмотреть возможность экстраполяции на него указанных требований по нагрузкам при обязательном решении задач комплексной безопасности, что обеспечит надежность и безопасность эксплуатации без устройства дополнительного ограждения. Выполнение этой задачи значительно расширит возможности архитектурных решений фасадов и интерьеров высотных зданий. Разработанные в результате требования можно рекомендовать для внесения в СП 267.1325800, что будет актуально и своевременно, так как вопрос расчета панорамного остекления без устройства дополнительного ограждения поднимается почти в каждом проекте высотного здания. Это существенно поможет проектировщикам, которые в настоящее время, следуя п. 6.15. СП 267.1325800.2016, вынуждены брать на себя ответственность за принятые проектные решения, прорабатывая вопросы комплексной безопасности по своему усмотрению.

Кроме того, было бы целесообразно разработать отдельный ГОСТ по прочности стекла для высотных зданий, необходимость которого поднимается многими проектировщиками. Это актуально еще и потому, что на практике стекло все больше используется в качестве «конструкционного» материала.

**Список литературы**

1. Грыкалов Н.А. Стекло в градостроительных стратегиях // *Социология города*. 2013. № 4. С. 54–71.
2. Борискина И.В., Плотников А.А., Захаров А.В. Здания и сооружения со светопрозрачными фасадами и кровлями. СПб.: Инженерно-информационный Центр Оконных Систем, 2012. 396 с.
3. Спиридонов А.В., Шубин И.Л. Развитие светопрозрачных конструкций в России // *Светотехника*. 2014. № 3. С. 46–51.
4. Магай А.А., Семикин П.П. Инновационные технологии в остеклении фасадов высотных зданий // *Энергосовет*. 2012. № 4 (23). С. 48–51.
5. Плотников А.А. Архитектурно-конструктивные принципы и инновации в строительстве стеклянных зданий // *Вестник МГСУ*. 2015. № 11. С. 7–15.
6. Абрамян С.Г., Ишмаматов Р.Х. Устройство светопрозрачных покрытий современных зданий и соору-

**References**

1. Grykalov N.A. Glass in urban planning strategies. *Sotsiologiya goroda*. 2013. No. 4, pp. 54–71. (In Russian).
2. Boriskina I.V., Plotnikov A.A., Zakharov A.V. Zdaniya i sooruzheniya so svetoprozrachnymi fasadami i krovlyami [Buildings and structures with a translucent facades and roofs]. Sain Peterburg: Inzhenerno-informatsionnyi Tsentr Okonnykh Sistem, 2012. 396 p.
3. Spiridonov A.V., Shubin I.L. Development of translucent structures In Russia. *Svetotekhnika*. 2014. No. 3, pp. 46–51. (In Russian).
4. Magay A.A., Semikin P.P. Innovative technologies in glazing of facades of high-rise buildings. *Energosovet*. 2012. No. 4 (23), pp. 48–51. (In Russian).
5. Plotnikov A.A. Architectural design principles and innovations in the construction of glass buildings. *Vestnik MGSU*. 2015. No. 11, pp. 7–15. (In Russian).
6. Abramyan S.G., Ishmametov R.Kh. Ustroistvo svetoprozrachnykh pokrytii sovremennykh zdanii i sooruzhenii:

- жений: материалы и технологии. Волгоград: ВолгГТУ, 2017. 131 с.
7. Капустян Н.К., Климов А.Н., Антоновская Г.Н. Высотные здания: опыт мониторинга и пути его использования при проектировании // *Жилищное строительство*. 2013. № 11. С. 6–12.
  8. Николаев С.В., Травуш В.И., Табунщиков Ю.А., Колубков А.Н., Соломанидин Г.Г., Магай А.А., Дубынин Н.В. Нормативная база высотного строительства в России // *Жилищное строительство*. 2016. № 2. С. 3–6.
  9. Глазков Н.Л. Стекло для современной архитектуры: мода или прорыв в будущее? // *Архитектура и строительство России*. 2011. № 9. С. 26–34.
  10. Магай А.А., Зырянов В.С., Шалыгина Е.Ю. Значение специальных технических условий для проектирования высотных зданий // *Жилищное строительство*. 2015. № 11. С. 17–20.
  11. Глазков Н.Л. Стекло в архитектуре. Традиции, современные тенденции // *Архитектура и строительство России*. 2010. № 9. С. 10–17.
  12. Гагарин В.Г., Гувернюк С.В., Кубенин А.С. О достоверности компьютерных прогнозов при определении ветровых воздействий на здания и комплексы // *Жилищное строительство*. 2014. № 7. С. 3–8.
  13. Умнякова Н.П., Бутовский И.Н., Верховский А.А., Чеботарев А.Г. Требования к теплозащите наружных ограждающих конструкций высотных зданий // *Жилищное строительство*. 2016. № 12. С. 7–11.
  14. Николаев С.В., Магай А.А., Дубынин Н.В., Зырянов В.С. Перспективы развития нормативной базы высотного строительства в России // *Жилищное строительство*. 2016. № 12. С. 3–6.
- materialy i tekhnologii [Device translucent coatings of modern buildings and structures: materials and technologies]. Volgograd: VSTU. 2017. 131 p.
7. Kapustyan N.C., Klimov A.N., Antonovskaya G.N. High-rise buildings: experience of monitoring and ways of its use in planning. *Zhilishchnoe stroitel'stvo* [Housing construction]. 2013. No. 11, pp. 6–12. (In Russian).
  8. Nikolaev S.V., Travush V.I., Tabunshchikov Yu.A., Kolubkov A.N., Solomanidin G.G., Magay A.A., Dubynin N.V. The regulatory framework of high-rise construction in Russia residential construction. *Zhilishchnoe stroitel'stvo* [Housing construction]. 2016. No. 2, pp. 3–6. (In Russian).
  9. Glazkov N.L. Glass for contemporary architecture: a fashion or a breakthrough in the future? *Arkhitektura i stroitel'stvo Rossii*. 2011. No. 9, pp. 26–34. (In Russian).
  10. Magai A.A., Zyryanov V.S., Shalygina E.Y. The Value of special technical conditions for design of tall buildings. *Zhilishchnoe stroitel'stvo* [Housing construction]. 2015. No. 11, pp. 17–20. (In Russian).
  11. Glazkov N.L. Glass in architecture. Traditions, modern trends. *Arkhitektura i stroitel'stvo Rossii*. 2010. No. 9, pp. 10–17. (In Russian).
  12. Gagarin V.V., Guvernuk V.S., Kubenin A.S. About the reliability of computer forecasts in determining wind impacts on buildings and complexes. *Zhilishchnoe stroitel'stvo* [Housing construction]. 2014. No. 7, pp. 3–8. (In Russian).
  13. Umnyakova N.P., Butovsky I.N., Verkhovsky A.A., Chebotarev A.G. Requirements for thermal protection of external enclosing structures of high-rise buildings. *Zhilishchnoe stroitel'stvo* [Housing construction]. 2016. No. 12, pp. 7–11. (In Russian).
  14. Nikolaev S.V., Magay A.A., Dubynin N.V., Zyryanov V.C. Prospects of development of normative base of high-rise construction in Russia. *Zhilishchnoe stroitel'stvo* [Housing construction]. 2016. No. 12, pp. 3–6. (In Russian).

## Актуальные направления развития строительного материаловедения

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

### Тематика конференции

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

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

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

### Организаторы конференции:

**СТРОИТЕЛЬНЫЕ  
МАТЕРИАЛЫ®**

Научно-технический журнал  
«Строительные материалы»®



Архитектурно-строительный институт Уфимского  
государственного нефтяного технического университета

Заявки для участия принимаются по эл. почте [mail@rifsm.ru](mailto:mail@rifsm.ru), [svetlana6363@mail.ru](mailto:svetlana6363@mail.ru)  
**Менеджер проекта – зам. гл. редактора журнала «Строительные материалы»®**

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

Тел./факс: (499) 976-22-08, 976-20-36

[www.journal-cm.ru](http://www.journal-cm.ru) [www.rifsm.ru](http://www.rifsm.ru)

А.Н. ДАВИДЮК<sup>1</sup>, д-р техн. наук, директор; Д.И. КРАВЧЕНКО<sup>2</sup>, директор; С.В. НИКОЛАЕВ<sup>3</sup>, д-р техн. наук, научный руководитель (nikolaev@ingil.ru); А.И. СЕРДЮК<sup>2</sup>, инженер, Ю.Г. ХАЮТИН<sup>2</sup>, д-р техн. наук; А.К. ШРЕЙБЕР<sup>3</sup>, д-р техн. наук (nauka@ingil.ru); Б.В. ПРЫКИН<sup>4</sup>, д-р техн. наук

<sup>1</sup> 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)

<sup>2</sup> ООО «ИПЦ ИнтерАква» (127463, г. Москва, ул. Севанская, 5, корп. 1)

<sup>3</sup> АО «ЦНИИЭП жилища – Институт комплексного проектирования жилых и общественных зданий» (АО «ЦНИИЭП жилища») (127434, г. Москва, Дмитровское ш., 9, стр. 3)

<sup>4</sup> Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (129337, г. Москва, Ярославское ш., 26)

## Применение вспененного этиленвинилацетата в сопряжениях элементов строительных конструкций

В жилищно-гражданском, промышленном и дорожном строительстве серьезной проблемой остается надежное выполнение технологических и деформационных швов в конструкциях. Вспененный этиленвинилацетат (ЭВА) за счет высокой растяжимости и прочности при разрыве обеспечивает надежное устройство деформационных швов и шпонок, что подтверждено возведением и ремонтом разнообразных подземных конструкций, а также эксплуатируемых кровель, паркингов и других сооружений. Отмечено, что физико-механические и физико-химические характеристики ЭВА существенно меняются в зависимости от содержания в нем мономера винилацетата (в диапазоне 10–40%). С увеличением содержания винилацетата повышается стойкость ЭВА к техническим смазкам, автомобильным маслам, бензину, растворителям и кислотам с высокой концентрацией, что позволяет рекомендовать их применение на предприятиях нефтепереработки, для канализационных сооружений, химической промышленности и др. Успешно используются шпонки ЭВА в качестве уплотнителей при установке дверных и оконных блоков на балконах и террасах для обеспечения не только гидроизоляционной защиты, но и звуко- и теплоизоляции. Показана возможность применения вспененного ЭВА для изготовления специальных вкладышей, герметизирующих вводы инженерных коммуникаций в помещениях, через ограждающие конструкции, в том числе подземные. Такие вкладыши можно устанавливать в опалубку стен перед их возведением либо же в проем, организованный в существующей конструкции. В теле вкладышей предусмотрены пазы (полости) для последующего инъектирования в них гидроактивной полиуретановой смолы. Такое решение обеспечивает долгосрочную надежную гидроизоляцию вводов.

**Ключевые слова:** вспененный этиленвинилацетат, деформационный шов, шпонки, ремонт, герметизация, уплотнитель, гидроизоляция.

**Для цитирования:** Давидюк А.Н., Кравченко Д.И., Николаев С.В., Сердюк А.И., Хаютин Ю.Г., Шрейбер А.К., Прыкин Б.В. Применение вспененного этиленвинилацетата в сопряжениях элементов строительных конструкций // *Строительные материалы*. 2018. № 9. С. 80–83. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-763-9-80-83>

A.N. DAVIDUK<sup>1</sup>, Doctor of Sciences (Engineering) Director; D.I. KRAVCHENKO<sup>2</sup>, Director; S.V. NIKOLAEV<sup>3</sup>, Doctor of Sciences (Engineering), Head of Research (nikolaev@ingil.ru); A.I. SERDYUK<sup>2</sup>, Engineer, Yu.G. KHAYUTIN<sup>2</sup>, Doctor of Sciences (Engineering); A.K. SHREIBER<sup>3</sup>, Doctor of Sciences (Engineering); B.V. PRYKIN<sup>4</sup>, Doctor of Sciences (Engineering)

<sup>1</sup> Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction (NIIZHB) (6, 2nd Institutskaya Street, Moscow, 109428, Russian Federation)

<sup>2</sup> ООО «ИПЦ ИнтерАква» (5, bldg. 1, Sevanskaya Street, 127463, Moscow, Russian Federation)

<sup>3</sup> JSC «TSNIEP zhilishcha» – Institute for Complex Design of Residential and Public Buildings (JSC «TSNIEP zhilishcha») (9, bldg. 3, Dmitrovskoye Shosse, Moscow, 127434, Russian Federation)

<sup>4</sup> National Research Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslavl Highway, Moscow, 129337, Russian Federation)

### The Use of Foamed Ethylene Vinyl Acetate in Connections of Elements of Building Structures

In housing and civil, industrial and road construction, a serious problem is the reliable execution of technological and deformation joints in structures. Foamed ethylene vinyl acetate (EVA) due to its high tensility and tensile strength provides a reliable arrangement of deformation joints and dowels, which is confirmed by the construction and repair of a variety of underground structures, as well as operated roofs, parking lots and other structures. It is noted that the physical-mechanical and physical-chemical characteristics of EVA vary significantly depending on the content of vinyl acetate monomer (in the range of 10–40%). With the increase in the content of vinyl acetate, the resistance of EVA to technical lubricants, motor oils, gasoline, solvents and acids with a high concentration increases that makes it possible to recommend their use at oil refineries, for sewage facilities, chemical industry, etc. EVA dowels are successfully used as seals when installing door and window blocks on balconies and terraces to provide not only waterproofing protection, but also sound and thermal insulation. The possibility of using foamed EVA for the manufacture of special inserts sealing the inputs of utilities in the premises through the enclosing structures, including underground ones, is shown. Such inserts can be installed in the formwork of the walls before their construction, or in the opening organized in the existing structure. In the body of the inserts, grooves (cavities) are provided for the subsequent injection of a hydro-active polyurethane resin into them. This solution provides long-term reliable waterproofing of inputs.

**Keywords:** foamed ethylene vinyl acetate, deformation joint, dowel, repair, sealing, compactor, waterproofing.

**For citation:** Daviduk A.N., Kravchenko D.I., Nikolaev S.V., Serdyuk A.I., Khayutin Yu.G., Shreiber A.K., Prykin B.V. The use of foamed ethylene vinyl acetate in connections of elements of building structures. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 9, pp. 80–83. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-763-9-80-83> (In Russian).

Энергичные усилия ученых-химиков позволили разработать и освоить промышленное производство перспективного материала — вспененного этиленвинилацетата (ЭВА), нашедшего достаточно широкое применение при изготовлении изделий разнообразного назначения — обуви, спортивного инвентаря, кабельной продукции, детских игрушек и пр.

Высокие показатели технических свойств ЭВА [1–4] по эластичности, звукоизоляции и теплоизоляции, а главное, по водонепроницаемости делают этот материал крайне перспективным для выполнения сопряжений разнообразных элементов строительных конструкций с различными коэффициентами температурного расширения (бетон, металл, дерево и пр.).

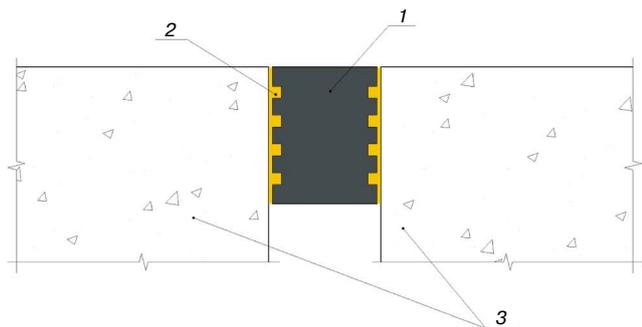


Рис. 1. Герметизация деформационного шва шпонкой из ЭВА: 1 – шпонка; 2 – эпоксидный компаунд; 3 – сопрягаемые конструкции

Наличие технологических и деформационных швов в конструкциях, как правило, связано с возникновением многочисленных протечек. Устаревшие технические решения по уплотнению деформационных швов [5], предусматривающие установку в них прокладок из просмоленных или обернутых листовым гидроизоляционным материалом досок, заполнение битумными мастиками, пенополистиролом, монтажной пеной, паклей и пр. являются малоэффективными и недолговечными [6–12].

Широко распространено применение разнообразных типов полимерных шпонок (в том числе из ПВХ), устанавливаемых в швы перед бетонированием [13–14]. Обычно такие изделия имеют анкерные зоны, по границам которых через неуплотненный бетон зачастую возникают протечки. При низких температурах эти шпонки становятся жесткими, что значительно осложняет их качественную установку.

В ряде случаев для герметизации швов применяют эластичные ленты или профили, приклеиваемые к поверхностям уже готовых конструктивов [13–14]. При использовании таких решений необходимо обеспечить особо тщательную подготовку поверхности сопряга-

емых элементов, при этом она должна быть сухой. Эта технология не подходит для использования на внутренних поверхностях заглубленных сооружений. Как ПВХ шпонки, так и приклеиваемые ленты не могут воспринимать деформации одновременно в трех направлениях, возникающие в Т- и Х-образных соединениях, а также в углах при переходе с горизонтальной плоскости на вертикальную и наоборот. Кроме того, на непрямолинейных участках (дуга или окружность) применение вышеописанных решений крайне затруднительно.

Совокупность физико-механических характеристик ЭВА позволила разработать систему надежной герметизации таких швов [15], СТО 1167 0666-005–2013 для разнообразных зданий и сооружений в гражданском, промышленном и дорожном строительстве.

В отличие от традиционных способов установка в деформационные швы герметизирующих шпонок из ЭВА (рис. 1) обеспечивает их длительную работоспособность в различных климатических условиях. Они сохраняют свои свойства в диапазоне температуры от -50 до +90°C и не стареют под воздействием ультрафиолетового излучения.

Применяемые для герметизации деформационных швов шпонки ЭВА имеют растяжимость от 65 до 210% и условную прочность при разрыве  $\sigma=0,2-0,3$  МПа. Такие характеристики установлены по упрощенной методике испытаний СТО 11670666-005–2013, приближенной к реальным условиям работы шпонок. Эта методика предусматривает испытание на растяжение образцов, имитирующих фрагмент шва (рис. 2). Образцы представляют собой пары бетонных кубиков [2] с вклеенными между ними фрагментами шпонки [4]. Образец равномерно растягивают вплоть до его разрушения. В ходе испытаний фиксируется максимальное усилие растяжения  $N_{max}$ , предшествующее разрыву шпонки, а также соответствующие этому усилию абсолютные деформации удлинения  $\Delta l$ . Предельную прочность на растяжение определяют по формуле:

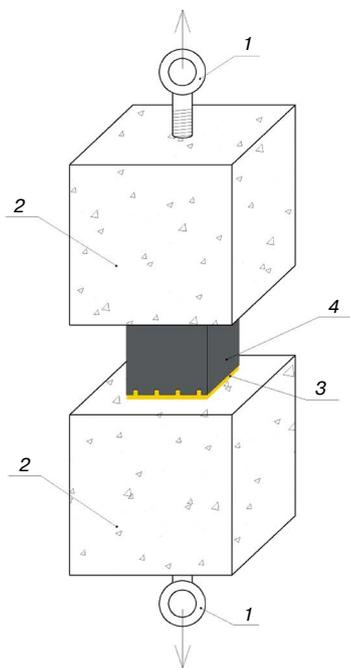


Рис. 2. Образец для испытаний шпонки из ЭВА: 1 – шпилька стальная диаметром 8–12 мм; 2 – куб бетонный 100×100×100 мм; 3 – эпоксидный компаунд; 4 – герметизирующая шпонка

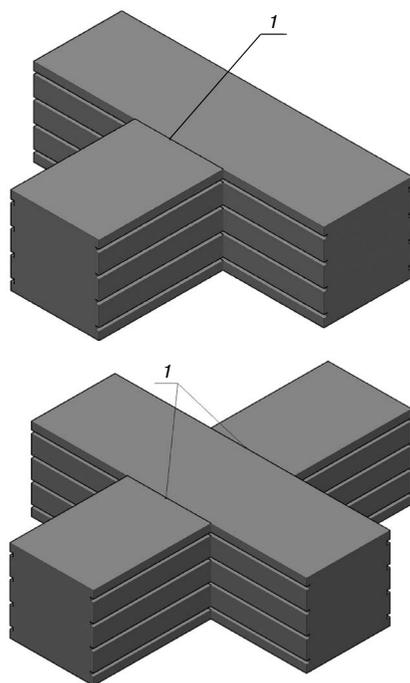


Рис. 3. Примеры угловых и Х-образных пересечений шпонок из ЭВА

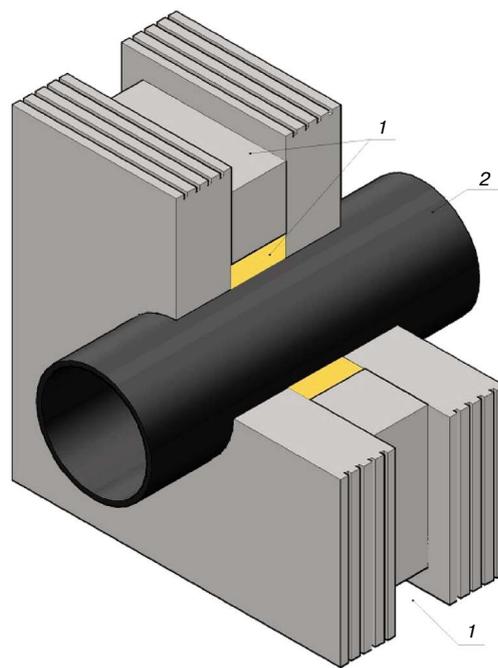


Рис. 4. Вкладыш для проходок инженерных коммуникаций: 1 – пазы (полости); 2 – гильза

$$\sigma = \frac{N_{max}}{axb} 100\%,$$

где  $N_{max}$  – максимальное усилие растяжения;  $a, b$  – размеры поперечного сечения образца шпонки. Предельную относительную деформацию растяжения определяют по формуле:

$$\delta = \frac{\Delta l}{l} 100\%,$$

где  $\Delta l$  – абсолютное удлинение образца шпонки;  $l$  – начальная длина (высота) образца.

Успешное применение шпонок из ЭВА во многом объясняется эффектом «памяти формы» этиленвинилацетата [2]. Этот эффект определяется способностью восстановления первоначальных геометрических размеров изделий из ЭВА после снятия применяемой к ним нагрузки, вызвавшей начальную деформацию («гесовегу»). Ширина шпонок ЭВА, устанавливаемых в швы между сопряженными конструктивными элементами, должна превышать их раскрытие на момент установки.

Установку шпонки в шов производят при ее предварительном сжатии с помощью простейшей оснастки. Шпонку закрепляют в шве на эпоксидный компаунд. Требуется предварительная надлежащая очистка боковых поверхностей швов. Это обеспечивает надежное сопряжение уплотняемых элементов при раскрытии шва в случаях перепадов эксплуатационной температуры либо при механических деформациях сооружения. Важно отметить, что существующие эпоксидные компаунды позволяют приклеивать ЭВА на влажное основание или при отрицательной температуре воздуха и сопрягаемых элементов.

Шпонка из ЭВА может воспринимать деформации одновременно во всех плоскостях. Это позволяет устанавливать ее на криволинейных участках сопряжений, в зонах изменения направления швов. Пересечения

T-образной и X-образной форм (рис. 3) образуют с помощью термической сварки (обычным термоножом). При этом место соединения  $l$  остается таким же эластичным, как и само изделие.

Гидроизоляция деформационных швов с помощью шпонок ЭВА успешно реализована при возведении и ремонте разнообразных подземных конструкций, на эксплуатируемых кровлях, паркингах и пр.

Физико-механические и физико-химические характеристики ЭВА существенно меняются в зависимости от содержания в нем мономера винилацетата (в диапазоне 10–40%). С увеличением содержания винилацетата повышается стойкость ЭВА к техническим смазкам, автомобильным маслам, бензину, растворителям и кислотам с высокой концентрацией. Это позволяет рекомендовать их применение на предприятиях нефтепереработки, для канализационных сооружений, химической промышленности и др.

Имеется успешный опыт использования шпонок ЭВА в качестве уплотнителей при установке дверных и оконных блоков на балконах и террасах. В этом случае вспененный ЭВА обеспечивает не только гидроизоляционную защиту, но также звуко- и теплоизоляцию.

Представляется перспективным применение вспененного ЭВА для изготовления специальных вкладышей (рис. 4), герметизирующих вводы инженерных коммуникаций в помещения, через ограждающие конструкции, в том числе подземные. Такие вкладыши можно устанавливать в опалубку стен перед их возведением либо же в проем, организованный в существующей конструкции. В теле вкладышей предусмотрены пазы (полости) для последующего инъецирования в них гидроактивной полиуретановой смолы. Наличие таких пазов  $l$  позволяет гарантированно распределить инъецируемый материал как по периметру собственно вкладыша, так и по поверхности установленной в него гильзы 2. Такое решение обеспечивает долгосрочную надежную гидроизоляцию вводов.

#### Список литературы

1. Дыляев Н.С., Гольцова О.Б. Анализ физико-механических характеристик и сферы применения этиленвинилацетата. *Сб. трудов «VI Всероссийская научно-техническая конференция «Молодые ученые – ускорению научно-технического прогресса в XXI веке»*. Ижевск, 2016. С. 582–584.
2. Кербер М.Л., Виноградов В.М. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология. СПб.: Профессия, 2011. 560 с.
3. Волдржих Ф. Деформационные швы в конструкциях наземных зданий. Прага, 1976. С. 181–206.
4. Плетнёв В.И., Нгуен С.Т. Экспериментальное исследование деформационных швов различной ширины в перемычках зданий сложной макроструктуры // *Вестник гражданских инженеров*. 2011. № 1. С. 55–57.
5. Вишняков Ю.В., Овчаренко Р.О., Рытова И.А. Раскрытие деформационных швов в стенах зданий из силикатного кирпича // *Строительная механика и расчет сооружений*. 2014. № 2 (253). С. 10–13.
6. Бабаев Н.С., Молотков Г.С., Швец М.С. Определение причин неравномерной осадки фундаментов зданий по характерным трещинам в деформированных стенах // *Труды Кубанского государственного аграрного университета*. 2017. № 64. С. 203–214.
7. Маштакова К.В., Мохонько Я.Ю., Яковлева К.С. Классификация деформационных швов в бетонных полах // *Новая наука: от идеи к результату*. 2016. № 10–2. С. 19–22.

#### References

1. Delaew N.S., Gol'tsova O.B. Analysis of physical and mechanical characteristics and scope of ethylene vinyl acetate. *Papers of the All-Russian scientific and technical conference "Young scientists-accelerating scientific and technological progress in the XXI century"*. Izhevsk. 2016, pp. 582–584. (In Russian).
2. Kerber M.L., Vinogradov V.M. Polimernye kompozitsionnye materialy: struktura, svoystva, tekhnologiya [Polymeric composite materials: structure, properties, technology]. Saint Peterburg: Professiya. 2011. 560 p.
3. Voldrich F. Deformatsionnye shvy v konstruktivnykh nazemnykh zdaniy [Expansion joints in the construction of ground buildings]. Praga. 1976, pp. 181–206.
4. Pletnev V.I., Nguyen C.T. Experimental study of deformation joints of different widths in the jumpers of buildings of complex macrostructure. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*. 2011. No. 1, pp. 55–57. (In Russian).
5. Vishnyakov Yu.V., Ovcharenko R.O., Rytova I.A. opening of expansion joints in the walls of buildings made of silicate brick. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzhenii*. 2014. No. 2 (253), pp. 10–13. (In Russian).
6. Babayev N.C., Molotkov G.S., Shvets M.S. determination of the causes of uneven precipitation of the foundations of buildings on the characteristic cracks in the deformed walls. *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2017. No. 64, pp. 203–214. (In Russian).
7. Mashtakova K.V., Mokhonko Ya.Yu., Yakovleva K.S. Classification of deformation seams in concrete floors. *Novaya nauka: Ot idei k rezul'tatu*. 2016. No. 10–2, pp. 19–22. (In Russian).

8. Серикхалиев С.Б., Зимин С.С., Орлович Р.Б. Дефекты защитно-декоративной кирпичной облицовки фасадов каркасных зданий // *Строительство уникальных зданий и сооружений*. 2014. № 5 (20). С. 28–38.
9. Колчунов В.И., Ключева Н.В., Бухтиярова А.С. Сопrotивление пространственных узлов сопряжения железобетонных каркасов многоэтажных зданий при запроектных воздействиях // *Строительство и реконструкция*. 2011. № 5. С. 21–32.
10. Николаев С.В., Шрейбер А.К., Хаютин Ю.Г. Инновационные системы каркасно-панельного домостроения // *Жилищное строительство*. 2014. № 5. С. 3–5.
11. Николаев С.В., Шрейбер А.К., Этенко В.П. Панельно-каркасное домостроение – новый этап развития КПД // *Жилищное строительство*. 2015. № 2. С. 3–7.
12. Николаев С.В., Сердюк А.И., Хаютин Ю.Г., Шрейбер А.К. О назначении нормативных характеристик композитных материалов для усиления строительных конструкций внешним армированием // *Строительные материалы*. 2018. № 7. С. 8–11. DOI: 10.31659/0585-430X2018-761-7-8-11
13. Кубал Майкл Т. Гидроизоляция зданий и конструкций. М.: Техносфера, 2012. 600 с.
14. Шилин А.А., Зайцева М.В., Золотарев И.А., Ляпидевская О.Б. Гидроизоляция подземных и заглубленных сооружений при строительстве и ремонте. Тверь, 2003. С. 367–377.
15. Хаютин Ю.Г., Кравченко Д.И. Новая технология гидроизоляции деформационных швов // *Бетон и железобетон*. 2014. № 5. С. 15–16.
8. Sheikhaliev S.B., Zimin S.S., Orlovich R.B. Defects protectively-decorative brick facing of facades of buildings. *Stroitel'stvo unikal'nykh zdaniy i sooruzheniy*. 2014. No. 5 (20), pp. 28–38. (In Russian).
9. Kolchunov V.I., Klyueva N.V., Bukhtiyarova A.S. Resistance of spatial junctions of reinforced concrete frameworks of multi-storey buildings under beyond-design impacts. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*. 2011. No. 5, pp. 21–32. (In Russian).
10. Nikolaev S.V., Schreiber A.K., Khayutin Y.G. Innovative system of frame and panel construction. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2014. No. 5, pp. 3–5. (In Russian).
11. Nikolaev S.V., Schreiber A.K., Etenko V.P. Panel-frame house-building-a new stage in the development of efficiency. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2015. No. 2, pp. 3–7. (In Russian).
12. Nikolaev S.V., Serdyuk A.I., Khayutin Yu.G., Schreiber A.K. about appointment of standard characteristics of composite materials for strengthening of building structures by external reinforcement. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 7, pp. 8–11. DOI: 10.31659/0585-430X2018-761-7-8-11. (In Russian).
13. Kubal Michael T. *Gidroizolyaciya zdaniy i konstrukciy* [Waterproofing of buildings and structures]. Moscow: Technosfera. 2012. 600 p.
14. Shilin A.A., Zaitseva M.V., Zolotarev I.A., Lyapidevskaya O.B. *Gidroizolyatsiya podzemnykh i zaglublennykh sooruzheniy pri stroitel'stve i remonte* [Waterproofing of underground and buried structures during construction and repair]. Tver, 2003, pp. 367–377.
15. Khayutin Yu.G., Kravchenko D.I. New technology of deformation joints waterproofing. *Beton i zhelezobeton*. 2014. No. 5, pp. 15–16. (In Russian).

**ИНФОРМАЦИЯ**

## Владимир Якушев возглавил Технический комитет по стандартизации «Строительство»

Министр строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ Владимир Якушев назначен председателем Технического комитета по стандартизации «Строительство» (ТК 465). Соответствующие изменения внесены в Приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии «О техническом комитете по стандартизации «Строительство» (Росстандарт).

Технический комитет по стандартизации ТК 465 «Строительство» создан в октябре 2004 г. и является объединением заинтересованных предприятий и организаций, представителей органов исполнительной власти, которое создано на добровольной основе в целях организации и проведения работ по национальной, региональной и международной стандартизации в области строительства. В настоящее время в состав ТК «Строительство» входит 191 организация.

Целью деятельности ТК 465 является реализация Федерального закона № 184-ФЗ «О техническом регулировании», смежных с ним законодательных актов, принятых технических регламентов, а также содействие повышению эффективности работ по стандартизации на национальном и международном уровнях.

Среди задач комитета: организация разработки национальных и межгосударственных стандартов в строительном комплексе и подготовка их к утверждению в Росстандарте, организация экспертизы проектов национальных, межгосударственных и международных стандартов, строительных норм и правил,

сводов правил, стандартов организаций, зарубежных стандартов и сводов правил и других документов в области стандартизации, осуществление сотрудничества с национальными и зарубежными техническими комитетами в смежных областях деятельности.

Комитет принимает активное участие в работе технических комитетов Международной организации по стандартизации ИСО, Евразийского совета по стандартизации, метрологии и сертификации и Межгосударственной научно-технической комиссии по стандартизации, техническому нормированию и сертификации в строительстве (МНТКС), созданной при Межправительственном совете по сотрудничеству в строительной деятельности, других технических комитетов международных и региональных и зарубежных организаций по стандартизации по профилю деятельности ТК.

Кроме того, ТК 465 участвует в разработке межгосударственных и международных стандартов и предложений относительно позиции Российской Федерации для голосования по проектам международных и региональных организаций по стандартизации и т.д.

Работает комитет на базе подведомственного Минстрою России Федерального центра стандартизации, нормирования и технической оценки соответствия в строительстве (ФАУ «ФЦС»).

**По материалам Минстрою РФ**

# Как подготовить к публикации научно-техническую статью



Журнальная научно-техническая статья – это сочинение небольшого размера, что само по себе определяет границы изложения темы статьи.

Необходимыми элементами научно-технической статьи являются:

- постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими задачами;
- анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и на которые опирается автор, выделение ранее не решенных частей общей проблемы, которым посвящена статья;
- формулирование целей статьи (постановка задачи);
- изложение основного материала исследования с полным обоснованием полученных результатов;
- выводы из данного исследования и перспективы дальнейшего поиска в избранном направлении.

Научные статьи рецензируются специалистами. Учитывая открытость журнала «Строительные материалы»® для ученых и исследователей многих десятков научных учреждений и вузов России и СНГ, представители которых не все могут быть представлены в редакционном совете издания, желательно представлять одновременно со статьей отношение ученого совета организации, где проведена работа, к представляемому к публикации материалу в виде сопроводительного письма или рекомендации.

Библиографические списки цитируемой, использованной литературы должны подтверждать следование автора требованиям к содержанию научной статьи.

### 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 (ссылки на авторефераты диссертаций не допускаются).
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 отраслевых 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.

Статьи, направляемые для опубликования, должны оформляться в соответствии с техническими требованиями изданий:

- текст статьи должен быть набран в редакторе Microsoft Word и сохранен в формате \*.doc, \*.docx или \*.rtf и не должен содержать иллюстраций;
- 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 импортирование 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 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. Иллюстративный материал должен быть передан в виде оригиналов фотографий, негативов или слайдов, распечатки файлов.

В 2006 г. в журнале «Строительные материалы»® был опубликован ряд статей «Начинающему автору», ознакомиться с которыми можно на сайте издательства [www.rifsm.ru/files/avtoru.pdf](http://www.rifsm.ru/files/avtoru.pdf)

Подробнее можно ознакомиться с требованиями на сайте журнала <https://journal-cm.ru/index.php/ru/avtoram>



# КОМПОЗИТ-ЭКСПО

Двенадцатая международная специализированная выставка

23 - 25 апреля  
2019

Москва, ЦВК «Экспоцентр», пав. 1

## Основные разделы выставки:

- Сырье для производства композитных материалов, компоненты: смолы, добавки, термопластики, углеродное волокно и т.д.
- Наполнители и модификаторы
- Стеклопластик, углепластик, графитопластик, базальтопластик, базальтовые волокна, древесно-полимерный композит (ДПК), т.д.
- Полуфабрикаты (препреги)
- Промышленные (готовые) изделия из композитных материалов
- Технологии производства композитных материалов со специальными и заданными свойствами
- Оборудование и технологическая оснастка для производства композитных материалов
- Инструмент для обработки композитных материалов
- Измерительное и испытательное оборудование
- Сертификация, технический регламент
- Компьютерное моделирование
- Утилизация

Специальный раздел выставки:  
**КЛЕИ И ГЕРМЕТИКИ**



Параллельно проводится выставка:  
**ПОЛИУРЕТАНЭКС**  
11-я международная специализированная выставка  
www.polyurethanex.ru



## Информационная поддержка:



## Дирекция:

Выставочная Компания «Мир-Экспо»  
115230, Россия, Москва, Хлебозаводский проезд, дом 7, строение 10, офис 507  
Тел.: 8 495 988-1620 | E-mail: info@composite-expo.ru | Сайт: www.composite-expo.ru

**YouTube** youtube.com/user/compoexporusia **Twitter** @compoexporus

## Организаторы:



# ПОЛИУРЕТАНЭКС

Одиннадцатая международная специализированная выставка

23 - 25 апреля  
2019

Москва, ЦВК «Экспоцентр», пав. 1

## Основные разделы выставки:

- Сырье для производства полиуретанов (добавки, красители, катализаторы, наполнители, и т.д.)
- Оборудование и станки для производства и переработки полиуретанов (расходомерия, шестереночные, оседагональные (шнековые), шлепперные насосные установки, обрабатывающие станки, и т.д.)
- Конечная продукция (контактное уплотнение при литье, фильтры и т.д.)
- Услуги (лабораторные испытания, охрана здоровья и безопасность, переработка, защита окружающей среды, научные разработки)
- Техническое обслуживание оборудования
- Тестовое оборудование

Специальный раздел выставки:  
**КЛЕИ И ГЕРМЕТИКИ**



Параллельно проводится выставка:  
**КОМПОЗИТ-ЭКСПО**  
12-я международная специализированная выставка  
www.composite-expo.ru



## Информационная поддержка:



## Дирекция:

Выставочная Компания «Мир-Экспо»  
115230, Россия, Москва, Хлебозаводский проезд, дом 7, строение 10, офис 507  
Тел.: 8 495 988-1620 | E-mail: info@polyurethanex.ru | Сайт: www.polyurethanex.ru

**YouTube** youtube.com/user/polyexporus **Twitter** @polyexporus

## Организатор:



# masa

Milestone to your success.

## Наши решения – Ваш успех



[www.masa-group.com](http://www.masa-group.com)

Фирма «Маза» предлагает отдельные машины и участки производственных линий, а также установки «под ключ» для промышленного производства строительных материалов: мелкоформатных бетонных изделий, бордюрного камня, декоративных плит мощения, силикатного кирпича, газобетонных изделий.

Фирма «Маза» осуществляет разработку индивидуальных технических решений, проектирование, изготовление оборудования, его монтаж и ввод в эксплуатацию. Наш Клиент сможет оценить все преимущества работы с поставщиком, производителем и ответственным партнером в одном лице.

Masa GmbH  
Masa-Str. 2  
56626 Andernach  
Germany  
Phone +49 2632 9292 0  
Service Hotline +49 2632 9292 88

Masa GmbH  
Porta Westfalica  
Osterkamp 2  
32457 Porta Westfalica  
Germany  
Phone +49 5731 680 0

Маза-Москва  
Ср. Тишинский пер., 28, офис 220  
123557 РФ, Москва  
Тел. +7 495 23251 27  
Факс +7 495 23251 28  
[info@masa.ru](mailto:info@masa.ru)

[info@masa-group.com](mailto:info@masa-group.com)  
[service@masa-group.com](mailto:service@masa-group.com)  
[www.masa-group.com](http://www.masa-group.com)

Masa - made in Germany.

