

Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]

ISSN 0585-430X (Print)

ISSN 2658-6991 (Online)

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ[®] № 3



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ ИЗДАЕТСЯ С 1955 г. WWW.RIFSM.RU WWW.JOURNAL-CM.RU МАРТ 2022 г. (800)

PROGRESS GROUP

— ГЛОБАЛЬНЫЕ РЕШЕНИЯ —
ДЛЯ ИНДУСТРИИ СБОРНОГО
ЖЕЛЕЗОБЕТОНА —



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

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ®

№ 3

Основан в 1955 г.

(800) Март 2022 г.

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

Индустриальное домостроение

В.Ю. ГУРИНОВИЧ, Д.А. ПОЗДНЯКОВ, С.Н. ЛЕОНОВИЧ

Мониторинг работы и определение оптимальных технологических параметров линий циркуляции паллет 4

**Белгородское решение – железобетонные плиты перекрытий из керамзитобетона,
изготавливаемые по стендовой безопалубочной технологии (Информация) 10**

**Специализированная компания по производству нестандартных сборных элементов KLAUS
выбирает индивидуальные решения для автоматизации (Информация) 12**

Н.Н. ЧЕРНОУСОВ, Б.А. БОНДАРЕВ, В.А. СТУРОВА, А.Б. БОНДАРЕВ, А.А. ЛИВЕНЦЕВА

Прогнозирование характера деформирования изгибаемых шлакобетонных элементов 15

**Производство крупнопанельных элементов и модулей для домостроения –
кассетная технология «Бабочка» (Информация) 25**

А.В. КУРШПЕЛЬ, В.Х. КУРШПЕЛЬ

Влияние стекловолоконных сеток в защитном слое бетона на несущую способность изгибаемых элементов. . . . 27

ЭДУАРДО А. ВИЛЛЕН САЛАН, МУХАММАД К. РАХМАН, САМИ Аль-ГАМДИ,
ДЖИХАД САКР, МЕСФЕР М. Аль-ЗАХРАНИ, АНТОНИО НАННИ

Крупнейший отводной канал в Саудовской Аравии. 32

Современный газобетон

VI Международная научно-практическая конференция «Современный автоклавный газобетон» (Информация) . . . 42

А.А. СЕМЁНОВ

Итоги развития российского рынка стеновых материалов в 2021 г. 44

П.П. ПАСТУШКОВ

**Новые результаты и методические наработки по исследованиям теплопроводности
автоклавного ячеистого бетона современного производства 46**

Материалы и технологии

С.М. НЕЙМАН

Перспективные научные направления для развития хризотилцементной отрасли России. 51

Г.С. СЛАВЧЕВА, И.И. АКУЛОВА

**Определение первоочередных направлений повышения качества и конкурентоспособности
строительных материалов: методика и алгоритм 56**

С.Л. МАМУЛАТ, В.В. БАБКОВ, Э.М. ДАВЫДОВ, В.В. КОГАН, Д.В. КУЗНЕЦОВ,
А.Н. РЯЗАНОВ, Д.А. СЕНИЦИН, Р.Н. ФАТКУЛЛИН

**Анализ состава, свойств и перспективы применения минерального продукта содового производства
АО «Башкирская содовая компания» для изготовления энергоэффективных вяжущих. 61**

Е.А. СЕНИЦИНА, Т.В. ПЕЧЕНКИНА, Л.Н. ЛОМАКИНА, О.С. ДОРОФЕЕВА, И.В. НЕДОСЕКО

**Технология фильтрационного прессования в производстве кровельных
и облицовочных изделий повышенной прочности и долговечности 74**

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

Founder of the journal: «STROYMATERIALY»
Address: 1, 9 Bldg. 1, Chernyakhovskogo Street,
Moscow, 125319, Russian Federation
Publisher: «STROYMATERIALY»
Advertising-Publishing Firm, OOO
Address: 1, 9 Bldg. 1, Chernyakhovskogo Street,
Moscow, 125319, Russian Federation
Registration certificate PI № 77-1989
ISSN 0585-430X (Print) ISSN 2658-6991 (Online)
Included in the list of journals of the Higher
Attestation Commission (Russia), Russian Science
Citation Index on the platform Web of Science
Editorial address: 9/3 Dmitrovskoye Highway,
127434, Moscow, Russian Federation

Monthly scientific-technical and industrial journal

STROITEL'NYE MATERIALY®

№ 3

Founded in 1955 (800) March 2022

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

Prefabricated construction

V.Yu. GURINOVICH, D.A. POZDNIAKOV, S.N. LEONOVICH

Monitoring of Operation and Determination of Optimal Technological Parameters of Pallet Circulation Lines 4

**Belgorod Solution – Reinforced Concrete Floor Slabs Made of Expanded Clay Concrete,
Manufactured According to Bench Formless Technology (Information) 10**

**Specialized Company for the Production of Non-Standard Prefabricated Elements KLAUS
Selects Individual Solutions for Automation (Information) 12**

N.N. CHERNOUSOV, B.A. BONDAREV, V.A. STUROVA, A.B. BONDAREV, A.A. LIVENTSEVA
Prediction of the Nature of Deformation of Bent Slag Concrete Elements 15

**Production of Large-Panel Elements and Modules for Housing Construction –
Cassette Technology "Butterfly" (Information) 25**

A.V. KURSHPEL, V.Kh. KURSHPEL
The Effect of Fiberglass Nets in the Protective Layer of Concrete on the Bearing Capacity of the Bendable Elements 27

EDUARDO A. VILLEN SALAN, MUHAMMAD K. RAHMAN, SAMI AI-GAMDI,
JIHAD SAKR, MESFER M. AI-ZAKHRANI, ANTONIO NANNI
A Monumental Flood Mitigation Channel in Saudi Arabia 32

Modern autoclaved cellular concrete

VI International Scientific-Practical Conference "Modern Autoclaved Aerated Concrete" (Information) 42

A.A. SEMENOV
Results of the Development of the Russian Wall Materials Market in 2021 44

P.P. PASTUSHKOV
**New Results and Methodological Developments on Thermal Conductivity Research
of Autoclaved Aerated Concrete of Modern Production 46**

Materials and technologies

S.M. NEYMAN
Promising Scientific Directions for the Development of the Chrysotile Cement Industry in Russia 51

G.S. SLAVCHEVA, I.I. AKULOVA
**Priority Directions Determination for Increasing Building Materials Competitiveness and Quality:
Methodology and Algorithm 56**

S.L. MAMULAT, V.V. BABKOV, E.M. DAVYDOV, V.V. KOGAN, D.V. KUZNETSOV,
A.N. RYAZANOV, D.A. SINITSYN, R.N. FATKULLIN
**Analysis of the Composition, Properties and Prospects of Application of the Mineral Product
of Soda Production of Bashkir Soda Company JSC for the Manufacture of Energy-Efficient Binders 61**

E.A. SINITSINA, T.V. PECHENKINA, L.N. LOMAKINA, O.S. DOROFEEVA, I.V. NEDOSEKO
Filter Pressing Technology in the Production of Roofing and Facing Products with Increased Strength and Durability 74

Главный редактор:

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

Председатель редакционного совета:

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

АЙЗЕНШТАДТ А.М.,
д-р хим. наук, профессор (Архангельск)

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

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

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

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

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

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

КОТЛЯР В.Д.,
д-р техн. наук, профессор (Ростов-на-Дону)

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

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

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

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

НЕДОСЕКО И.В.,
д-р техн. наук (Уфа)

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

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

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

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

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

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

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

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

ШЛЕГЕЛЬ И.Ф.,
канд. техн. наук (Омск)

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

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

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

Editor-in-chief

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

Chairman of Editorial Board

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

AYZENSHTADT A.,
Doctor of Sciences (Chemistry), Professor (Arkhangelsk)

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

BURYANOV A.,
Doctor of Science (Engineering), Director of the Russian Association of gypsum (Moscow)

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

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

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

KOROLEV E.,
Doctor of Science (Engineering), Professor (St. Petersburg)

KOTLYAR V.,
Doctor of Science (Engineering), Professor (Rostov-on-Don)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

В.Ю. ГУРИНОВИЧ¹, инженер, старший преподаватель;
Д.А. ПОЗДНЯКОВ², инженер;
С.Н. ЛЕОНОВИЧ^{1, 3}, д-р техн. наук, профессор, иностранный академик РААСН

¹ Белорусский национальный технический университет (220013, г. Минск, пр. Независимости, 65)

² Республиканское унитарное предприятие «Институт жилища – НИПТИС им. Атаева С.С.» (220076, г. Минск, ул. Ф. Скорины, 15)

³ Qingdao University of Technology (266033, China, 11 Fushun Rd, Qingdao)

Мониторинг работы и определение оптимальных технологических параметров линий циркуляции паллет

В ходе реконструкции, модернизации и технического перевооружения ряд предприятий крупнопанельного домостроения (далее – КПД) перешел на выпуск изделий КПД новых серий жилых зданий на линиях циркуляции паллет. Линия циркуляции паллет представляет собой конвейерную технологическую линию с замкнутым рабочим циклом, которая разделена на отдельные посты, количество которых определяется производственной программой выпуска изделий. Для обеспечения производственной программы выпуска изделий и безопасных условий труда, отвечающих современным требованиям по механизации и автоматизации производственных процессов, линия циркуляции паллет комплектуется основным, вспомогательным технологическим оборудованием и оснасткой. После запуска линий циркуляции паллет при их эксплуатации в ряде случаев возникают отдельные проблемы, связанные с выходом на проектную мощность и обеспечением непрерывно-поточной организации производства изделий. Зарубежные поставщики оборудования при конструировании и поставке линий циркуляции паллет для обеспечения заданной проектной производственной мощности не учитывают многочисленных факторов в условиях действующих заводов КПД. Среди значимых факторов следует выделить следующие: различные требования отечественных и зарубежных стандартов технологического проектирования, особенности организационной структуры производства действующих заводов КПД; ориентация новых линий на строго заданные параметры компонентов бетонных смесей; широкая номенклатура выпускаемых изделий КПД для современных серий жилых зданий и пр. Кроме того, внедрение современных высокотехнологичных линий на предприятиях сборного железобетона без разработки актуальных норм технологического проектирования и норм, регламентирующих трудоемкость производства железобетонных изделий на таких линиях, приводит к некорректному определению фактической производственной мощности и к несогласованности рабочих ритмов элементарных процессов при организации работы линий.

Ключевые слова: технологический режим, линия циркуляции паллет, хронометраж, технологический пост.

Для цитирования: Гуринович В.Ю., Поздняков Д.А., Леонович С.Н. Мониторинг работы и определение оптимальных технологических параметров линий циркуляции паллет // *Строительные материалы*. 2022. № 3. С. 4–9.

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-800-3-4-9>

V.Yu. GURINOVICH¹, Engineer, Senior Lecturer;

D.A. POZDNIKOV², Engineer;

S.N. LEONOVICH^{1, 3}, Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Foreign Member of RAACS

¹ Belarusian National Technical University (65, Nezavisimosti Prospect, Minsk, 220013, Republic of Belarus)

² Republican Unitary Enterprise "Institute of Housing" – NIPTIS named after S.S. Atatev (15, F. Skaryna Street, Minsk, 220076, Republic of Belarus)

³ Qingdao University of Technology (266033, China, 11 Fushun Rd, Qingdao)

Monitoring of Operation and Determination of Optimal Technological Parameters of Pallet Circulation Lines

During the reconstruction, modernization and technical re-equipment, a number of large-panel housing construction enterprises (hereinafter referred to as KPD) switched to the production of KPD products of new series of residential buildings on pallet circulation lines. The pallet circulation line is a conveyor technological line with a closed working cycle, which is divided into separate posts, the number of which is determined by the production program for the production of products. To ensure the production program for the production of products and safe working conditions that meet modern requirements for mechanization and automation of production processes, the pallet circulation line is equipped with basic, auxiliary technological equipment and tooling. After the launch of the pallet circulation line during their operation, in some cases, there are separate problems associated with reaching the design capacity and ensuring continuous-line organization of the production of products. Foreign suppliers of equipment when designing and supplying pallet circulation lines to ensure a given design production capacity do not take into account numerous factors in the conditions of operating efficiency of KPD plants. Among the significant factors should be highlighted: various requirements of domestic and foreign standards of technological design, features of the organizational structure of the production of existing efficiency plants, the orientation of new lines to strictly specified parameters of concrete mix components, a wide range of manufactured KPD products for modern series of residential buildings, etc. In addition, the introduction of modern high-tech lines at precast concrete enterprises, without the development of current technological design standards and norms regulating the labor intensity of the production of reinforced concrete products on such lines, leads to incorrect determination of the actual production capacity and to inconsistency of the working rhythms of elemental processes in the organization of the lines.

Keywords: technological mode, pallet circulation line, timekeeping, technological post.

For citation: Gurinovich V.Yu., Pozdnyakov D.A., Leonovich S.N. Monitoring of operation and determination of optimal technological parameters of pallet circulation lines. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2022. No. 3, pp. 4–9. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-800-3-4-9>

Краткая характеристика анализируемой линии циркуляции паллет

Общий вид линии циркуляции паллет, принятой за объект анализа, представлен на рис. 1.

Линия циркуляции паллет ориентирована на производство плит перекрытия и разделена на 20 технологических постов, каждый из которых соответствует определенной стадии производственного процесса.

При проектировании анализируемой линии циркуляции паллет был заложен принцип разнопрофильности линии с целью возможного оперативного перехода к выпуску наружных трехслойных стеновых

панелей толщиной 350 мм и плоских изделий толщиной 160 мм различной конфигурации. Организация выпуска разнотипных изделий на запроектированной линии осуществляется технологической переро- ориентацией отдельных постов и заменой элементов бортоснастки для формовочных паллет.

Линия циркуляции паллет в сравнении с действующими аналогичными линиями на заводах КПД имеет техническое преимущество в виде возможности изготавливать широкую номенклатуру изделий КПД. Благодаря использованию универсального технологического оборудования и оснастки линия



Рис. 1. Общий вид линий циркуляции паллет
Fig. 1. General view of pallet circulation lines

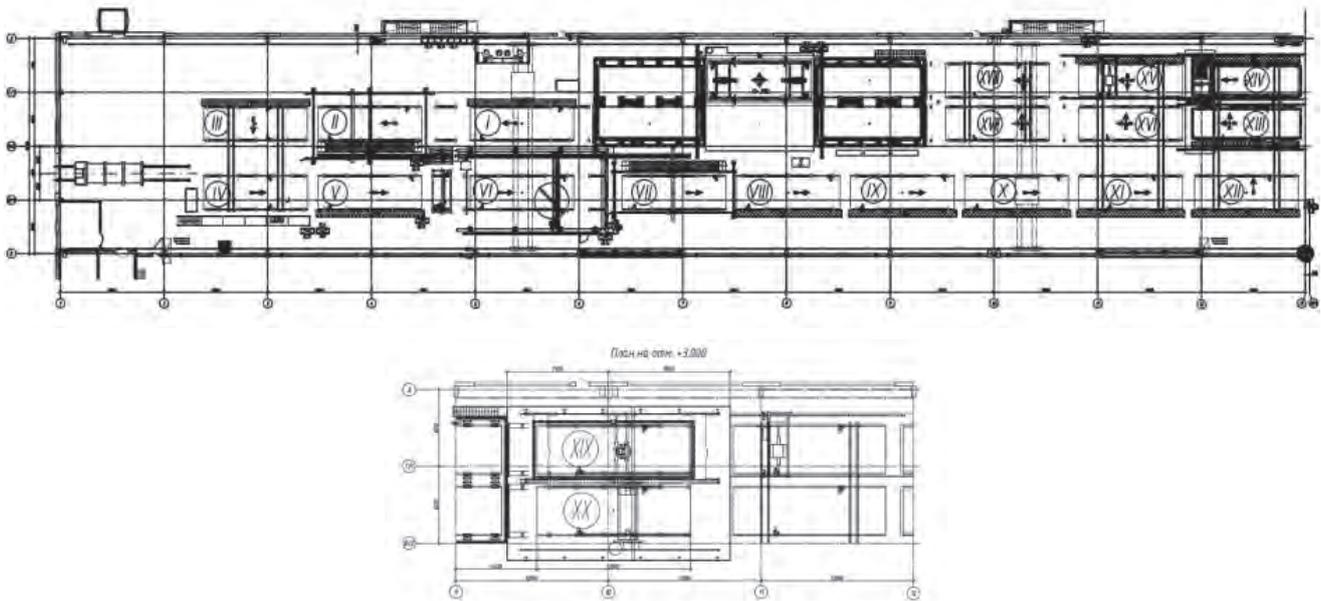


Рис. 2. Расположение технологических постов линии циркуляции паллет: I – пост предварительной чистки; II – пост снятия опалубочных профилей; III – пост доводки изделий; IV – пост снятия изделия с паллеты; V – пост чистки и смазки поверхности паллеты; VI – пост нанесения разметки, автоматической установки опалубочных профилей на паллете; VII – пост установки проеомообразователей, ручной смазки боковых поверхностей паллеты; VIII – пост установки фиксаторов и элементов скрытой электропроводки; IX – пост установки арматурных сеток и каркасов; X – пост установки монтажных петель и закладных деталей; XI – пост установки и фиксации элементов скрытой электропроводки; XII – пост установки и фиксации трубок для скрытой электропроводки; XIII, XIV – посты укладки и уплотнения растворной смеси; XV – пост доводки поверхности изделия виброрейкой; XVI – пост ручной доводки поверхности изделия; XVII, XVIII – пост выдержки изделий; XIX – пост доводки поверхности изделия лопастным заглаживателем; XX – пост устройства штроб

Fig. 2. Location of technological posts of the pallet circulation line: I – pre-cleaning post; II – post for removing formwork profiles; III – post finishing products; IV – post for removing the product from the pallet; V – post for cleaning and lubricating the surface of the pallet; VI – post for marking, automatic installation of formwork profiles on a pallet; VII – post for installation of opening formers, manual lubrication of the side surfaces of the pallet; VIII – post for installation of clamps and hidden electrical wiring elements; IX – post for installation of reinforcing meshes and frames; X – post for installation of mounting loops and embedded parts; XI – post for installation and fixation of elements of hidden electrical wiring; XII – post for installation and fixation of tubes for hidden electrical wiring; XIII, XIV – posts for laying and compacting the mortar mixture; XV – post finishing the surface of the product with a vibrating screed; XVI – post manual finishing of the surface of the product; XVII, XVIII – post holding products; XIX – post finishing the surface of the product with a paddle smoother; XX – post strobe device

циркуляции паллет позволяет оперативно реагировать на изменение спроса на строительном рынке и при этом значительно сократить затраты по обновлению номенклатуры продукции [1–8].

Проектная мощность линии циркуляции паллет, принятая при реконструкции завода КПД, для варианта организации производства плит перекрытия составляет 41990 м³/г. при двухсменном режиме работы и годовом фонде рабочего времени 247 дней (3952 ч).

Анализ фактической производственной мощности линии циркуляции паллет после ввода в эксплуатацию

После выполнения пусконаладочных работ, включая комплексное опробование оборудования линии циркуляции паллет, наблюдался постепенный рост производственной мощности линии (рис. 3).

В последующий период работы линии производственная мощность установилась на определенном уровне и за четыре месяца анализа работы в среднем составляла 1069 м³/мес, или 52 м³/сут, при расчетном показателе проектной мощности линии 170 м³/сут. Показатель освоения проектной мощности линии циркуляции паллет составил 30,6% при нормативном значении 85%.

Оптимизация работы линии циркуляции паллет

Для определения причин снижения проектной мощности после ввода линии в эксплуатацию были определены фактические технологические параметры работы линии циркуляции паллет, на основании которых выполнена оптимизация работы [9–15].

Определение оптимальных технологических параметров работы линии было разделено на пять этапов:

- мониторинг работы линии после ввода в эксплуатацию, комплектности и технических характеристик основного технологического оборудования;

- проведение хронометража работы линии и определение фактического ритма работы линии;

- определение узких мест работы линии циркуляции паллет и проведение оптимизации продолжительности элементных циклов производства изделий на постах линии;

- расчет ритма работы линии после проведения оптимизации и определение максимальной производственной мощности линии;

- разработка организационно-технологических рекомендаций повышения производственной мощности линии циркуляции паллет.

На этапе мониторинга работы отклонений от проектных решений компоновки линии и параметров технологического оборудования выявлено не было. В ходе мониторинга работы линии циркуляции паллет, организации работы на отдельных постах, состава бригад и размещения рабочих по постам были выявлены отклонения от проектных решений (сокращение численности рабочих на постах, перераспределение выполнения технологических операций на постах линии). При анализе раскладки изделий на паллетах было выявлено, что средний объем изделий на одной паллете (объем формовки) составляет 5 м³.

Хронометраж работы линии циркуляции паллет был выполнен для определения фактических затрат рабочего времени на постах линии и расчета факти-

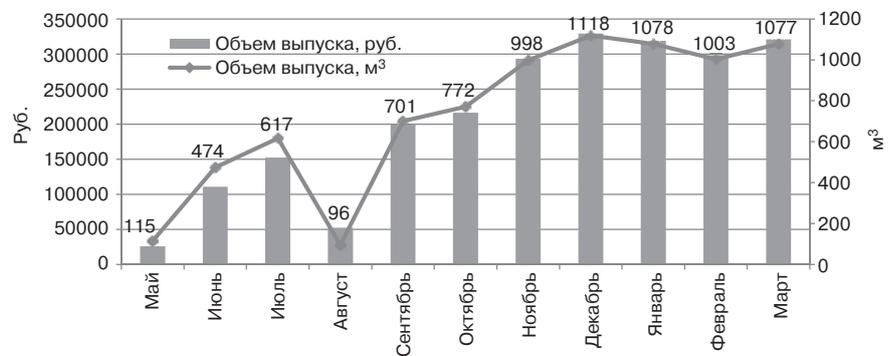


Рис. 3. Выпуск изделий на линии циркуляции паллет в натуральном и стоимостном выражении
Fig. 3. Release of products on the pallet circulation line in physical and value terms

№ п/п	Параметр линии	Значение		
		Фактическое по результатам хронометража работы линии	Принятое на стадии проектирования	По результатам оптимизации
1	Ритм работы линии, мин	64	24	35
2	Удельные затраты труда, чел.·ч/м ³	2,7	1,95	1,87
3	Суммарная численность основных рабочих, задействованных в производстве изделий, чел.	12	20	17
4	Сменная производительность линии, м ³ /смену	35,62	85	72,69
5	Средний объем изделий на паллете (объем одной формовки), м ³	5	4,25	5,3
6	Коэффициент загрузки рабочих на постах в рабочем ритме, %, в том числе	53,8	71,8	77
	распалубка	42	62	59
	чистка и смазка	42	62	65
	армирование	72	70	89
	формование	59	93	95

ческой производственной мощности линии при производстве плит перекрытия. По полученным данным была построена циклограмма работы линии и пооперационный график технологического процесса. Анализ циклограммы работы технологической линии и пооперационного графика технологического процесса показал, что коэффициент неравномерности продолжительности элементарных процессов на постах линии достигает показателя 2,8 при нормативном его значении 1,15, а максимальный рабочий ритм элементарного процесса с учетом невынужденных простоев на постах линии достигает значения $R_{max}=64$ мин при принятом на стадии проектирования ритме работы линии 24 мин.

По результатам выполнения хронометража были рассчитаны основные технологические параметры линии циркуляции паллет, которые представлены в таблице.

Определение резервов производственной мощности линии циркуляции паллет

По результатам проведения хронометража работы линии циркуляции паллет из пооперационного графика технологического процесса было определено, что наиболее загруженными постами линии при максимальном ритме работы $R_{max}=64$ мин являются соответственно:

- посты, на которых производится армирование изделия и монтаж элементов скрытой электропроводки, закладных деталей и штрабообразователей;
- пост доводки поверхности свежесформованного изделия виброрейкой;
- пост доводки поверхности изделия затирочной машиной;
- пост бетонирования и уплотнения бетонной смеси, в некоторых случаях при объеме формируемых изделий на паллете 6 м^3 и более.

Высокий коэффициент занятости на технологических постах армирования изделия и монтажа элементов скрытой электропроводки, закладных деталей и штрабообразователей вызван недостаточностью трудовых ресурсов на этих постах, а также выполнением на этих постах не предусмотренной на стадии проектирования технологической операции по установке и закреплению штрабообразователей.

Для технологических операций, выполняемых на постах доводки поверхности свежесформованного изделия виброрейкой и доводки поверхности изделия затирочной машиной, основной причиной увеличения времени работы технологического оборудования служило всплывание зерен легкого заполнителя. Неоднородность по гранулометрическому составу и различная влажность легкого заполнителя приводят к неоднородности (различной подвижности) бетонной смеси, выпускаемой на растворобетонном узле, что, в свою очередь, приводит к частичному всплыванию керамзитового песка в более подвижных смесях. Всплывание зерен керамзита на стадии уплот-

нения бетонной смеси на виброплощадке приводит к ухудшению качества поверхности. Это требует большей трудоемкости отделки поверхности виброрейкой и лопастным заглаживателем. Заглажка поверхности изделия по одной линии рабочей зоны диска при этом достигает 6–7 проходов затирочной машиной, а продолжительность операции для одной паллеты достигает 50 мин.

Достаточно высокая загрузка постов формирования изделий в первую очередь связана с большими простоями бетоноукладчика при загрузке бетонной смесью, что является следствием неотлаженности взаимодействия работы технологического поста линии циркуляции паллет и растворобетонного узла. Также при формировании изделий на паллете общим объемом 6 м^3 и более в связи с объемом бункера бетоноукладчика 3 м^3 необходимо производить три цикла укладки бетонной смеси, что приводит к увеличению ритма работы.

Для увеличения производственной мощности и обеспечения организационной синхронизации технологического процесса производства плит перекрытия на линии циркуляции паллет был разработан ряд организационно-технологических мероприятий:

- оптимизация раскладки изделий с возможным увеличением среднего объема изделий на одной паллете до $5,3 \text{ м}^3$, а при упорядочении (уменьшении) номенклатуры плит перекрытий за счет исключения малогабаритных изделий можно добиться среднего значения съема $5,87 \text{ м}^3$ с одной паллеты;
- перераспределение отдельных технологических операций между постами линии циркуляции паллет;
- распределение трудовых ресурсов на постах и расчет их оптимального количества.

По результатам выполнения организационной синхронизации был составлен пооперационный график технологического процесса, установлен максимальный рабочий ритм линии циркуляции паллет и рассчитаны основные технологические параметры линии циркуляции паллет, которые представлены в таблице.

Выводы

Для оптимизации работы линий циркуляции паллет после ввода их в эксплуатацию рекомендуется выполнить мониторинг и анализ работы линии с учетом действующих условий производства изделий КПД и определить оптимальные технологические параметры работы линии.

Расчет технологических параметров работы линии состоит из определения трудоемкости процесса производства изделий, длительности элементарных циклов, ритма работы линии, численного и профессионально-квалификационного состава рабочих, а также включает разработку циклограммы работы линии и пооперационного графика технологического процесса.

На показатели освоения производственной мощности линии циркуляции паллет оказывают влияние

эффективность раскладки изделий на паллетах и ритм работы линии. Для обеспечения ритмичности и непрерывности технологических процессов необходимо выполнить организационную синхронизацию продолжительности элементарных циклов на постах линии.

Список литературы

1. Гуринович В.Ю., Леонович С.Н. Обоснование решений по комплексной реконструкции производства // *Вестник БНТУ: Архитектура и строительство*. 2011. № 5. С. 47–49.
2. Гуринович В.Ю., Поздняков Д.А. Оптимизация технологических режимов работы линии циркуляции паллет для производства изделий КПД. *Материалы 16-й Международной научно-технической конференции (71-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных работников, докторантов и аспирантов БНТУ)*. Минск, 2018. 433 с.
3. Гуринович В.Ю., Поздняков Д.А. Организация производства изделий КПД на длинных стендах. *Материалы 16-й Международной научно-технической конференции (71-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных работников, докторантов и аспирантов БНТУ)*. Минск, 2018. 434 с.
4. Пилипенко В.М., Потерщук В.А., Пецольд Т.М. Перспективы развития индустриального домостроения в Республике Беларусь. *Современные проблемы внедрения европейских стандартов в области строительства: Сборник международных научно-технических статей*. Минск, 2015. С. 8–14.
5. Тертышник М.И. Определение и оценка производственных мощностей предприятий. *Известия Иркутской экономической академии*. 2011. № 6. С. 1–7.
6. Jieh-Haur Chen, Li-Ren Yang, Hsing-Wei Tai, Process reengineering and improvement for building precast production. *Automation in Construction*. 2016. Vol. 68, pp. 249–258. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.05.015>.
7. Vacharapoom Benjaoran, Nashwan Dawood. Intelligence approach to production planning system for bespoke precast concrete products. *Automation in Construction*. 2006. Vol. 15, Iss. 6, pp. 737–745. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2005.09.007>
8. Yiran Dan, Guiwen Liu, Yan Fu, Optimized flowshop scheduling for precast production considering process connection and blocking. *Automation in Construction*. 2021. Vol. 125. 103575. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103575>
9. Леонович С.Н., Гуринович В.Ю. Технологическое проектирование реконструкции действующих заводов КПД: проблемы и решения. *Проблемы современного строительства: материалы Международной научно-технической конференции*. Минск, 2019. С. 379–395.

По результатам оптимизации работы линии циркуляции паллет и выполнения организационной синхронизации максимальный рабочий ритм составил $R_{max}=35$ мин, а производственная мощность линии циркуляции паллет при этом составит 72,69 м³/смену, или 35909 м³/г.

References

1. Gurinovich V.Yu., Leonovich S.N. Substantiation of decisions on complex reconstruction of production. *Vestnik BNTU: Arkhitektura i stroitel'stvo*. 2011. No. 5, pp. 47–49. (In Russian).
2. Gurinovich V.Yu., Pozdnyakov D.A. Optimization of process modes of pallet circulation line operation for production of precast concrete products. *16th International Scientific and Technical Conference (71st Scientific and Technical Conference of the Faculty, Researchers, Doctoral Students and Postgraduates of BNTU)*. Minsk. 2018. 433 p. (In Russian).
3. Gurinovich V.Yu., Pozdnyakov D.A. Organization of production of precast concrete products on long stands. *16th International Scientific and Technical Conference (71st Scientific and Technical Conference of the Faculty, Researchers, Doctoral Students and Postgraduates of BNTU)*. Minsk. 2018, p. 434. (In Russian).
4. Pilipenko V. M., Potersshchuk V. A., Petsol'd T. M. Prospects for the development of industrial house building in the Republic of Belarus. *Modern problems of the implementation of European standards in the field of construction: a collection of international scientific and technical articles*. Minsk. 2015, pp. 8–14. (In Russian).
5. Tertyshnik M.I. Define and evaluate plant capacity. *Izvestiya Irkutskoi ekonomicheskoi akademii*. 2011. No. 6, pp. 1–7. (In Russian).
6. Jieh-Haur Chen, Li-Ren Yang, Hsing-Wei Tai, Process reengineering and improvement for building precast production. *Automation in Construction*. 2016. Vol. 68, pp. 249–258. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.05.015>.
7. Vacharapoom Benjaoran, Nashwan Dawood. Intelligence approach to production planning system for bespoke precast concrete products. *Automation in Construction*. 2006. Vol. 15, Iss. 6, pp. 737–745. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2005.09.007>
8. Yiran Dan, Guiwen Liu, Yan Fu, Optimized flowshop scheduling for precast production considering process connection and blocking. *Automation in Construction*. 2021. Vol. 125. 103575. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103575>
9. Leonovich S.N. Gurinovich V.Yu. Process design of reconstruction of precast concrete products plants: problems and solutions. *Problems of Modern Construction: Proceedings of the International Scientific and Technical Conference*. Minsk. 2019, pp. 379–395. (In Russian).

10. Нормы продолжительности освоения проектных мощностей вводимых в действие предприятий. М.: Экономика, 1975. 43 с.
11. ОНТП 07-85. Общесоюзные нормы технологического проектирования предприятий сборного железобетона. М.: Минстройматериалов СССР, 1986. 51 с.
12. Справочник по технологии сборного железобетона / Под общ. ред. Б.В. Стефанова. Киев: Вища школа, 1978. 256 с.
13. Инструкция по определению производственной мощности предприятий сборного железобетона. Министерство промышленности строительных материалов СССР; Всесоюзный научно-исследовательский институт заводской технологии сборных железобетонных конструкций и изделий ВНИИЖЕЛЕЗОБЕТОН. М., 1978. 71 с.
14. Стефанов Б.В., Антоненко Г.Я. Организация технологических процессов на заводах сборного железобетона. Будівельник. 1965. 82 с.
15. Методические указания по определению производственных мощностей предприятий крупнопанельного домостроения. Государственный комитет по гражданскому строительству и архитектуре при Госстрое СССР; Центральный научно-исследовательский и проектный институт типового и экспериментального проектирования жилища (ЦНИИЭП жилища). М., 1971. 22 с.
10. Standards for the duration of the development of design capacities of enterprises put into operation. Moscow: Economics. 1975. 43 p. (In Russian).
11. ONTP 07-85 All-Union norms of technological design of precast concrete enterprises. Moscow: Minstroimaterialov SSSR. 1986. 51 p. (In Russian).
12. Spravochnik po tekhnologii sbornogo zhelezobetona [Handbook on precast reinforced concrete technology]. Kiev: Vysshaya shkola. 1978. 256 p.
13. Instructions for determining the production capacity of precast concrete enterprises. Ministry of Industry of Building Materials of the USSR, All-Union Scientific Research Institute of Factory Technology of Prefabricated Reinforced Concrete Structures and Products VNIIZHELEZOBETON. Moscow. 1978. 71 p.
14. Stefanov B.V., Antonenko G.Ya. Organizatsiya tekhnologicheskikh protsessov na zavodakh sbornogo zhelezobetona [Organization of technological processes at prefabricated reinforced concrete plants]. Budivel'nik. 1965. 82 p.
15. Guidelines for determining the production capacity of large-panel housing construction enterprises. State Committee for Civil Engineering and Architecture under the Gosstroy of the USSR, Central Research and Design Institute for Standard and Experimental Design of Dwellings (TsNIIEP Dwellings). Moscow: 1971. 22 p. (In Russian).



БЕЛГОРОДСКОЕ РЕШЕНИЕ — ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ ПЛИТЫ ПЕРЕКРЫТИЙ ИЗ КЕРАМЗИТОБЕТОНА, ИЗГОТАВЛИВАЕМЫЕ ПО СТЕНДОВОЙ БЕЗОПАЛУБОЧНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

BELGOROD SOLUTION — REINFORCED CONCRETE FLOOR SLABS MADE OF EXPANDED CLAY CONCRETE, MANUFACTURED ACCORDING TO BENCH FORMLESS TECHNOLOGY

Акционерное общество «Завод ЖБК-1» — одно из крупнейших предприятий Черноземья — производит железобетонные конструкции для строительства зданий и сооружений различного назначения уже более 65 лет. Предприятие занимается не только производством, но и разработкой новых продуктов. Один из последних — инновационная несущая конструкция — многопустотная предварительно напряженная плита перекрытия из керамзитобетона, изготавливаемая по стендовой безопалубочной технологии.

Joint Stock Company «ZHBK-1 Plant» — one of the largest enterprises of the Chernozem region — has been producing reinforced concrete structures for the construction of buildings and structures for various purposes for more than 65 years. The enterprise is engaged not only in production, but also in the development of new products. One of the latest is an innovative bearing structure — a multi-hollow prestressed floor slab made of expanded clay concrete, manufactured according to bench formless technology.

В настоящее время АО «Завод ЖБК-1» по объемам реализации, географии поставок и выпускаемой номенклатуры многопустотных плит перекрытия, изготавливаемых по технологии стендового безопалубочного формования, является лидером в своем регионе.

Известно, что одним из способов повышения эффективности производства, а также главным «двигателем прогресса» является конкуренция. И для того чтобы оставаться лидером, необходимо разрабатывать и внедрять инновационные продукты, с улучшенными качественными характеристиками и применением новых технических решений. Именно поэтому после успешно проведенных экспериментов технической службой завода в 2020 г. в серийное производство запущена инновационная многопустотная предварительно напряженная плита из керамзитобетона, изготавливаемая по стендовой безопалубочной технологии.

Завод ЖБК-1 много лет применяет керамзитовый гравий в производстве различной номенклатуры железобетонных конструкций — стеновых панелей, плит лоджий, перегородок, индивидуальных изделий, стеновых материалов и др.

При разработке нового продукта была поставлена задача — применить местный сырьевой материал — керамзитовый гравий производства АО «Завод ЖБК-1», а также создать и внедрить в массовое серийное производство многопустотную плиту перекрытия из керамзитобетона, которая изготавливается по стендовой безопалубочной технологии из одной бетонной смеси, с обеспечением стабильных прочностных характеристик, нормативной несущей способности и надежности анкеровки предварительно напряженной арматуры без усиления опорной зоны плиты.

Поставленные задачи были успешно реализованы за счет применения при производстве высокомарочного керамзитобетона класса прочности при сжатии В30, специально разработанного для использования в технологии стендового безопалубочного формования, где в качестве крупного заполнителя используется

высокопрочный керамзитовый гравий смеси фракций 0–20 мм с прочностью 6 МПа по ГОСТ 32496–2013 «Заполнители пористые для легких бетонов. Технические условия» и низким водопоглощением, а также применения в качестве рабочей предварительно напряженной арматуры стальных арматурных семипроволочных стабилизированных канатов по ГОСТ Р 53772–2010 «Канаты стальные арматурные семипроволочные стабилизированные. Технические условия». Вся проделанная работа подтверждена серией рабочих альбомов с расчетом несущей способности плит перекрытий, разработанных ФГБУ «ЦНИИП Минстроя России».

Основным техническим результатом предложенного решения является улучшение качественных и эксплуатационных характеристик плит перекрытий из высокомарочного керамзитобетона с обеспечением надежности конструкции и анкеровки предварительно напряженной арматуры.

В сравнении с традиционными многопустотными плитами из тяжелого бетона керамзитобетонные плиты имеют ряд преимуществ:

— снижение массы плиты на 20%;

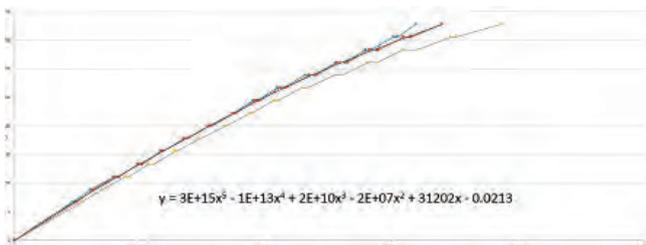




– улучшение тепло- и звукоизолирующих свойств;
– повышение степени огнестойкости в сравнении с традиционными плитами до REI 90.

Для реализации проекта была проведена модернизация производства керамзитового гравия с организацией выпуска материала смешанной фракции специально для производства плит перекрытий, разработаны составы бетона и внедрены новые режимы уплотнения бетонной смеси, разработаны технические условия.

Совместно с Белгородским государственным технологическим университетом им. В.Г. Шухова проведена научно-исследовательская работа по определению модуля упругости и коэффициента Пуассона керамзитобетона. В результате выполненных испытаний получены следующие усредненные характеристики: плотность – 2000 кг/м³; призмная прочность – 40 МПа; начальный модуль упругости – 26827 МПа; коэффициент Пуассона – 0,21.



В рамках постановки на производство плит перекрытий из керамзитобетона успешно проведена серия фактических периодических испытаний нагружением по ГОСТ 8829–2018 «Изделия

строительные железобетонные и бетонные заводского изготовления. Методы испытаний нагружением. Правила оценки прочности, жесткости и трещиностойкости» для подтверждения несущей способности. Плиты прошли процедуру сертификации для оценки соответствия требованиям нормативной документации с получением сертификата.

По итогам работы получен Патент РФ на полезную модель № 199196 «Многopустотная предварительно напряженная керамзитобетонная плита перекрытия с повышенной анкеровой арматуры».

Плиты перекрытия из керамзитобетона предназначены для применения в перекрытиях и покрытиях многоэтажных жилых, общественных и производственных зданий с несущими стенами, сборным или сборно-монолитным каркасом. В работе под нагрузкой они не имеют принципиальных отличий от традиционных плит из тяжелого бетона и могут использоваться в зданиях, возводимых по действующим проектам, взамен плит по типовым сериям.

Плиты из керамзитобетона представляют собой конструкции из негорючих материалов, не распространяющих пламя по поверхности, не выделяющих в условиях пожара дым и токсичные продукты, класса пожарной опасности КМО. Поэтому они могут применяться для перекрытий I степени огнестойкости (ФЗ от 22.07.2008 «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»).

Технологическая оснащенность АО «Завод ЖБК-1» позволяет производить плиты перекрытий из керамзитобетона толщиной 160 и 220 мм, шириной от 325 мм до 1,5 м в двух технологических пролетах.

Выпускаемая номенклатура и технические характеристики плит

Ширина плиты, мм	Толщина плиты, мм	Максимальная длина плиты, м (при несущей способности)					Эскиз
		400 кг/м ²	600 кг/м ²	800 кг/м ²	1000 кг/м ²	1200 кг/м ²	
1500	160	6,3	6,3	5,8	5,3	4,9	
	220	8,4	8,4	8,4	7,9	7,2	
1200	160	6,3	6,3	6,0	5,5	5,1	
	220	8,4	8,4	8,4	7,9	7,2	

Предприятие готово к любому сотрудничеству

АО «Завод ЖБК-1»
308013, г. Белгород,
ул. Коммунальная, 5
(4722) 37-63-33

e-mail: pto_pso@belbeton.ru

www.belbeton.ru

Специализированная компания по производству нестандартных сборных элементов KLAUS выбирает индивидуальные решения для автоматизации

Specialized Company for the Production of Non-Standard Prefabricated Elements KLAUS Selects Individual Solutions for Automation

Компания KLAUS Hoch- und Tiefbau GmbH пополняет парк оборудования на заводе сборных железобетонных изделий несколькими автоматизированными установками компаний progress Maschinen & Automation и Tecnocom, которые входят в состав группы компаний Progress Group. Благодаря оборудованию для обработки арматуры и опалубке, которые были разработаны специально для компании из г. Киссинг (Германия), производство разнообразных нестандартных вариантов лестничных элементов стало более простым и автоматизированным.

KLAUS Hoch- und Tiefbau GmbH replenishes the equipment fleet at the precast concrete products plant with several automated installations of progress Maschinen & Automation and Tecnocom, which are part of the Progress Group of companies. Thanks to the equipment for processing reinforcement and formwork, which were developed specifically for the company from Kissing City (Germany), the production of a variety of non-standard variants of ladder elements has become simpler and automated.

Производство нестандартных сборных элементов – преимущество завода сборных элементов

Завод сборных элементов KLAUS прежде всего известен тем, что он может исполнять индивидуальные заказы и изготавливать все, что отличается от стандартного, например винтовые лестницы. Завод сборных элементов принадлежит компании KLAUS Hoch- und Tiefbau GmbH и, таким образом, относится к группе компаний KLAUS Gruppe. Этот завод существует в г. Киссинг с конца 1960-х гг. Развиваясь под названием KLAUS, он стал образцово-показательным предприятием, которое на сегодняшний момент насчитывает примерно 115 работников. Распо-

ложившись к югу от г Аугсбург, завод сборных железобетонных изделий поставляет в Баварию и Баден-Вюртемберг высококачественные нестандартные сборные бетонные элементы, например лестницы, балконы, элементы фасада и другую продукцию на заказ. Предприятие работает практически только в сфере жилищного строительства и индивидуального жилищного строительства и лишь в малой степени в сфере промышленного строительства.

Индивидуальное оборудование для экспертов в сфере производства на заказ

Недавно установленный многофункциональный станок Pluristar от progress Maschinen & Automation



Специально изготовленная система для опалубки лестниц, модель HT-TEC Plus, представляет собой специальную наклонную форму для лестниц с 10 ступенями, которая идеально подходит для упрощенного производства индивидуальных моделей лестниц
A specially manufactured system for shuttering stairs, the HT-TEC Plus model, is a special inclined form for stairs with 10 steps, which is ideal for simplified production of individual models of stairs



Новая опалубка для лестниц модели RAMP-TEC Plus
New formwork for stairs of the RAMP-TEC Plus model



Оборудование Progress Group идеально подходит компаниям, специализирующимся на производстве сборных элементов на заказ, и позволяет учитывать самые разнообразные пожелания
Progress Group equipment is ideal for companies specializing in the production of prefabricated elements to order, and makes it possible to take into account a wide variety of wishes

объединяет функции автоматического скобогибочного станка, правильного станка, а также сдвоенного гибочного стана. Станок Pluristar способен обрабатывать прутья диаметром 8–16 мм и включает комбинированную систему правки, которая состоит из роликовых и роторных правильных устройств. Такая уникальная комбинация позволяет изготавливать различные варианты скоб, прямые прутки и прутки с большими загибами, таким образом, на станке можно выполнять весь процесс обработки стальной арматуры из бухт.

Среди оборудования для обработки арматурных элементов особого внимания заслуживает новая установка для сварки арматурной сетки M-System BlueMesh®, которая отличается универсальностью. Установка, выполненная в соответствии с особыми требованиями, производит арма-

турную сетку в точном соответствии с заданными параметрами, работает без обрезков за счет подачи материала непосредственно из рулона и проста в управлении. Эта установка для сварки арматурной сетки привлекательна благодаря низкому энергопотреблению и компактным размерам, а также низким затратам и возможности производить гибку стальной арматуры по индивидуальным параметрам. Это обеспечивает высокое качество конечной продукции и позволяет компании KLAUS исполнять индивидуальные заказы легко и в автоматизированном режиме. В среднем за один день производится почти 50 арматурных каркасов. Но и это не предел: если объем заказов позволяет, завод может производить 75 каркасов разных размеров в день.

По мнению Томаса Хойбека, технического директора завода сборных изделий KLAUS, с приоб-



Многофункциональный станок Pluristar может автоматически переключаться между режимами сдвоенной обработки и одиночной обработки прутков и автоматически регулировать норматив
The Pluristar multifunctional machine can automatically switch between the modes of double processing and single processing of bars and automatically adjust the standard



Универсальная установка для сварки арматурной сетки M-System Blue Mesh® обрабатывает арматурную сталь непосредственно из бухты и, таким образом, работает с миллиметровой точностью и не оставляет обрезков
The M-System Blue Mesh® universal installation for reinforcement mesh welding treats reinforcing steel directly from the coil and thus works with millimeter accuracy and leaves no scraps

ретением нового оборудования сделан большой скачок в обработке арматуры и теперь можно производить очень точные каркасы для лестниц. Достаточно только вставить каркас основания в крепежные зажимы, арматура для прямых лестниц с площадкой или без нее изготавливается точно по размерам, поэтому гибочный станок для арматурных стержней производит только контрольные замеры.

Производство винтовых лестниц немного сложнее. Для этого установка для сварки арматурной сетки изготавливает погонаж для верхней и нижней части конструкции, а также для контурного каркаса. Его можно нарезать и использовать при изготовлении винтовой лестницы.

Для дальнейшего совершенствования уже имеющих высоких стандартов качества продукции и повышения текущего уровня автоматизации компания KLAUS делает дополнительные инвестиции в уникальные системы по производству форм для лестниц Теспосот, с помощью которых можно существенно повысить точность работ по опалубке, ускорить их, автоматизировать и сделать более универсальными.

По словам Томаса Хайбека, при покупке новых опалубочных систем выбор пал на компанию Теспосот, которая адаптировала предложение под потребности компании KLAUS и реализовала его. Ни один другой производитель не мог предложить что-то подобное.

Компания получила систему для опалубки лестниц модели HT-TEC Plus: специальную наклонную форму для лестниц с десятью ступенями – форму для лестниц RAMP-TEC Plus – и стационарный стол.

Автоматически регулируемая платформа для опалубки лестниц с площадкой – модель RAMP-TEC Plus – имеет функцию автоматического изменения наклона платформы и площадки. Встроенные датчики наклона для изменения крутизны лестницы и автоматическая регулировка наклона платформы с электрическим управлением позволяют адаптировать опалубку под любые

требования. Кроме того, можно устанавливать длину лестницы и размер платформы, при этом качество поверхности остается неизменно высоким. Благодаря шлифованной поверхности стационарного стола покрытие получаемых сборных элементов имеет очень высокое качество. За счет применения боковой опалубки возможно производство элементов различного размера и прочности. Для уплотнения свежего бетона используется высокочастотная или пневматическая встряхивающая машина. Стол оснащен различными системами нагрева для ускорения процесса твердения бетона.

Progress Group – надежный партнер

По словам представителей компании, ей было очень важно, чтобы служба технической поддержки говорила на немецком языке и надежно работала. Группа компаний Progress Group исполняет эти требования. Любые вопросы могут быть решены быстро и просто, без лишних языковых барьеров.

Томас Хойбек отметил, что для него лично было важно много общаться со службой технической поддержки по телефону. При возникновении вопросов, которые необходимо разрешить как можно скорее, важнее всего налаженная коммуникация.

На решение об инвестициях повлиял положительный опыт работы других компаний с Progress. Гибка, сварка и опалубка доступны на всех станках, представленных на рынке, однако Progress Group удалось убедить завод сборных элементов KLAUS в привлекательности комплексного пакета.



Завод сборных элементов –
видеоролик от KLAUS

УДК 624:66.011

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-800-3-15-24>

Н.Н. ЧЕРНОУСОВ¹, канд. техн. наук, ген. директор (nto_expert@mail.ru);
 Б.А. БОНДАРЕВ², д-р техн. наук (LNSP-48@mail.ru),
 В.А. СТУРОВА², магистр, аспирант (v-livenceva@mail.ru),
 А.Б. БОНДАРЕВ², канд. техн. наук, А.А. ЛИВЕНЦЕВА², студентка (alivencevaa@mail.ru)

¹ ООО «НТО» ЭКСПЕРТ» (398059, г. Липецк, Коммунальная пл., 9, оф. 314)

² Липецкий государственный технический университет (398055, Россия, г. Липецк, ул. Московская, 30)

Прогнозирование характера деформирования изгибаемых шлакобетонных элементов

В современном мире информационных технологий компьютеры играют все большую роль в нашей повседневной жизни. Все реальные, натурные опыты и эксперименты заменяют компьютерное моделирование, так как это зачастую экономит время. Многочисленные расчеты, в том числе и железобетонных конструкций, наиболее удобно выполнять с использованием диаграмм деформирования бетона и арматуры. Именно такой способ позволяет добиться схожих результатов с натурными испытаниями. Сложность заключается только в том, что необходимо сократить множество параметров уравнений. Цель работы – предложить упрощенную модель диаграммы деформирования изгибаемого шлакобетонного элемента, применение которой поможет исключить проведение сложных равновесных опытов. В таблицах статьи приведены значения параметрических точек диаграммы деформирования, анализ которых показывает расхождение опытных и теоретических значений, поэтому далее приводится порядок внесения корректировок в формулы с учетом динамического движения магистральной трещины. В результате исследования и математического моделирования диаграммы изгибаемого элемента предложена модель, способная прогнозировать характер работы образца на любой стадии нагружения. В основе этой модели используется наибольшая нагрузка и начальный модуль упругости, которые можно определить из интегральной конструкционной характеристики бетона – прочности при сжатии.

Ключевые слова: математическая модель, изгиб, шлакобетон, модель деформирования.

Для цитирования: Черноусов Н.Н., Бондарев Б.А., Стурова В.А., Бондарев А.Б., Ливенцева А.А. Прогнозирование характера деформирования изгибаемых шлакобетонных элементов // *Строительные материалы*. 2022. № 3. С. 15–24.

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-800-3-15-24>

N.N. CHERNOUSOV¹, Candidate of Sciences (Engineering), General Director (nto_expert@mail.ru);

B.A. BONDAREV², Doctor of Sciences (Engineering) (LNSP-48@mail.ru), V.A. STUROVA², Graduate Student (v-livenceva@mail.ru),

A.B. BONDAREV², Candidate of Sciences (Engineering), General Director (ialex-86@mail.ru), A.A. LIVENTSEVA², Student (alivencevaa@mail.ru)

¹ ООО "НТО" EXPERT (9, Off. 314, Kommunalnaya sq., 398059, Lipetsk, Russian Federation)

² Lipetsk State Technical University (30 Moskovskaya Street, 398055 Lipetsk, Russian Federation)

Prediction of the Nature of Deformation of Bent Slag Concrete Elements

In the modern world of information technology, computers are increasingly replacing our daily life. All real, field experiments and experiments replace computer modeling, as this often saves time. Numerous calculations, including reinforced concrete structures, are most conveniently performed using deformation diagrams of concrete and reinforcement. It is this method makes it possible to achieve similar results with field tests, the difficulty lies only in the fact that it is necessary to reduce many parameters of the equations. The aim of the work is to propose a simplified model of the deformation diagram of a bent slag concrete element, the use of which will help to exclude complex equilibrium experiments. The tables of the article show the values of the parametric points of the deformation diagram, the analysis of which shows the discrepancy between the experimental and theoretical values, therefore, the procedure for making adjustments to the formulas taking into account the dynamic movement of the main crack is given below. As a result of research and mathematical modeling of the bending element diagram, a model is proposed that is able to predict the nature of the specimen's operation at any stage of loading, based on the highest load and the initial modulus of elasticity, which can be determined from the integral structural characteristic of concrete – compressive strength.

Keywords: mathematical model, bending, slag concrete, deformation model.

For citation: Chernousov N.N., Bondarev B.A., Sturova V.A., Bondarev A.B., Liventseva A.A. Prediction of the nature of deformation of bent slag concrete elements. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2022. No. 3, pp. 15–24. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-800-3-15-24>

В связи с интенсивным развитием вычислительной техники возникает проблема построения автоматизированных методов расчета и проектирования строительных конструкций и разработки таких механических моделей бетона и железобетона, которые бы по общности приближались к современным моделям и теориям прочности механики деформируемого твердого тела и были с ними тесно увязаны [1].

Разработка современных усовершенствованных методик расчета железобетонных конструкций по

прочности, а тем более деформативности, немаловажно без учета нелинейных свойств бетонов: тяжелых высокопрочных [2, 3], легких на искусственных пористых заполнителях [4], а также на основе применения вторичных отходов различных отраслей промышленности и местных заполнителей [5–9].

Ставя во главу угла сопротивление разрушению как интегральную конструкционную характеристику бетона, следует давать комплексную оценку не только системе показателей разрушения, характе-

ризующих разрушение как конечный результат, но и анализировать параметры деформирования и разрушения бетона как развернутый во времени кинетический процесс. В этом случае кроме традиционных методов определения предела прочности бетонов (при изгибе, растяжении, сжатии), модуля упругости, коэффициента Пуассона требуется использовать и методики испытаний, которые позволяют раскрывать картину деформирования и сопротивление разрушению бетонов в динамике. В их ряду приоритетное место принадлежит методам построения полных равновесных диаграмм деформирования в координатах «сила–деформация» (ПРДД), позволяющих получить системную информацию по комплексу показателей сопротивления разрушению бетонов: модуль упругости, коэффициент хрупкости, предельная растяжимость, полная энергия разрушения и ее составляющие (работа упругого деформирования, работа микро- и макротрещинообразования), вязкость разрушения, пределы прочности при изгибе и сжатии, кинетика накопления повреждений и др. (ГОСТ 29167–91 «Бетоны. Методы определения характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) при статическом нагружении» [10]).

Отмечено, что на разрушение конструкций и их деформативность влияют структурные особенности заполнителя. Для плотных (тяжелых) бетонов отмечено четыре стадии разрушения при сжатии [2, 3]:

1) начальная стадия нагружения с интенсивностью примерно до $(0,1-0,15)R_b$ с характерным развитием необратимых деформаций бетона, низким значением модуля упругости;

2) стадия уплотнения и уменьшения объема образца при нагружении с интенсивностью примерно до $(0,15-0,3)R_b$;

3) стадия разуплотнения и разрыхления материала (первая базовая точка) характеризует граничную точку упругой работы бетона в момент образования первых микротрещин в структуре бетона при нагружении с интенсивностью примерно до $(0,3-0,6)R_b$;

4) предельная стадия равновесного состояния бетона, работающего с трещинами (за пределами которой нарушается пропорциональность напряжений и деформаций), характеризует граничную точку (вторая базовая точка) при нагружении с интенсивностью примерно до $(0,5-0,85)R_b$.

Экспериментально доказано [4], что для легких бетонов выявлено не четыре, а три области напряженного состояния. Подобное явление объясняется более высокой деформативностью пористого заполнителя по сравнению с плотным, его идеальным сцеплением с растворной частью и всесторонним обжатием, порождаемым усадкой. Следовательно, для легких бетонов на искусственных пористых заполнителях [4], а также бетонов на основе литого шлакового щебня (ЛШЩ) и заполнителя из отсевов от дробления ЛШЩ (фракция 0–5 мм) доменного производства НЛМК [6–9] колебания уровня пер-

вой параметрической точки возможны в пределах $(0,3-0,7)R_b$, т. е. значительно выше, чем у тяжелых, а для второй параметрической точки этот уровень доходит до $(0,1-1)R_b$ при примерно одинаковых прочностях бетона.

При разработке модели реальной работы конструкции необходимо учесть важную особенность опытных диаграмм сжатия и растяжения бетона [2, 3], которая заключается в том, что при первом приложении нагрузки на образец, который до этого не нагружался, обнаруживается существенная остаточная деформация, характеризующаяся низкими величинами модуля деформаций. Обычно при испытании бетонных образцов эти деформации не фиксируются, так как они проявляются в процессе центрирования образца перед последующим испытанием. Между тем на реальную работу конструкции, особенно статически неопределимой, эти деформации оказывают влияние.

Для аналитического описания полной модели деформирования бетона необходимо учесть третью базовую точку (граничное состояние бетона), за которой происходит лавинное трещинообразование и разрушение бетона. Вторую и третью базовые точки в предельном расчетном состоянии предложено определять одновременно как точки пересечения соответственно восходящей и нисходящей ветвей реальной диаграммы с горизонтальным участком [11].

Деформационный метод расчета железобетонных конструкций с использованием диаграмм деформирования бетона и арматуры в последние годы приобрел статус приоритетного, так как он обеспечивает высокую степень надежности в оценке их прочностных и деформационных свойств [11–19].

При множестве предложенных зависимостей построения модели деформирования изгибаемого элемента от величины возрастающей и уменьшающейся нагрузки проблема здесь заключается в сведении к минимуму параметров уравнений.

Наряду с деформационными моделями в практике проектирования длительное время применяется традиционная методика расчета по методу предельных состояний, основанная на положениях СП 63.13330.2012 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003».

Исследования показывают, что для железобетонных элементов регулярной формы сечений (прямоугольной, тавровой, двутавровой форм) расчеты на прочность с заданной точностью можно производить с использованием упрощенных диаграмм состояния материалов [20–23].

Из сравнительного анализа [23] сделаны выводы, что расчеты на прочность, полученные с использованием упрощенной деформационной модели и по СП 63.13330.2012 «Бетонные и железобетонные конструкции», отличаются незначительно. Однако кривизна и соответственно прогибы в середине пролета, вычисленные по деформационной модели, на поря-

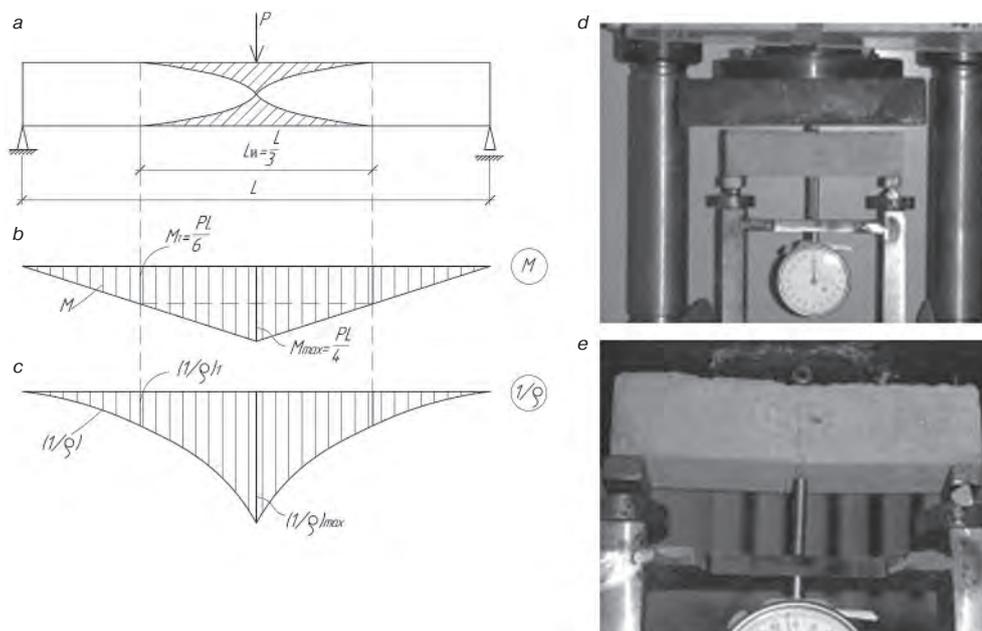


Рис. 1. Пластическая зона и пластический шарнир: а – появление пластической зоны и образование пластического шарнира; б – эпюра изгибающих моментов; с – эпюра кривизны; д – общий вид испытания образца на трехточечном изгибе; е – предразрушение образца при трехточечном изгибе

Fig. 1. Plastic zone and plastic hinge: a – the appearance of a plastic zone and the formation of a plastic hinge; b – a plot of bending moments; c – a plot of curvature; d – a general view of testing the sample for three-point bending; e – pre-destruction of the sample during three-point bending

док больше, чем по СП, следовательно, необходимо ограничить в нормах предельные и граничные значения деформаций в диаграммах деформирования бетона при осевом сжатии и арматуры при осевом растяжении.

Целью данной работы является прогнозирование получения полной диаграммы деформирования изгибаемых элементов из шлакобетона, который является матрицей и основой для построения модели деформирования элементов из сталефиброшлакобетона [6–9, 22].

Материалы и методы исследования

Образцы из шлакобетона, испытание на изгиб. Использование полностью равновесных диаграмм деформирования (ПРДД), полученных при испытаниях на изгиб [10], позволяет отобразить в полной мере реальные физические процессы накопления повреждений в материале при механических испытаниях.

В данной статье предлагается для описания полной диаграммы деформирования материала в случае неупругого изгиба использовать в качестве основного параметра деформирования модуль деформации, описывающий аналитическую зависимость полных перемещений (прогибов) от кратковременного действия возрастающей нагрузки при трехточечном и четырехточечном изгибе и зависящий от начального модуля упругости.

Для установления связи модуля деформации с начальным модулем упругости для изгибаемых элементов, не подчиняющихся закону Гука, рассмотрим примеры, показывающие, при каком значении

внешней нагрузки можно принять, что материал подчиняется закону Гука при неупругом изгибе.

Рассмотрим испытания на трехточечный и четырехточечный изгиб (рис. 1, 2).

Известно, что при испытании на изгиб образцов из упругопластического материала, например шлакобетонного элемента, имеет случай неупругого изгиба, т. е. материал не подчиняется закону Гука. Простейшим случаем неупругого изгиба является пластический шарнир, который имеет место при упруго-идеально-пластическом материале. Такой материал подчиняется закону Гука, пока напряжение не достигнет предела текучести, а затем в нем развиваются пластические деформации при постоянном напряжении.

В качестве примера рассмотрим поведение свободно опертой балки прямоугольного сечения из упруго-идеально-пластического материала под действием приложенной в середине сосредоточенной силы P (рис. 1, а).

Эпюра изгибающих моментов представляет собой треугольник, а максимальный момент M_{max} равен $PL/4$ (рис. 1, б). Если величина максимального момента будет больше, чем $M_T = PL/6 = 0,67 M_{max}$, но меньше, чем предельный момент $M_{пр}$ ($M_{пр} = M_{max} = P_{max}L/4$), то в центральной части балки будет иметь место ограниченное пластическое течение, при этом длина пластической зоны для прямоугольного сечения составит $L_{п} = L/3$ (рис. 1, а).

Распределение кривизны $(1/\rho)$, зависящей от изгибающего момента M , модуля упругости E и момента инерции сечения I и равной $M/(EI)$, показано на рис. 1, с. Прогибы в середине пролета замерялись

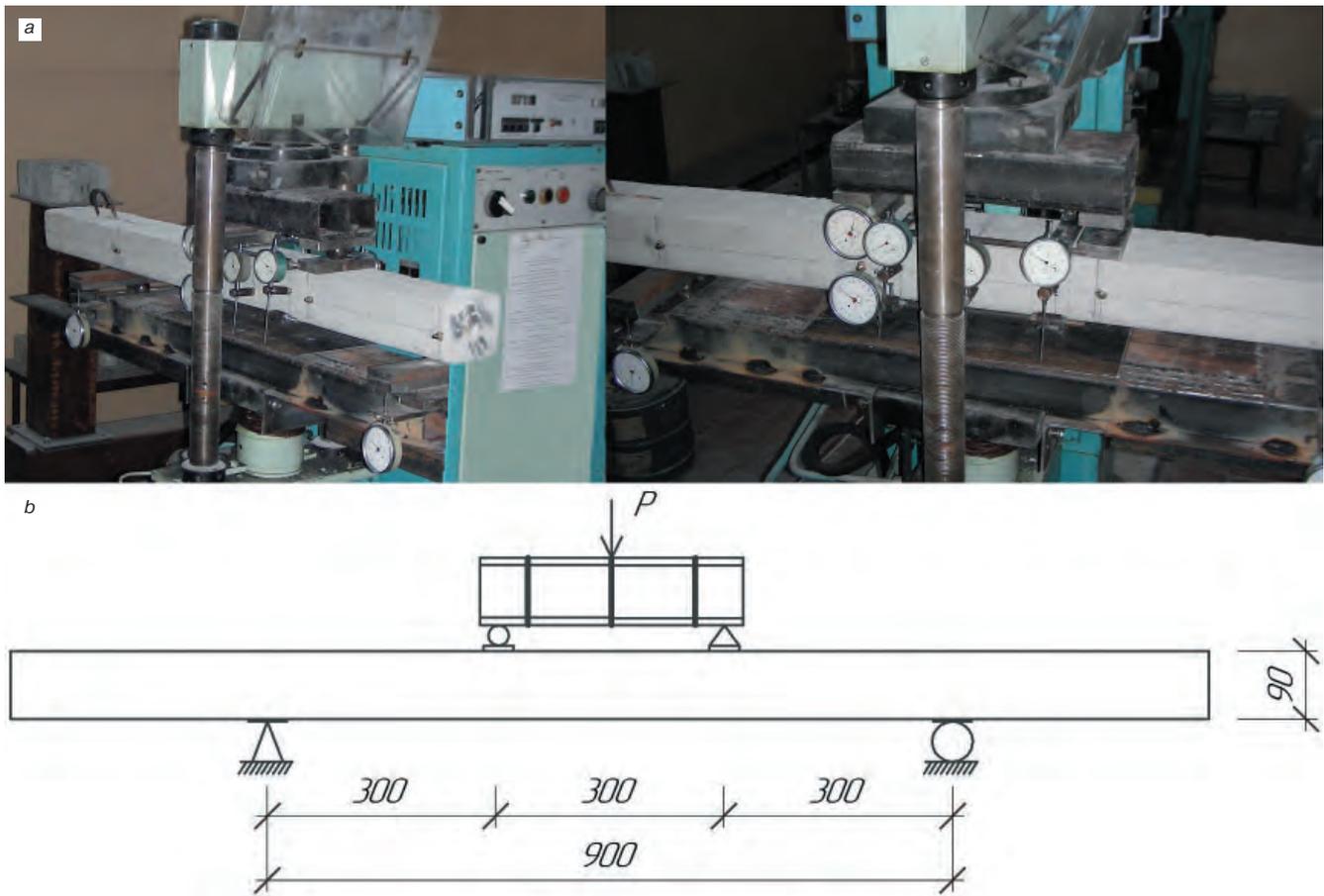


Рис. 2. Испытание балки на четырехточечный изгиб: а – общий вид испытаний; б – схема приложения нагрузки
 Fig. 2. Beam testing for four-point bending: а – general type of tests; б – load application scheme

индикатором часового типа с точностью 0,001 мм (рис. 1, d). Кривизна возрастает по линейному закону на участке от конца балки до начала пластической зоны, где кривизна равна $(1/\rho)_T$. Далее скорость ее роста увеличивается, и в центре балки достигается максимальное значение $(1/\rho)_{max}$. Величина максимальной кривизны остается конечной до тех пор, пока в центре балки продолжает сохраняться упругая зона. Когда нагрузка увеличивается еще больше и величина максимального изгибающего момента приближается к значению предельного момента $M_{пр}$, пластические зоны в середине балки начинают быстро распространяться внутрь к нейтральной оси. Наконец, когда M_{max} достигает значения $M_{пр}$, поперечное сечение в середине балки полностью превращается в пластическое (рис. 1). В середине балки кривизна становится чрезвычайно большой, быстро увеличивается прогиб в середине пролета, определяемый в опытах с использованием индикатора часового типа с точностью 0,001 мм (рис. 1, d), и возникает неограниченное пластическое течение. Значение максимального момента уже не может больше увеличи-



Рис. 3. Общий вид испытаний образца на центральное сжатие (определение модуля упругости): а – испытание призм 40×40×160 мм на прессе ИП-100; б – испытание призм 150×150×600 мм на прессе ИП-2000
 Fig. 3. General view of the sample tests for central compression (determination of the modulus of elasticity): а – testing of prisms 40×40×160 mm on the IP-100 press; б – testing of prisms 150×150×600 mm on the IP-2000 press

ваться, а нагрузка достигает максимальной величины. Балка ослабляется чрезмерно большими поворотами, которые возникают в среднем поперечном сечении, в то время как две половины балки остаются сравнительно жесткими. Таким образом, балка ведет себя подобно двум жестким стержням, соединенным пластическим шарниром, который позволяет этим двум стержням поворачиваться относительно друг друга под действием постоянного момента $M_{пр}$ (рис. 1, e).

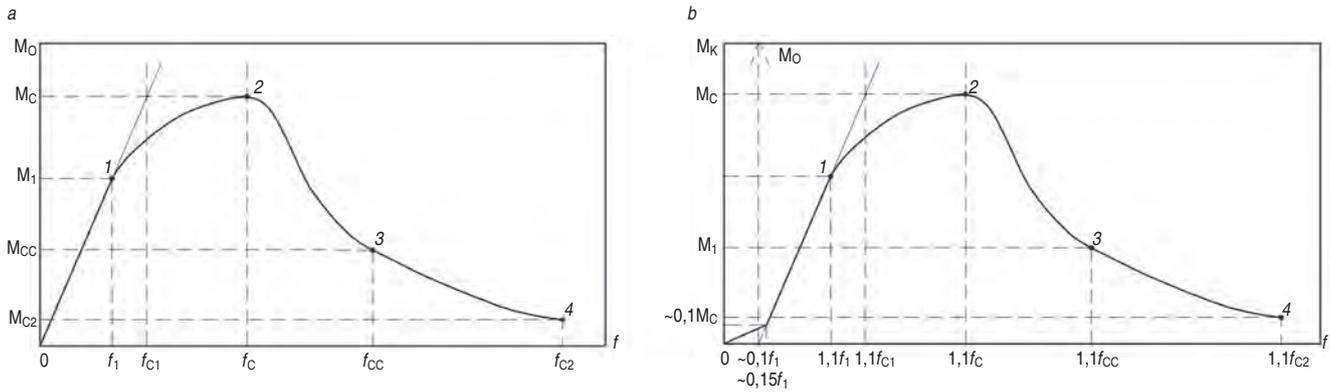


Рис. 4. Параметрические точки диаграммы «изгибающий момент – прогиб»: *a* – расчетная диаграмма; *b* – реальная диаграмма (первое приложение нагрузки); M_k – изгибающий момент (конструкция); M_0 – изгибающий момент (образец)
Fig. 4. Parametric points of the bending moment – deflection diagram: *a* – design diagram; *b* – real diagram (first load application); M_k – bending moment (design); M_0 – bending moment (sample)

Следовательно, в случае неупругого изгиба можно принять, что материал подчиняется закону Гука при значении момента $M=0,9M_T=0,6P_{max}L/4=0,6M_{max}$.

Такое же допущение можно принять и для опытных балок, подверженных испытаниям на четырехточечный изгиб (рис. 2).

Известно, что прогиб в середине пролета при упругой стадии работы балки равен:

– для трехточечного изгиба:

$$f_y = f_1 = \frac{P \cdot L^3}{48E_b I} = \frac{M \cdot L^2}{12E_b I} = \frac{0,6M_{max} \cdot L^2}{12E_b I} = \frac{0,1M_{max} \cdot L^2}{2E_b I}, \quad (1)$$

где $M=P/2 \times L/2=PL/4$;

– для четырехточечного изгиба:

$$f_y = f_1 = \frac{0,5 \cdot P \cdot L^3}{24E_b I} \cdot \left(3 \cdot \frac{a}{L} - 4 \cdot \frac{a^3}{L^3}\right) = \frac{M \cdot L^2}{8E_b I} \cdot \frac{23}{27} = \frac{0,6M_{max} \cdot L^2}{8E_b I} \cdot \frac{23}{27} = \frac{0,1M_{max} \cdot L^2}{2E_b I} \cdot \frac{23}{18}, \quad (2)$$

где $a=L/3$; $M=P/2 \times a=PL/6$.

Значение начального модуля упругости (постоянной величины) можно получить из опытов на сжатие (рис. 3) и растяжение, при измерении скорости ультразвука в материале либо непосредственно при изгибе [6–9, 24–26], ГОСТ 24452–80 «Бетоны. Методы определения призмочной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона».

При расчете железобетонных конструкций по деформациям на основе нелинейной деформационной модели (НДМ) используется модуль деформаций (секущий или касательный), который в отличие от начального модуля упругости (E_b – постоянная величина) с возрастанием величины и длительности действия нагрузки меняется по величине и, падая, стремится к нулю, а деформации достигают своих предельно максимальных значений [1, 10–19, 22].

С учетом анализа работы реальных конструкций и моделей из тяжелого и легкого бетона [2–4], а также конструкций на основе шлакобетона [6, 22, 24, 25, 28] для математического описания зависимости приложенной нагрузки (M) от прогиба (f) при изгибе при-

ем в качестве характерных параметров диаграммы « $M-f$ » следующие параметры (рис. 4):

- угол наклона восходящей ветви диаграммы к оси абсцисс α ($\operatorname{tg}\alpha=0,6M_c/f_1$);
- точка 1 окончания прямолинейного участка восходящей ветви;
- точка 2 вершины кривой деформирования;
- точка 3 перегиба ниспадающей ветви диаграммы;
- точка 4 дефрагментации образца.

Для получения полной диаграммы деформирования изгибаемого элемента в случаях неупругого изгиба (рис. 4) предлагается использовать в качестве основного параметра деформирования модуль деформации, зависящий от начального модуля упругости.

С этой целью рассмотрим определение значения начального модуля упругости при изгибе при $M=M_1=0,6M_{max}=0,6M_c$ и $f_1=0,6f_{c1}$, где M_1 и f_1 – координаты параметрической точки «1» (рис. 3); f_{c1} – «условный» упругий прогиб при допущении упругой стадии работы балки до $0,6M_c$; $f_{c1}=f_c/2,718$ [22].

Тогда из формул (1) и (2) с учетом [22] определим значение начального модуля упругости:

– для трехточечного изгиба:

$$E_b = \frac{0,1M_{max} \cdot L^2}{2I \cdot f_1} = \frac{0,1M_{max} \cdot L^2}{2I \cdot 0,6 \cdot f_{max}} \cdot 2,718 = 0,232 \cdot \frac{M_c \cdot L^2}{I \cdot f_c} = 0,232 \cdot k_M \cdot \frac{M_c}{f_c}; \quad (3)$$

– для четырехточечного изгиба:

$$E_b = \frac{0,1M_{max} \cdot L^2}{2I \cdot f_1} \cdot \frac{23}{18} = \frac{0,1M_{max} \cdot L^2}{2I \cdot 0,6 \cdot f_{max}} \cdot \frac{23}{18} \cdot 2,718 = 0,289 \cdot k_M \cdot \frac{M_c}{f_c}. \quad (4)$$

В формулах (3) и (4) $k_M=L^2/I$ – геометрический параметр деформирования при изгибе, мм^{-2} (где L – длина пролета, мм).

Анализ известных диаграмм деформирования бетона и арматуры [1, 7–23] позволяет предложить описание диаграммы (рис. 4) следующим выражением:

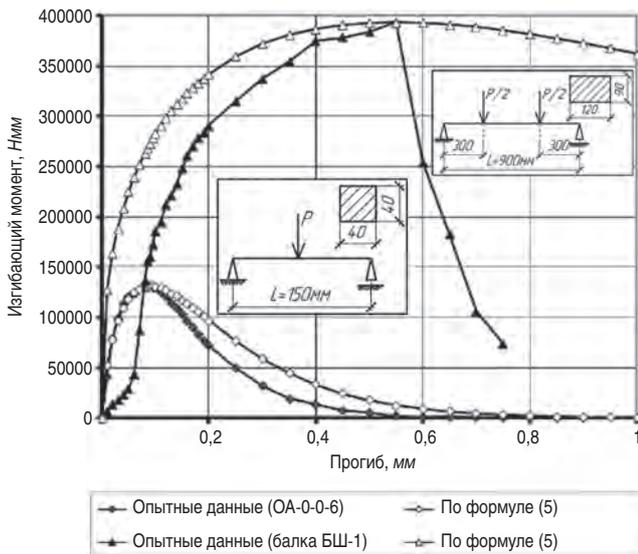


Рис. 5. Экспериментальная диаграмма деформирования
Fig. 5. Experimental deformation diagram

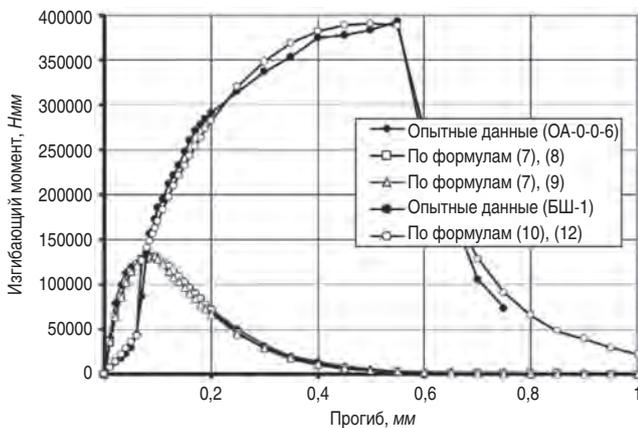


Рис. 6. Диаграмма деформирования «M – f», построенная по формулам (7)–(12), в сравнении с экспериментальными значениями
Fig. 6. The deformation diagram “M – f”, constructed according to formulas (7)–(12), in comparison with experimental values

$$M(f) = Af^B \cdot e^{Cf}, \quad (5)$$

в котором A , B и C – параметры кривой деформирования.

Параметры A , B и C уравнения (5) находим исходя из физических и геометрических соображений [22], а также на основе полученных экспериментальных данных.

Для апробации моделирования диаграммы деформирования изгибаемого шлакобетонного элемента были использованы экспериментальные диаграммы деформирования [22, 28].

Состав № 1 бетона класса В20 на основе литого шлакового щебня (ЛШЩ) (образец БШ-1), состав № 2 бетона класса В30 на основе отсева дробления ЛШЩ (фракция 0–5 мм) доменного производства НЛМК (образец БО-1) для производства несущих конструкций, в частности перемычек брусьев серий 1.038.1-1, и опытный состав № 3 мелкозернистой бетонной матрицы (образец ОА-0-0-6) приведены в табл. 1.

Таблица 1
Table 1

Составы бетона на основе ЛШЩ и отсева его дробления
Concrete compositions based on LSSH and screening from its crushing

Компонент	Расход компонентов, кг/м ³		
	Состав № 1	Состав № 2	Состав № 3
Шлакопортланд-цемент М400	328	531	–
Шлакопортланд-цемент М500	–	–	540
Литой шлаковый щебень (фр. 5–20 мм)	1030	–	–
Отсев дробления ЛШЩ (фр. 0–5 мм)	–	1423	1590
Песок (карьерный)	700	–	–
Добавка «Универсал П-2»	19	30,6	–
Воздухововлекающая добавка СНВ	–	–	0,108
Пластификатор СП-1	–	–	2,7
Пластификатор ЛСТ	–	–	0,81
Вода	170	224	125

Геометрические характеристики и начальный модуль упругости бетона образцов балок на момент испытания приведены в табл. 2.

Экспериментальные диаграммы деформирования балок при различных схемах нагружения приведены на рис. 5.

Параметры A , B и C уравнения (5), найденные исходя из физических и геометрических соображений [22], приведены в табл. 3.

Параметрические точки диаграмм деформирования изгибаемых элементов (рис. 4) на основе полученных экспериментальных данных приведены в табл. 4.

Результаты

Как видно из табл. 4 и рис. 5, на нисходящем участке наблюдается расхождение опытных и теоретических (5) значений приложенной нагрузки, поэтому необходимо внести корректировку в формулу (5) с учетом динамического движения магистральной трещины. Отмечено также, что для балки БШ-1 формула (5) не учитывает реальную работу конструкции на начальной степени нагружения ($M=0,1M_{max}$).

Для устранения выявленных расхождений и упрощения математической модели для описания диаграммы деформирования материала при изгибе через один параметр M_c (максимальное значение нагрузки), учитывая, что модуль упругости известен, представим выражение (5) в следующем виде:

$$M(f) = Afe^{Bf}. \quad (6)$$

Методика определения параметров A и B приведена в [22].

Таблица 2
Table 2

Характеристики образцов
Characteristics of samples

Марка образца (возраст бетона)	Схема нагрузки	Геометрические характеристики					Начальный модуль упругости E_b , МПа·10 ⁻³	
		b , мм	h , мм	L , мм	I , мм ⁴	k_M , мм ⁻²	При сжатии	При изгибе по (3) и (4)
ОА-0-0-6 (714 сут)	Рис. 1	40	40	150	213333,33	0,105	33,6	34,54
БШ-1 (912 сут)	Рис. 2	120	90	900	7290000	0,111	22,7	22,93
БО-1 (912 сут)	Рис. 2	120	90	900	7290000	0,111	26,4	26,3

Приведем ниже выражения зависимости « $M - f$ »:
– для трехточечного изгиба:

$$M(f) = \frac{E_b}{0,0833 \cdot k_M} \cdot f \cdot e^{-\frac{f}{f_c}}, \text{ при } 0 \leq f \leq 0,1f_c; \quad (7)$$

$$M(f) = \frac{E_b}{0,0833 \cdot k_M} \cdot f \cdot e^{-\frac{f}{f_c}} \left\{ 1 + \frac{M_c \cdot 0,0833 \cdot k_M}{E_b \cdot f_c} \left[1 - \left(\frac{f}{f_c} \right)^{0,333} \right] \right\},$$

при $0,1f_c \leq f \leq f_c$; (8)

$$M(f) = \frac{E_b}{0,0833 \cdot k_M} \cdot f \cdot e^{-\frac{f}{f_c}} / \left[0,98 \cdot \left(\frac{f}{f_c} \right)^{0,333} \right], \text{ при } f \geq f_c; \quad (9)$$

– для четырехточечного изгиба:

$$M(f) = \frac{M_c}{f_c} \cdot f, \text{ при } 0 \leq f \leq 0,1f_c; \quad (10)$$

$$M(f) = \frac{E_b}{0,1063 \cdot k_M} \cdot f \cdot e^{-\frac{f}{f_c}} / \left[0,95 + \left(0,25 \cdot \frac{f}{f_c} \right)^2 \right],$$

при $0,1f_c \leq f \leq f_c$; (11)

$$M(f) = \frac{E_b}{0,1063 \cdot k_M} \cdot f \cdot \frac{e^{-\frac{f}{f_c}}}{\left[0,95 + \left(\frac{f}{f_c} \right)^{4,5} \right]}, \text{ при } f \geq f_c; \quad (12)$$

С использованием формул (7)–(12) и с учетом экспериментальных значений на рис. 6 построена полная равновесная диаграмма « $M - f$ ».

Заключение

Предложенная математическая модель описания полной равновесной диаграммы деформирования изгибаемого элемента из шлакобетона с использованием только одного опытного параметра (наиболь-

Значения параметров деформирования
Values of deformation parameters

Образец	A, Н/мм	B	C, 1/мм
ОА-0-0-6	1455533	0,7066	-7,7508
БШ-1	715091	0,3742	-0,6803
БО-1	679268	0,1656	-0,2019

шей нагрузки M_c) и известного начального модуля упругости материала позволяет исключить проведение сложных равновесных опытов, связанных с постоянной регистрацией прогибов на каждой ступени нагружения, и способна моделировать работу материала на любой стадии нагружения, вплоть до разрушения.

Прогнозирование характера и вида деформирования изгибаемых элементов из шлакобетона можно осуществить также только по одному параметру, который является основным и обязательным (прочность бетона при сжатии – R_m и $R_b = 0,9R_m$ [6]).

Приведем примеры.

Начальный модуль упругости зависит от прочности бетона и определяется по зависимости [7]:

$$E_b = 1,95 \cdot (100 \cdot \ln(R_b) + 1780) \sqrt{R_m}. \quad (13)$$

Временное сопротивление мелкозернистого шлакобетона, например составы № 2 и 3, осевому растяжению (МПа) можно определять по эмпирической формуле:

Таблица 4
Table 4

Значения параметрических точек диаграммы деформирования
Values of parametric points of the deformation diagram

Параметрические точки	$\text{tg}\alpha$	Точка 1		Точка 2		Точка 3		Точка 4	
	M_1/f_1 , Н·10 ⁻⁶	$M_1=0,6M_c$, Н·мм	$0,6f_{c1}$, мм	M_c , Н·мм	f_c , мм	M_{c3} , Н·мм	$1,5f_c$, мм	M_{c2} , Н·мм	$2f_{c2}$, мм
ОА-0-0-6 (опыт)	3,96	79150	0,02	132988	0,09	108863	0,14	83400	0,19
ОА-0-0-6 по (5)	3,93	78593		130998		120888		98315	
БШ-1 (опыт)	1,98	237150	0,12	394100	0,55	–	0,85	–	1,1
БШ-1 по (5)	1,97	235989		393315		377445		362201	
БО-1 (опыт)	1,85	332460	0,18	557000	0,82	–	1,23	–	1,64
БО-1 по (5)	1,83	330128		550200		500182		406652	

Таблица 5
Table 5

Прочностные и прогнозируемые деформативные характеристики изгибаемых образцов
Strength and predicted deformative characteristics of bent samples

Марка образца	Прочность бетона, МПа								E_b , МПа	M_{max} , Нм
	при сжатии, R_m		при растяжении							
			R_{btb} (изгиб)			R_{btw} [27,29]				
	*	**	*	***(17)	**	***(17)	****	***(16)		
ОА	51	47,4	7,22	7,23	2,56	2,89	1,6	2,88	30116	130,531
БШ	35,1	29,5	4,03	3,80	1,42	1,52	0,95	1,43	22325	390,861
БО	40,1	37,3	4,52	4,48	2,02	2,02	1,12	2,02	25383	553,588

Примечания:
 * Испытания образцов сечением 40×40 мм.
 ** Испытания образцов сечением 100×100 мм.
 *** Полученные по формулам.
 **** Испытания образцов сечением 100×100 мм на расклинивание.

$$R_{bt} = 0,21 \cdot \alpha \cdot \sqrt[3]{R_m^2}, \quad (14)$$

где α – масштабный коэффициент ($\alpha=1$ для сечения 40×40 мм и $\alpha=0,86$ для сечения 100×100 мм (составы № 2 и 3) и $\alpha=0,71$ (состав № 1 для сечения 100×100 мм)).

Вследствие неоднородности структуры бетона формула (14) не всегда дает правильные значения R_{bt} , поэтому значение R_{bt} определяют испытаниями: на разрыв – образцов в виде восьмерки, на расклинивание R_{btw} [26–28], на изгиб бетонных балок (рис. 1).

На основании опытных данных установлена зависимость между значением R_{bt} , определяемым по формуле (14), и прочностью при растяжении при расклинивании R_{btw} , полученной при испытании образцов сечением 100×100 мм:

$$R_{bt} = \gamma \cdot R_{btw}, \quad (15)$$

где $\gamma=1,5$ для шлакобетона (состав № 1) и $\gamma=1,8$ для мелкозернистого шлакобетона (составы № 2 и 3).

Прочность при растяжении при изгибе можно определить по разрушающему моменту бетонной балки:

$$R_{btb} = \frac{M}{W} \cdot k_{P_{max}}, \quad (16)$$

где $M=M_{max}=P_{max}/2 \times L/2 = P_{max}L/4$ – максимальный изгибающий момент; $W=bh^2/6$ – момент сопротивления прямоугольного сечения; $k_{P_{max}}=0,59$ – коэффициент учета неупругих деформаций в бетоне растянутой зоны образца.

На основании опытных данных при испытании балок на изгиб получена зависимость прочности при

Список литературы

1. Карпенко Н.И. Общие модели механики железобетона. М.: Стройиздат, 1996. 416 с.
2. Берг О.Я., Щербakov Е.Н., Писанко Г.Н. Высокопрочный бетон. М.: Стройиздат, 1971. 208 с.

растяжении при изгибе от прочности бетона при сжатии:

$$R_{btb} = \beta \cdot R_{bt} = 0,21 \cdot \alpha \cdot \beta \cdot \sqrt[3]{R_m^2}, \quad (17)$$

где β – масштабный коэффициент, учитывающий схему нагружения балки сечением 40x40 мм ($\beta=2,5$ при поперечном (трехточечном) изгибе и $\beta=1,6$ при чистом (четырёхточечном) изгибе (состав № 3); $\beta=1$ (составы № 1 и 2) при испытании балок сечением 100×100 мм на чистый (четырёхточечный) изгиб).

Используя формулы (15) и (16), определяем значение M_{max} :

$$M_{max} = R_{btb} \cdot \frac{W}{k_{P_{max}}} = 0,36 \cdot \alpha \cdot \beta \cdot \sqrt[3]{R_m^2}. \quad (18)$$

В табл. 5 приведены опытные прочностные характеристики исследуемых бетонов и прогнозируемые параметры E_b и M_{max} , полученные соответственно по формулам (13) и (18) и зависящие от прочностной характеристики бетона R_m .

Выводы

Таким образом, прогнозирование характера и вида деформирования изгибаемых элементов из шлакобетона можно осуществить по результатам испытания образцов на сжатие, т. е. использовать сопротивление разрушению как интегральную конструкционную характеристику бетона.

References

1. Karpenko N.I. Obshchie modeli mekhaniki zhelezobetona [General models of reinforced concrete mechanics]. Moscow: Stroyizdat. 1996. 416 p.
2. Berg O.Ya., Shcherbakov E.N., Pisanko G.N. Vysokoprochnyi beton [High-strength concrete]. Moscow: Stroyizdat. 1971. 208 p.
3. Sheikin A.E., Chekhovskiy Yu.V., Brousser M.I. Struktura i svoistva tsementnykh betonov [Structure and properties of cement concrete]. Moscow: Stroyizdat. 1979. 344 p.

3. Шейкин А.Е., Чеховский Ю.В., Бруссер М.И. Структура и свойства цементных бетонов. М.: Стройиздат, 1979. 344 с.
4. Иванов И.А. Легкие бетоны на искусственных пористых заполнителях. М.: Стройиздат, 1993. 182 с.
5. Уфимцев В. М., Коробейников Л.А. Шлаки в составе бетона: новые возможности // *Технологии бетонов*. 2014. № 6. С. 50–53.
6. Черноусов Н.Н., Пантелькин И.И. Железобетонные конструкции с использованием дисперсно-армированного шлакопемзобетона. М.: АСВ, 1998. 230 с.
7. Черноусов Н.Н., Черноусов Р.Н., Суханов А.В. Исследование механики работы мелкозернистого шлакобетона при осевом растяжении и сжатии // *Строительные материалы*. 2014. № 12. С. 59–63.
8. Бондарев Б.А., Черноусов Н.Н., Черноусов Р.Н., Стурова В.А. Исследование прочностных свойств сталефиброшлакобетона при осевом растяжении и сжатии с учетом его возраста // *Строительные материалы*. 2017. № 5. С. 20–24.
9. Бондарев Б.А., Черноусов Н.Н., Черноусов Р.Н., Стурова В.А. Исследование деформативных свойств сталефиброшлакобетона при осевом растяжении и сжатии с учетом его возраста // *Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура*. 2017. Т. 8. № 1. С. 18–31.
10. 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.
11. Майоров В.И., Рацириниву Де Руссель Жильбер. Исследование и аналитическое описание диаграммы работы бетона при расчете железобетонных конструкций по деформационной модели // *Вестник Российского университета дружбы народов. Сер.: Инженерные исследования*. 2000. № 3. С. 97–102.
12. Карпенко Н.И., Радайкин О.В. К определению деформаций изгибаемых железобетонных элементов с использованием диаграмм деформирования бетона и арматуры // *Строительство и реконструкция*. 2012. № 2 (40). С. 11–18.
13. Карпенко Н.И., Радайкин О.В. К совершенствованию диаграмм деформирования бетона для определения момента трещинообразования и разрушающего момента в изгибаемых железобетонных элементах // *Строительство и реконструкция*. 2012. № 3 (41). С. 10–17.
14. Карпенко Н.И., Соколов Б.С., Радайкин О.В. К оценке прочности, жесткости, момента образования трещин и их раскрытия в зоне чистого изгиба железобетонных балок с применением нелинейной деформационной модели // *Известия вузов. Строительство*. 2016. № 3. С. 5–12.
15. Панфилов Д.А., Пищулев А.А., Гимадетдинов К.И. Обзор существующих диаграмм деформирования бетона при сжатии в отечественных и зарубежных
4. Ivanov I.A. Legkie betony na iskusstvennykh poristyykh zapolnitelyakh [Light concretes on artificial porous aggregates]. Moscow: Stroyizdat. 1993. 182 p.
5. Ufimtsev V. M., Korobenikov L.A. Shlaki as part of concrete: new opportunities. *Tekhnologii betonov*. 2014. No. 6, pp. 50–53. (In Russian).
6. Chernousov N.N., Pantel'kin I.I. Zhelezobetonnye konstruksii s ispol'zovaniem dispersno-armirovannogo shlakopemzobetona [Reinforced concrete structures using dispersed-reinforced slag-ground concrete]. Moscow: ASV. 1998. 230 p.
7. Chernousov N.N., Chernousov R.N., Sukhanov A.V. Study of the mechanics of fine-grained slag concrete in axial tension and compression. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 12, pp. 59–63. (In Russian).
8. Bondarev B.A., Chernousov N.N., Chernousov R.N., Sturova V.A. Study of the strength properties of steelfibreshlakobeton during axial tension and compression taking into account its age. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 5, pp. 20–24. (In Russian).
9. Bondarev B.A., Chernousov N.N., Chernousov R.N., Sturova V.A. Study of the deformative properties of steelfibreshlakobeton in axial tension and compression taking into account its age. *Vestnik PNIPU. Stroitel'stvo i arkhitektura*. 2017. Vol. 8, pp. 18–31. (In Russian).
10. Bazhenov Yu.M., Chernyshov E.M., Korotkikh D.N. Construction of structures of modern concretes: defining principles and technological platforms. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 3, pp. 6–14. (In Russian).
11. Maiorov V.I., Ratsirinivu De Russel' Zhil'ber. Study and analytical description of the concrete work diagram when calculating reinforced concrete structures according to the deformation model. *Vestnik Rossiiskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: Inzhenerye issledovaniya*. 2000. No. 3, pp. 97–102. (In Russian).
12. Karpenko N.I., Radaikin O.V. To determine the deformations of bent reinforced concrete elements using concrete deformation and reinforcement diagrams. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*. 2012. No. 2 (40), pp. 11–18. (In Russian).
13. Karpenko N.I., Radaikin O.V. To improve concrete deformation diagrams for determining the moment of cracking and breaking moment in bending reinforced concrete elements. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*. 2012. No. 3 (41), pp. 10–17. (In Russian).
14. Karpenko N.I., Sokolov B.S., Radaikin O.V. To assess the strength, stiffness, moment of crack formation and their opening in the zone of clean bending of reinforced concrete beams using a nonlinear deformation model. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo*. 2016. No. 3, pp. 5–12. (In Russian).
15. Panfilov D.A., Pishchulev A.A., Gimadetdinov K.I. Review of existing concrete deformation diagrams during compression in domestic and foreign regulatory

- нормативных документах // *Промышленное и гражданское строительство*. 2014. № 3. С. 80–83.
16. Варламов А.А., Шишлонов Е.А., Ткач Е.Н., Шумилин М.С., Гончаров Д.В. Закономерности связи напряжений и деформаций в бетоне // *Academy*. 2016. № 2 (5). С. 7–16.
 17. Радайкин О.В. К построению диаграмм деформирования бетона при одноосном кратковременном растяжении/сжатии с применением деформационного критерия повреждаемости // *Вестник гражданских инженеров*. 2017. № 6 (65). С. 71–78.
 18. Радайкин О.В. Сравнительный анализ различных диаграмм деформирования бетона по критерию энергозатрат на деформирование и разрушение // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. 2019. № 10. С. 29–39.
 19. Федоров В.С., Шавыкина М.В., Юсупова Е.В. Прогнбы железобетонных конструкций в предельном состоянии // *Строительство и реконструкция*. 2017. № 4 (72). С. 80–85.
 20. Shah S.P., Jehu R. Strain rate effects an mode crack propagation in Concrete. *Fract. Toughness and Fract. Energy: Coner. Proc. Conf. Lensaune*. 1985. Oct. 1–3. Amsterdam. 1986, pp. 453–465.
 21. Jeng Y., Shah S.P. Two berameter fracture model for concrete // *Journal of Engineering Mechanics*. 1985. № 10, pp. 1227–1241.
 22. Черноусов Н.Н., Стурова В.А. Математическая модель полной диаграммы деформирования шлакобетона при трехточечном изгибе // *Современные наукоемкие технологии*. 2020. № 3. С. 92–96.
 23. Ерышев В.А. Деформационный метод расчета прочности железобетонных изгибаемых элементов с использованием диаграмм деформирования для упругопластических материалов // *Системы. Методы. Технологии*. 2018. № 1 (37). С. 79–84.
 24. Бондарев Б.А., Черноусов Н.Н., Черноусов Р.Н., Стурова В.А. Динамический и статический модуль упругости сталефиброшлакобетона (СФШБ) // *Colloquium-journal*. 2019. № 15-1 (39). С. 4–6.
 25. Бондарев Б.А., Черноусов Р.Н. Определение модуля упругости и предела прочности сталефибробетона при растяжении методом расклинивания // *Научный вестник ВГАСУ. Строительство и архитектура*. 2008. № 3 (11). С. 67–71.
 26. Патент РФ 2402008. Способ испытания дисперсно-армированных бетонов на растяжение / Черноусов Н.Н., Черноусов Р.Н. Заявл. 07.12.2009. Опубл. 20.10.2010. Бюл. № 29.
 27. Патент РФ 2544299. Способ испытания образцов строительных материалов на растяжение / Черноусов Н.Н., Черноусов Р.Н., Суханов А.В., Прокофьев А.Н. Заявл. 23.07.2013. Опубл. 20.03.15. Бюл. № 8.
 28. Черноусов Н.Н., Черноусов Р.Н. Изгибаемые сталефиброшлакобетонные элементы // *Бетон и железобетон*. 2010. № 4. С. 7–11.
 - documents. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2014. No. 3, pp. 80–83. (In Russian).
 16. Varlamov A.A., Shishlonov E.A., Tkach E.N., Shumilin M.S., Goncharov D.V. Patterns of the connection of stresses and deformations in concrete. *Academy*. 2016. No. 2 (5), pp. 7–16. (In Russian).
 17. Radaykin, O.V. To the construction of concrete deformation diagrams at uniaxial shortterm tension/compression using the deformation criterion of damage. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*. 2017. No. 6 (65), pp. 71–78. (In Russian).
 18. Radaikin O.V. Comparative analysis of various concrete deformation diagrams according to the criterion of energy consumption for deformation and destruction. *Vestnik BGTU im. V.G. Shukhova*. 2019. No. 10, pp. 29–39. (In Russian).
 19. Fedorov V.S., Shavykina M.V., Yusupova E.V. Deflections of reinforced concrete structures in maximum condition. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*. 2017. No. 4 (72), pp. 80–85. (In Russian).
 20. Shah S.P., Jehu R. Strain rate effects an mode crack propagation in Concrete. *Fract. Toughness and Fract. Energy: Coner. Proc. Conf. Lensaune*. 1985. Oct. 1–3. Amsterdam, 1986, pp. 453–465.
 21. Jeng Y., Shah S.P. Two berameter fracture model for concrete. *Journal of Engineering Mechanics*. 1985. No. 10, pp. 1227–1241.
 22. Chernousov N.N., Sturova V.A. Mathematical model of the complete diagram of slag concrete deformation at three-point bending. *Modern science-intensive technologies*. 2020. No. 3, pp. 92–96. (In Russian).
 23. Eryshev V.A. Deformation method of calculating the strength of reinforced concrete bent elements using deformation diagrams for elastoplastic materials. *Sistemy. Metody. Tekhnologii*. 2018. No. 1 (37), pp. 79–84. (In Russian).
 24. Bondarev B.A., Chernousov N.N., Chernousov R.N., Sturova V.A. Dynamic and static modulus of elasticity of steelfibroshlakobeton (SFShB). *Colloquium-journal*. 2019. No. 15-1 (39), pp. 4–6. (In Russian).
 25. Bondarev B.A., Chernousov R.N. Determination of the modulus of elasticity and ultimate strength of steel fiber concrete during tensile by the method of propping. *Nauchnyi vestnik VGASU. Stroitel'stvo i arkhitektura*. 2008. No. 3 (11), pp. 67–71. (In Russian).
 26. Patent RF 2402008. Sposob ispytaniya dispersno-armirovannykh betonov na rastyazhenie [Method of testing dispersion-reinforced concrete for tension]. Chernousov N.N., Chernousov R.N. Declared 07.12.2009. Publ. 20.10.2010. Bul. No. 29. (In Russian).
 27. Patent RF 2544299. Sposob ispytaniya obraztsov stroitel'nykh materialov na rastyazhenie [Method for testing samples of building materials for tension]. Chernousov N.N., Chernousov R.N., Sukhanov A.V., Prokofiev A.N. Declared. 23.07.2013. Publ. 20.03.15. Bul. No. 8. (In Russian).
 28. Chernousov N.N., Chernousov R.N. Bending steel-fibroblock concrete elements. *Beton i zhelezobeton*. 2010. No. 4, pp. 7–11. (In Russian).

Производство крупнопанельных элементов и модулей для домостроения — кассетная технология «Бабочка»

Production of Large-Panel Elements and Modules for Housing Construction — Cassette Technology "Butterfly"

Глобальная тенденция использования сборных конструкций в строительной отрасли все больше набирает обороты. Модульное строительство обеспечивает экономию времени и затрат, а также гарантированное качество конечного продукта благодаря высокой эффективности производства на заводе сборных бетонных конструкций. Этот факт еще более важен в проектах массового жилищного строительства, которые в настоящее время необходимы для удовлетворения потребности в доступном жилье.

The global trend of using prefabricated structures in the construction industry is gaining momentum. Modular construction provides time and cost savings, as well as guaranteed quality of the final product due to the high production efficiency of production at the precast concrete structures plant. This fact is even more important in mass housing construction projects that are currently required to meet the need for affordable housing. Modular production makes it possible to reduce the construction time due to the high degree of factory readiness.

Сегментирование компонентов здания может происходить на разных этапах: от отдельных колонн и балок, элементов стен и потолков до готовых элементов помещения. Для изготовления крупных панелей существуют различные методы и соответственно различное оборудование с индивидуальными преимуществами и недостатками. Основываясь на многолетнем опыте в проектировании и изготовлении производственного оборудования, компания В.Т. innovation GmbH разработала технологию «Бабочка», которая сочетает в себе преимущества горизонтальной подготовки и верти-

кального бетонирования сборных элементов. Опалубка «Бабочка» позволяет просто и точно подготовить встроенные элементы (анкеры, дверные и оконные проемы, подводку и т. д.) и арматуру на одном рабочем месте. Затем она перемещается в кассетную опалубку и выступает в качестве составной части, обеспечивающей вертикальное производство нескольких сборных элементов.

Для формирования элементов на опалубке «Бабочка» компания В.Т. innovation GmbH предлагает индивидуальные опалубочные решения. Хорошо известная и



Модульное производство позволяет сократить сроки строительства благодаря высокой степени заводской готовности
Modular production makes it possible to reduce the construction time due to the high degree of factory readiness



Кассетная установка и опалубка «Бабочка» сочетают в себе преимущества горизонтальной подготовки и вертикального производства
The cassette installation and the "Butterfly" formwork combine the advantages of horizontal preparation and vertical production



Опалубка «Бабочка» в развернутом положении – горизонтальная подготовка
"Butterfly" formwork in the unfolded position – horizontal preparation



Установка опалубки «Бабочка» в кассетную установку
Installation of the "Butterfly" formwork in a cassette unit



Плавное складывание опалубки с помощью специального гидравлического оборудования
Smooth folding of the formwork using special hydraulic equipment

проверенная опалубка MultiForm и магниты MagFly® от BT innovation имеют оптимальную форму и положение, чтобы выдерживать значительное гидравлическое давление свежего бетона на высоте до 4 м.



Опалубка MultiForm с магнитами MagFly®
MultiForm formwork with MagFly® magnets

Горизонтальная подготовка на опалубке «Бабочка» позволяет размечать положение встроенных деталей, углублений и профилей опалубки с помощью лазерных проекторов. Кроме того, системы управления с индивидуальным программным обеспечением способствуют хорошо структурированному и безопасному рабочему процессу на заводе сборных конструкций.

Технология кассетной установки «Бабочка» в настоящее время используется в Европе и Африке, на разных уровнях автоматизации и сложности. Конечной продукцией являются высококачественные панели с очень гладкой поверхностью со всех сторон, которые либо устанавливаются в здания непосредственно на месте, либо являются структурными компонентами сборных модулей помещений на заводе.

В.Т. innovation GmbH как поставщик технологий в области сборного строительства ориентируется на индивидуальные требования клиентов и разрабатывает индивидуальные решения с учетом целевого бюджета, мощности, размера или объема поставки.



Кассетная установка с магнитами MagFly®
Cassette installation with MagFly® magnets

Кассетная установка «Бабочка» устанавливает новый стандарт производства сборных элементов в модульном строительстве



В.Т. innovation GmbH
Sudenburger Wuhne 60
39116 Magdeburg
Германия
T + 49 391 73520
F + 49 391 735252
info@bt-innovation.de
www.bt-innovation.de



УДК 691.87

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-800-3-27-31>

А.В. КУРШПЕЛЬ, канд. техн. наук (a.kurshpel@yandex.ru),

В.Х. КУРШПЕЛЬ, канд. техн. наук (vkurshpel@yandex.ru)

УрФУ им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, институт строительства и архитектуры
(620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 17)

Влияние стекловолоконных сеток в защитном слое бетона на несущую способность изгибаемых элементов

Повышению надежности и долговечности железобетонных конструкций в нашей стране и за рубежом уделяется большое внимание. Имеющийся опыт по использованию армирующих элементов из композитных материалов, наклеиваемых на поверхность железобетонных конструкций в стадии их эксплуатации для повышения надежности и долговечности железобетонных конструкций, дает положительные результаты. Однако указанный способ имеет существенные недостатки, в том числе механические повреждения, разрушение клеевого слоя на контакте с бетонной поверхностью, происходящее по разным причинам: агрессивное воздействие окружающей среды и другие факторы, приводящие к отслоению или полному разрушению наклеиваемых материалов. Авторами предложен новый способ повышения надежности и долговечности железобетонных конструкций путем использования стекловолоконных сеток, обладающих высокой прочностью и стойкостью к агрессивным средам, устраняющий недостатки указанных выше решений. Сущность предлагаемого способа состоит в том, что на стадии возведения конструкции на поддоны и борта форм укладывают стекловолоконные сетки, которые после установки стальной арматуры в проектное положение оказываются в защитном слое бетона между формой и арматурным каркасом. Указанный способ исключает недостатки способа с наклейкой композитов, поскольку стекловолоконные сетки располагаются внутри железобетонной конструкции, не имеют клеевого слоя, не могут отслаиваться при образовании трещин и повреждений бетона под действием нагрузок, а также защищены от непосредственного влияния окружающей среды, что позволяет обеспечить их работоспособность на длительный период эксплуатации. В настоящее время для использования стекловолоконных сеток в качестве армирующих элементов разработаны нормативные документы, изданы стандарты, устанавливающие требования к сеткам из композитных материалов. Однако нормативные документы по расчету железобетонных конструкций со стальной арматурой и стекловолоконными сетками в защитном слое бетона в настоящее время отсутствуют. В статье в качестве примера предложено использовать для инженерного расчета прочности изгибаемого элемента два действующих документа – СП 63.13330.2018 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения» и СП 295.1325800.2017 «Конструкции бетонные, армированные полимерной композитной арматурой. Правила проектирования».

Ключевые слова: железобетонные конструкции, изгибаемые элементы, стекловолоконные сетки, защитный слой бетона, инженерные расчеты, арматура, напряжение, трещины, надежность, долговечность.

Для цитирования: Куршпель А.В., Куршпель В.Х. Влияние стекловолоконных сеток в защитном слое бетона на несущую способность изгибаемых элементов // *Строительные материалы*. 2022. № 3. С. 27–31. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-800-3-27-31>

A.V. KURSHPEL, Candidate of Sciences (Engineering), (a.kurshpel@yandex.ru), V.Kh. KURSHPEL, Candidate of Sciences (Engineering)
Ural Federal University named after the First President of Russia B.N. Yeltsin, Institute of Construction and Architecture
(17, Mira Street, Yekaterinburg, 620002, Russian Federation)

The Effect of Fiberglass Nets in the Protective Layer of Concrete on the Bearing Capacity of the Bendable Elements

Much attention is paid to improving the reliability and durability of reinforced concrete structures in our country and abroad. The existing experience in the use of reinforcing elements made of composite materials glued to the surface of reinforced concrete structures at the stage of their operation to increase the reliability and durability of reinforced concrete structures gives positive results. However, this method has significant drawbacks, including mechanical damages, destruction of the adhesive layer on contact with the concrete surface, which occurs for various reasons – aggressive environmental influences and other factors leading to detachment or complete destruction of the materials being glued. The authors propose a new way to increase the reliability and durability of reinforced concrete structures by using fiberglass nets with high strength and resistance to aggressive environments, eliminating the disadvantages of the above solutions. The essence of the proposed method is that at the stage of construction of the structure, fiberglass nets are laid on pallets and sides of the molds, which, after installing the steel reinforcement in the design position, turn out to be in a protective layer of concrete between the mold and the reinforcement cage. This method eliminates the disadvantages of the method with the sticker of composites, since fiberglass nets are located inside a reinforced concrete structure, do not have an adhesive layer, cannot peel off when cracks and concrete damage occur under the action of loads, and are also protected from the direct influence of the environment, which makes it possible to ensure their operability for a long period of operation. At present, regulatory documents have been developed for the use of fiberglass net as reinforcing elements, and standards have been issued that establish requirements for nets made of composite materials. However, there are currently no regulatory documents for the calculation of reinforced concrete structures with steel reinforcement and fiberglass nets in the protective layer of concrete. In the article, as an example, it is proposed to use two valid documents for the engineering calculation of the strength of the bendable element – SP 63.13330.2018 “Concrete and reinforced concrete structures. Basic provisions” and SP 295.1325800.2017 “Concrete structures reinforced with polymer composite reinforcement. Design rules”.

Keywords: reinforced concrete structures, bendable elements, fiberglass nets, protective layer of concrete, engineering calculations, reinforcement, stress, cracks, reliability, durability.

For citation: Kurshpel A.V., Kurshpel V.Kh. The effect of fiberglass nets in the protective layer of concrete on the bearing capacity of the bendable elements. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2022. No. 3, pp. 27–31. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-800-3-27-31>

Повышение надежности и долговечности несущих конструкций из железобетона является важной народнохозяйственной задачей, имеющей большое практическое значение. Этой проблеме уделяется большое внимание. В мировой практике наряду с другими методами повышения надежности и долговечности широко используют композитные материалы в виде холстов, жгутов, сеток и других гибких элементов на основе базальтовых, углеродных, полиэфирных и других высокопрочных нитей, наклеиваемых на открытые поверхности железобетонных конструкций [1–3]. Недостатком указанного выше способа повышения надежности и долговечности железобетонных конструкций в агрессивных условиях окружающей среды является возникновение неконтролируемых повреждений наклеенных на бетон материалов по ряду причин: 1) внешние механические повреждения; 2) разрушение наклеенных слоев при образовании трещин в стадии эксплуатации; 3) нарушение сцепления клеевого состава с бетоном; 4) повреждения при температурных воздействиях; 5) низкое качество выполняемых работ при наклеивке усиливающих элементов вручную или в неблагоприятных условиях. Перечисленные недостатки указанного способа могут привести к серьезным повреждениям или полному разрушению железобетонных конструкций, что требует постоянного наблюдения за их состоянием в стадии эксплуатации.

В настоящее время предложен новый способ повышения надежности и долговечности железобетонных конструкций путем установки щелочестойких стекловолоконных сеток в защитный слой бетона при изготовлении [4]. В этом случае стекловолоконные сетки изначально находятся внутри железобетонной конструкции, не подвергаются непосредственно внешним агрессивным воздействиям и механическим повреждениям, что позволяет обеспечить их работоспособность на длительный период эксплуатации.

Для использования стекловолоконных сеток в качестве армирующих элементов созданы необхо-

димые нормативные предпосылки. Изданы стандарты, устанавливающие требования к сеткам и стержням из композитных материалов, применяемых в строительстве [5–8], которые допускают использование неметаллической арматуры для армирования конструкций из бетона. Разработаны примеры расчетов усиления железобетонных конструкций холстами из композитных материалов, наклеиваемых на открытые поверхности бетона [9, 10], однако документы по расчету конструкций со стальной арматурой и стекловолоконными сетками в защитном слое бетона в настоящее время отсутствуют. В расчетах прочности изгибаемых элементов со стальной арматурой и стекловолоконными сетками в защитном слое бетона предлагается использовать два нормативных документа – СП 63.13330.2018 [8] и СП 295.1325800.2017 [11].

Пример № 1. Расчет прочности опытной балки со стальной арматурой на изгибающий момент

Расположение стальной арматуры в опытной балке показано на рис. 1.

Исходная формула для расчета несущей способности по изгибающему моменту:

$$M \leq M_{ult}$$

где M – изгибающий момент от внешней нагрузки; M_{ult} – предельный момент, воспринимаемый сечением.

Схема действующих усилий в поперечном сечении эталонной балки представлена на рис. 2.

Расчетные характеристики бетона и арматуры:

Бетон класса В25. Расчетное сопротивление на осевое сжатие $R_b=14,5$ МПа, на осевое растяжение – $R_{bt}=1,05$ МПа.

Арматура в растянутой зоне *класса А400, 2Ø8,* $A_s=1,01$ см²=0,000101 м². Расчетное сопротивление на растяжение-сжатие $R_s=350$ МПа. Толщина защитного слоя бетона в растянутой зоне $a=2$ см.

Арматура в сжатой зоне *класса А240, 2Ø6,* $A_s=0,000057$ м². Расчетное сопротивление на растя-

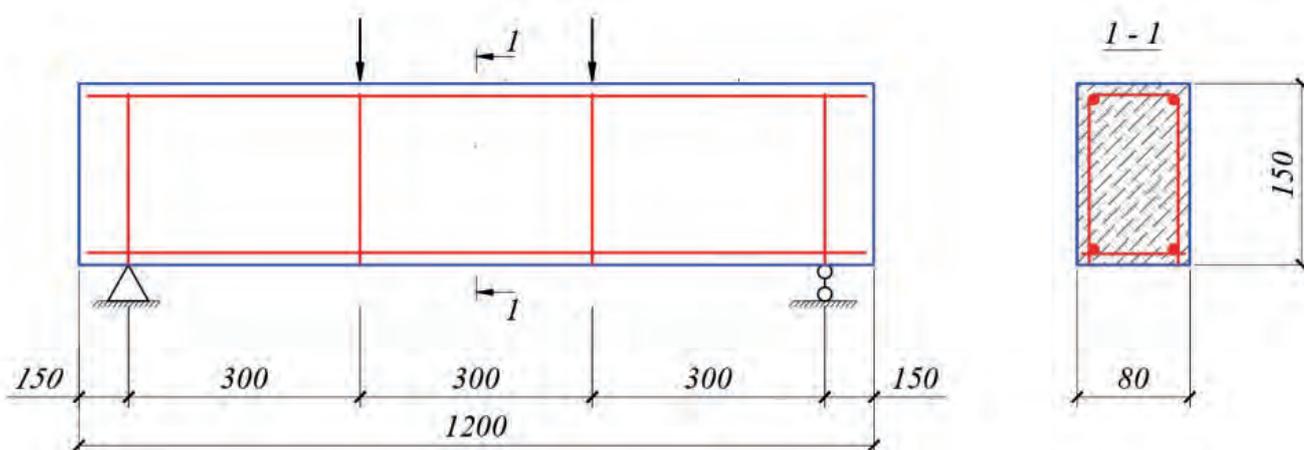


Рис. 1. Схема армирования опытной балки стальной арматурой
 Fig. 1. Scheme of reinforcement of the experimental beam with steel reinforcement

жение-сжатие $R_s=R_{sc}=210$ МПа. Толщина защитного слоя бетона в сжатой зоне $a'=1$ см.

Полезная высота сечения:

$$h_o = h - a = 15 - 2 = 13 \text{ см} = 0,13 \text{ м.}$$

Коэффициент армирования растянутой зоны:

$$\mu = A_s/b \cdot h_o = (1,01/8 \cdot 13) \cdot 100 = 0,97\%.$$

Граничная относительная высота сжатой зоны бетона:

$$\zeta_R = 0,8/(1+\varepsilon_{s,el}/\varepsilon_{b2}) = 0,8/(1+0,00175/0,0035) = 0,53,$$

где

$$\varepsilon_{s,el} = R_s/E_s = 350/2 \cdot 10^5 = 0,00175, \varepsilon_{b2} = 0,0035 \text{ (п. 6.1.20 [8])}.$$

Расчетная высота сжатой зоны бетона:

$$x = (R_s \cdot A_s - R_{sc} \cdot A'_s) / R_b \cdot b = (350 \cdot 10^3 \cdot 0,000101 - 210 \cdot 10^3 \cdot 0,000057) / 14,5 \cdot 10^3 \cdot 0,08 = 0,02 \text{ м} = 2 \text{ см.}$$

Относительная высота сжатой зоны бетона:

$$\zeta = x/h_o = 2/13 = 0,15.$$

Предельный изгибающий момент, воспринимаемый бетоном и арматурой в сжатой зоне в стадии разрушения при $\zeta = 0,15 < \zeta_R = 0,53$:

$$\begin{aligned} M_{b,ult} &= R_b \cdot b \cdot x \cdot (h_o - 0,5x) + R_{sc} \cdot A'_s \cdot (h_o - a') = \\ &= 14500 \cdot 0,08 \cdot 0,02 \cdot (0,13 - 0,5 \cdot 0,02) + \\ &+ 210 \cdot 10^3 \cdot 0,000057 \cdot (0,13 - 0,5 \cdot 0,013) = \\ &= 2,78 + 1,48 = 4,26 \text{ кНм.} \end{aligned}$$

Предельный изгибающий момент, воспринимаемый арматурой в растянутой зоне в стадии разрушения:

$$\begin{aligned} M_{s,ult} &= R_s \cdot A_s \cdot (h_o - 0,5x) = \\ &= 350 \cdot 10^3 \cdot 0,000101 \cdot (0,13 - 0,5 \cdot 0,02) = 4,24 \text{ кНм.} \end{aligned}$$

Поскольку $M_{s,ult} = 4,24$ кНм $\approx M_{b,ult} = 4,26$ кНм, разрушение балки в предельном состоянии может произойти одновременно как в результате появления текучести арматуры в растянутой зоне, так и от разрушения бетона в сжатой зоне.

Пример № 2. Расчет прочности опытной балки со стальной арматурой и стекловолоконной сеткой в защитном слое бетона на изгибающий момент

В примере № 2 рассмотрен вариант армирования, в котором дополнительно к рассчитанной стальной арматуре в опытной балке (пример № 1) установлены стекловолоконные сетки в защитном слое бетона, рис. 3.

Стекловолоконные сетки работают только на растяжение, поэтому их наличие не влияет на величину сжатой зоны в изгибаемом элементе, рассчитанном для стальной арматуры. Высота сжатой зоны бетона $x = 2$ см остается как в примере № 1. Принято допущение, что центры сечений сжатой арматуры и бетона сжатой зоны совпадают (рис. 4).

Характеристики стекловолоконной сетки, принятой для расчетов

Тип сетки *FASAD Pro*. Плотность материала 160 г/м². Толщина слоя $t_f = 0,35$ мм. Рабочая высота сетки в растянутой зоне $b_f = 15 - 3 - 1 = 11$ см = 0,11 м. Число слоев – 1. Средняя толщина защитного слоя бетона для сеток $a_f = 1$ см.

Нормативное сопротивление $R_{f,n} = 1800$ МПа в двух направлениях.

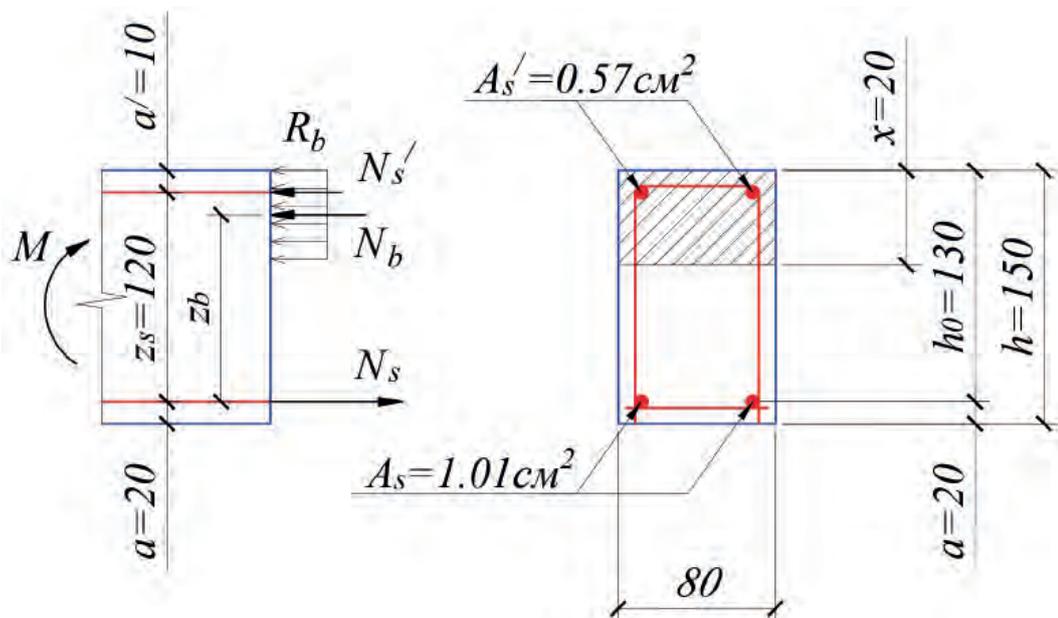


Рис. 2. Схема действующих усилий в поперечном сечении эталонной балки с двойной арматурой
Fig. 2. Scheme of acting forces in the cross section of a reference beam with double reinforcement

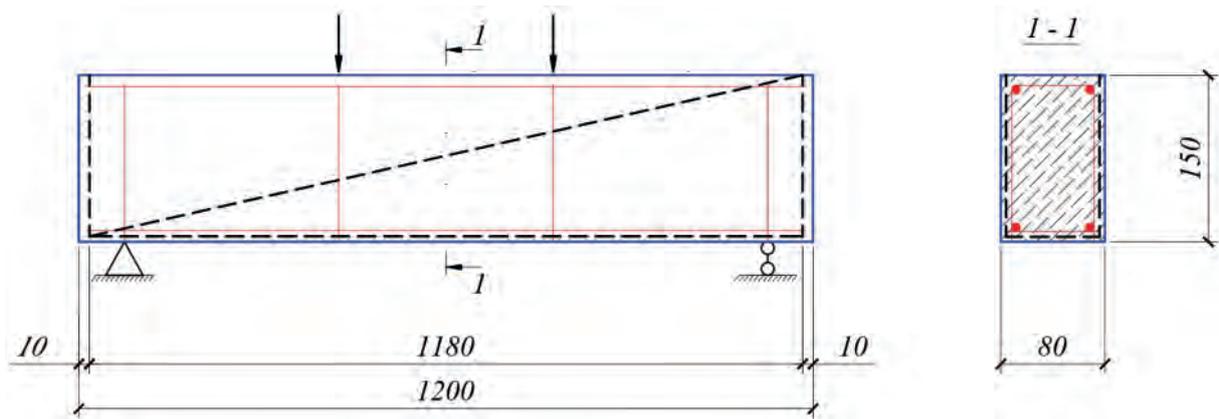


Рис. 3. Схема армирования опытной балки стальной арматурой и стекловолоконными сетками в защитном слое бетона
 Fig. 3. Scheme of reinforcement of the experimental beam with steel reinforcement and fiberglass meshes in the protective layer of concrete

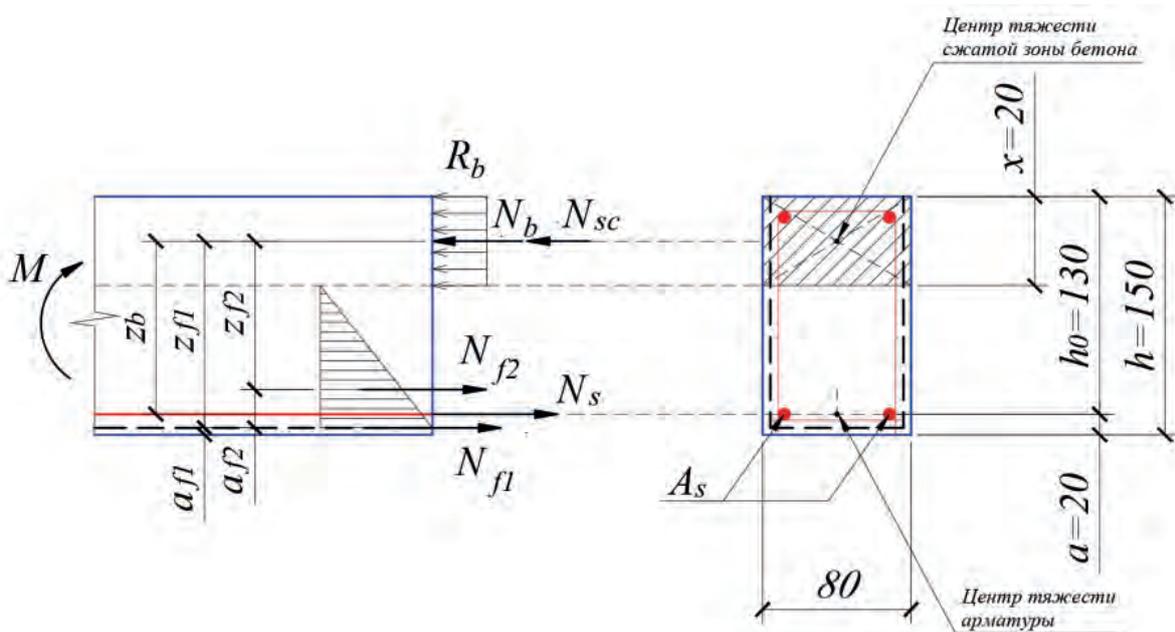


Рис. 4. Схема действия усилий в изгибаемом элементе со стальной арматурой и стекловолоконной сеткой в защитном слое бетона
 Fig. 4. Scheme of the action of forces in a bending element with steel reinforcement and fiberglass mesh in the protective layer of concrete

Расчетное сопротивление стекловолоконной арматуры вычислено по [11]:

$$R_f = \gamma_f \cdot R_{f,n} / \gamma_{f1} = 0,8 \cdot 1800 / 1,5 = 960 \text{ МПа,}$$

где $\gamma_f=0,8$ – коэффициент, учитывающий условия эксплуатации для внутренних помещений; $\gamma_{f1}=1,5$ – коэффициент надежности по материалу.

Предельное усилие, воспринимаемое стекловолоконной сеткой горизонтального направления при $R_f=960$ МПа.

Средняя толщина защитного слоя для сетки: $a_{f1}=0,5$ см.

Площадь сечения стекловолоконной сетки горизонтального направления:

$$A_{f,1} = b_f \cdot t_f = 0,08 \cdot 0,00035 = 0,000028 \text{ м}^2.$$

Усилие, воспринимаемое сеткой горизонтального направления:

$$N_{f,1} = R_f \cdot A_{f,1} = 960 \cdot 10^3 \cdot 0,000028 = 26,88 \text{ кН.}$$

Плечо внутренней пары сил:

$$z_{f1} = (h - x - a_{f1}) = (0,15 - 0,02 - 0,005) = 0,125 \text{ м.}$$

Изгибающий момент, воспринимаемый сеткой горизонтального направления:

$$M_{f1} = N_{f1} \cdot z_{f1} = 26,88 \cdot 0,125 = 3,36 \text{ кНм.}$$

Площадь сечения стекловолоконной сетки вертикального направления в растянутой зоне опытной балки:

$$A_{f,2} = (h - x - a_{f1}) \cdot t_f = (0,15 - 0,02 - 0,005) \cdot 0,00035 \cdot 2 = 0,000088 \text{ м}^2.$$

Предельное усилие, воспринимаемое стекловолоконной сеткой горизонтального направления:

$$N_{f1} = R_f \cdot A_{f1} = 960 \cdot 10^3 \cdot 0,000088 = 84,48 \text{ кН.}$$

Плечо внутренней пары сил:

$$z_{f1} = (h - x - a_{f2}) / 3 = (0,15 - 0,02 - 0,005) / 3 = 0,042 \text{ м.}$$

Изгибающий момент, воспринимаемый сеткой горизонтального направления:

$$M_{f2} = N_{f1} \cdot z_{f1} = 84,48 \cdot 0,042 = 3,55 \text{ кНм.}$$

Предельный изгибающий момент балки в стадии разрушения по растянутой зоне при расчетном сопротивлении сетки $R_f = 960$ МПа:

$$M_{ult} = M_{s,ult} + M_{f1} + M_{f2} = 4,26 + 3,36 + 3,55 = 11,17 \text{ кНм.}$$

Несущая способность опытной балки с установленной в растянутой зоне стекловолоконной сеткой *FASAD Pro* в защитном слое бетона возросла на $(11,17 - 4,26) \cdot 100\% / 4,26 = 162\%$ по сравнению с балкой, армированной только стальной арматурой.

Выводы

Проведенные исследования показали, что установка стекловолоконных сеток в защитном слое бетона может привести к существенному увеличению несущей способности железобетонных элементов на действие изгибающих моментов.

Список литературы

1. Шилин А.А., Пшеничный В.А., Картузов Д.В. Усиление железобетонных конструкций композитными материалами. М.: Стройиздат, 2004. 144 с.
2. Степанова В.Ф., Бучкин А.В., Ильин Д.А. Исследование особенностей работы бетонных конструкций с комбинированным армированием // *Архитектура и строительство*. 2017. № 1. С. 124–128.
3. Римшин В.И., Меркулов С.И. К вопросу усиления железобетонных конструкций внешним армированием композитным материалом. *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. 2018. № 5. С. 92–100. <https://doi.org/10.31675/1607-1859-2018-20-5-92-100>
4. Патент РФ 2744905. *Способ повышения надежности и долговечности железобетонных конструкций* / Куршпель В.Х., Куршпель А.В. Заявл. 29.12.2018. Оpubл. 17.03.2021.
5. ГОСТ 55225–2017. Сетки из стекловолокна фасадные армирующие щелочестойкие. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2017. 16 с.
6. СП 31-111–2004. Применение стеклянных сеток при строительстве зданий. М.: ФУГУП ЦПП, 2005. 35 с.

7. Рекомендации по расчету конструкций со стеклопластиковой арматурой. Р-16-78. НИИЖБ. 20 с.
8. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. М.: Стандартинформ, 2019. 119 с.
9. Пособие по усилению железобетонных конструкций с использованием композитных материалов. М., 2017. 226 с.
10. СТО 38276489.001–2017. Усиление ЖБК композитными материалами. Проектирование и технология производства работ. М.: ООО «НЦК», 2017. 125 с.
11. СП 295.1325800.2017 «Конструкции бетонные, армированные полимерной композитной арматурой. Правила проектирования». М.: Стандартинформ, 2017. 65 с.

References

1. Shilin A.A., Pshenichny V.A., Kartuzov D.V. Reinforcement of reinforced concrete structures with composite materials. M.: Stroyizdat. 2004. 144 p.
2. Stepanova V.F., Buchkin A.V., Ilyin D.A. Study of concrete structures with combined reinforcement // *Architecture and construction*. 2017. № 1, pp. 124–128.
3. Rimshin V.I., Merkulov S.I. External reinforcement of concrete structures using composite materials. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. 2018. No. 5, pp. 92–100. (In Russian). <https://doi.org/10.31675/1607-1859-2018-20-5-92-100>
4. Patent RF 2744905. *Sposob povysheniya nadezhnosti i dolgovechnosti zhelezobetonnykh konstruksii* [Method for improving reliability and durability of reinforced concrete structures]. Kurshpel V.H., Kurshpel A.V. Published 17.03.2021 (In Russian).
5. GOST 55225-2017. Glass fiber nets are facade reinforcing alkaline resistant. Specifications. Moscow: Standardized. 2017. 16 p. (In Russian).
6. SP 31-111-2004. Use of glass grids in building construction. Moscow. FUGUP CPP. 2005. 35 p. (In Russian).
7. Recommendations about calculation of designs with fiberglass fittings. Р-16-78. 20 p. (In Russian).
8. SP 63.13330.2018. Concrete and reinforced concrete structures. Main provisions. M.: Standardized. 2019. 119 p. (In Russian).
9. Manual on reinforcement of reinforced concrete structures using composite materials. Moscow: 2017. 226 p. (In Russian).
10. SТО 38276489.001-2017. Reinforcement of LBC with composite materials. Design and technology of works. Moscow: LLC NCC. 2017. 125 p. (In Russian).
11. SP 295.1325800.2017 “Concrete structures reinforced with polymer composite reinforcement. Design rules”. Moscow: Standardized. 2017. 65 p.

УДК 624.157.81

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-800-3-32-41>

ЭДУАРДО А. ВИЛЛЕН САЛАН¹, магистр гражданского строительства, инженер, специалист по управлению проектами, участник группы руководства проекта; МУХАММАД К. РАХМАН², исследователь, преподаватель Исследовательского центра по изучению строительных материалов, магистр строительного проектирования; вице-президент филиала³; САМИ АЛЬ-ГАМДИ⁴, технический директор, председатель комитета по стандартам в гражданском строительстве, член Технического комитета по бетонным, армированным бетонным и преднапряженным бетонным конструкциям Международной организации по стандартизации (ISO/TC 71) ДЖИХАД САКР⁵, руководитель проектов, магистр в управлении строительством, бакалавр гражданского строительства, эксперт в обеспечении соблюдения методологических, инженерных и строительных руководств Saudi Aramco; МЕСФЕР М. АЛЬ-ЗАХРАНИ², проректор по научной работе, преподаватель факультета гражданского строительства; АНТОНИО НАННИ⁶, член Американского института бетона, старший научный сотрудник, профессор, заведующий кафедрой гражданского, архитектурного строительства и охраны окружающей среды

¹ Saudi Aramco (Саудовская Аравия, Дахран)

² Университет нефти и полезных ископаемых имени короля Фадха (Саудовская Аравия, Дахран)

³ Американский институт бетона в Саудовской Аравии

⁴ Novel Nonmetallic Manufacturing Solutions (совместное предприятие Saudi Aramco и Baker Hughes)

⁵ Al-Yamama (Саудовская Аравия, Джизан)

⁶ Университет Майами (штат Флорида, США)

Крупнейший отводной канал в Саудовской Аравии*

Крупнейшая в мире бетонная конструкция, армированная стеклопластиковой арматурой, длиной 21 км

Перевод статьи опубликован с разрешения Американского института бетона и Concrete International.

Для цитирования: Эдуардо А. Виллен Салан, Мухаммад К. Рахман, Сами Аль-Гамди, Джихад Сакр, Месфер М. Аль-Захрани, Антонио Нанни. Крупнейший отводной канал в Саудовской Аравии. Крупнейшая в мире бетонная конструкция, армированная стеклопластиковой арматурой, длиной 21 км // *Строительные материалы*. 2022. № 3. С. 32–41. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-800-3-32-41>

EDUARDO A. VILLEN SALAN¹, MSc Civil Engineering, Engineer, Project Management Specialist, Member of the Project Management Team; MUHAMMAD K. RAHMAN², researcher, lecturer at the Research Center for the Study of Building Materials, Master of Structural Design; branch vice president³; SAMI AL-GAMDI⁴, Technical Director, Chairman of the Civil Engineering Standards Committee, Member of the Technical Committee on Concrete, Reinforced Concrete and Pre-stressed Concrete Structures of the International Organization for Standardization (ISO/TC 71)

JIHAD SAKR⁵, Project Manager, MSc in Construction Management, Bachelor of Civil Engineering, expert in enforcing Saudi Aramco methodological, engineering and construction guidelines;

MESFER M. AL-ZAKHRANI², Vice-Rector for Research, Lecturer, Faculty of Civil Engineering;

ANTONIO NANNI⁶, Member of the American Concrete Institute, Senior Fellow, Professor, Chair of the Department of Civil, Architectural and Environmental Engineering

¹ Saudi Aramco (Saudi Arabia, Dhahran)

² King Fadh University of Petroleum and Minerals (Saudi Arabia, Dhahran)

³ American Concrete Institute in Saudi Arabia

⁴ Novel Nonmetallic Manufacturing Solutions (a joint venture between Saudi Aramco and Baker Hughes)

⁵ Al-Yamama (Saudi Arabia, Jizan)

⁶ University of Miami (Florida, USA)

A Monumental Flood Mitigation Channel in Saudi Arabia

The 21 km long lining is the world's largest concrete structure reinforced with GFRP bars

Reprinted courtesy of the American Concrete Institute and Concrete International.

For citation: Eduardo A. Villen Salan, Muhammad K. Rahman, Sami Al-Gamdi, Jihad Sakr, Mesfer M. Al-Zahrani, Antonio Nanni. A monumental flood mitigation channel in Saudi Arabia. The 21 km long lining is the world's largest concrete structure reinforced with GFRP bars. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2022. No. 3, pp. 32–41. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-800-3-32-41>

* Оригинал статьи: Eduardo A. Villen Salan, Muhammad K. Rahman, Sami Al-Ghamdi, Jihad Sakr, Mesfer M. Al-Zahrani, and Antonio Nanni. A monumental flood mitigation channel in Saudi Arabia. *Concrete International*. 2021. Vol. 43. Iss. 10, pp. 33–41.

Строительство крупнейшего в мире объекта, армированного стеклопластиковой арматурой, было недавно завершено в Саудовской Аравии. Отводной канал протяженностью 21,3 км был построен в юго-восточной части Саудовской Аравии на окраине нового экономического города Джизан (рис. 1). Канал расположен примерно в 725 км южнее Дждды и в 80 км от Джизана. Площадь канала составляет примерно 103 км², а его протяженность вдоль береговой линии в южной части Красного моря – 12 км. Канал находится в непосредственной близости от восточных и западных торговых путей в Европу, на Дальний Восток и в Персидский залив. Джизан – современный промышленный центр, в котором расположена целая сеть предприятий тяжелой промышленности, в том числе крупный нефтеперерабатывающий завод, терминал нефтепродуктов, опреснительная установка, завод по производству стальной арматуры, медеплавильный комбинат, завод по производству алюминия, крупный морской порт и крупнейшая в мире электростанция комбинированного цикла с внутренней газификацией угля.

Этот широкомасштабный проект включает также развитие площадки для размещения существующих

и будущих компаний, которые смогут предложить новую продукцию, услуги и рабочие места. Ожидается, что благодаря современной инфраструктуре и выгодному географическому расположению эта территория станет региональным хабом, способствующим экономическому росту региона и Королевства. Важнейшим проектом в Джизане сейчас является строительство отводного канала, проходящего параллельно границам Джизана с севера на юг и с востока на запад. Канал предназначен для перехвата потоков паводковых вод из водосборного бассейна на востоке Джизана и их отвода по каналу в Красное море, защищая тем самым город и его объекты промышленности от наводнения.

В реализации проекта участвовала компания Saudi Aramco, а именно отдел по сложным конструкциям в Джизане. Гидротехническое проектирование и расчет конструкции проводились компанией АЕСОМ. Строительство канала велось одним подрядчиком – компанией Al-Yamama. Отдел консалтинговых услуг компании Saudi Aramco осуществлял организационно-контрольное сопровождение проекта. Комплексное исследование объекта, в том числе мониторинг отдельных выбранных секций канала, проводилось Университетом нефти и полезных ископаемых имени Короля Фахда, Дахран, Саудовская Аравия.

Канал

Канал предназначен для защиты объектов промышленности, расположенных в низинных участках, от паводковых вод, берущих свое начало из бассейна на восточной равнине города и бассейна Байшской плотины. В процессе

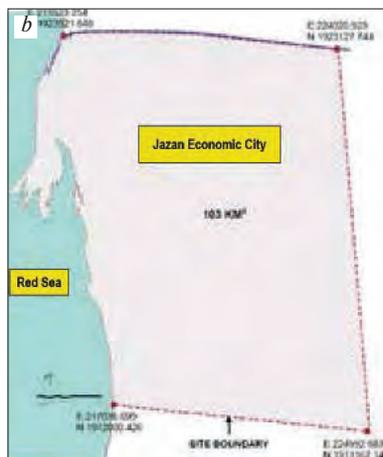


Рис. 1. Месторасположение объекта: а – промышленный центр Джизан на побережье Красного моря; б – площадь объекта, равная 103 км²

Fig. 1. Project location: а – Jazan Economic City is on the coast of the Red Sea; б – the site boundary encloses an area of 103 km²

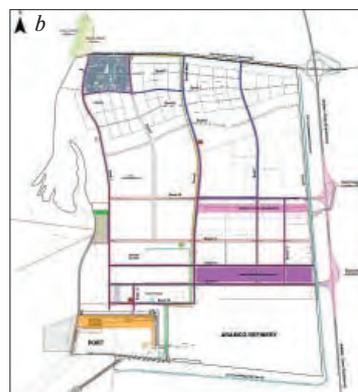
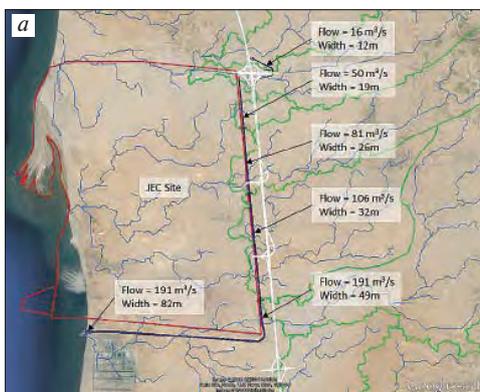


Рис. 2. Отводной канал в Джизане (JEC-FMC): а – расчетный суммарный поток и требуемая ширина; б – канал проходит около нефтеперерабатывающего завода Aramco Refinery, расположенного в южной части

Fig. 2. JEC flood mitigation channel: а – cumulative design flows and required widths; б – the channel passes the Aramco Refinery, located at the southeast corner of the site

Перевод единиц измерения

Дозирование добавки:	1 л/м ³ = 0,2 гал/ярд ³
Площадь:	1 км ² = 0,39 мили ² ;
Плотность:	1 кг/м ³ = 1,7 фунта/ярд ³
Длина:	1 км = 0,62 мили 1 м = 3,3 фута 1 мм = 0,04 дюйма
Масса:	1 т = 1,1 метрической т
Модуль реакции основания:	1 кН/м ³ = 0,004 фунт-сила/дюйм ³
Давление:	1 МПа = 145 фунт/дюйм ²
Несущая способность грунта:	1 кН/м ² = 21 фунт-сила/фут ²
Скорость:	1 м/с = 3,3 фута/с
Температура:	°F = 1,9 × °C + 32
Объем:	1 м ³ = 1,3 ярда ³

эксплуатации канал будет перехватывать паводковые воды на восточной границе Джизана и перенаправлять их в Красное море. Канал берет свое начало с верхней северо-восточной точки города и проходит на юг, параллельно восточной границе Джизана до поворота на запад по южному краю города и затем по южной границе впадает в Красное море (рис. 2). Отведенные от жилых и промышленных зон, и в частности от нефтеперерабатывающего завода Saudi Aramco, паводковые воды стекают в море в районе промышленного порта (рис. 2).

Для облицовки канала было принято решение использовать бетон, поскольку такое покрытие обеспечивает пропускную способность и позволяет рационально использовать земельные ресурсы. Во избежание скапливания паводковых вод по всей длине канала площадь его поперечного сечения постепенно увеличивается от начала канала до места сброса. При этом глубина канала остается постоянной (2 м) по всей длине.

Гидравлический расчет и расчет конструкции

Канал был спроектирован согласно требованиям Еврокодов (EN стандартов), предварительным новым версиям стандартов Великобритании (BS) и другим строительным нормам и руководствам [1–13]. Геометрия канала была разработана по примеру водосборных бассейнов, а также с учетом 39% вероятности возникновения «столетнего наводнения» во время эксплуатационного периода канала (50 лет).

Трапециевидная форма канала была спроектирована таким образом, чтобы он мог держать скапливающиеся расчетные потоки паводковых вод (рис. 2, а). На рис. 2, а также показана ширина канала, разделенного на шесть секций поверху согласно гидравлическому проектированию. Заложенный уклон поверхности откосов канала составил 1:2 (V:H). Заложенный продольный уклон канала составил 1:900 с увеличением до 1000, что обеспечивает докритический режим потока с максимальной скоростью не более 4,6 м/с. Поскольку естественный уклон оказался

круче, чем заложенный уклон канала, по всей длине были устроены ступени с перепадами 200 или 1000 мм. В табл. 1 указаны геометрические данные и расчетная скорость потоков в секциях канала. Ширина канала у основания постепенно увеличивается с 4 до 74 м. Увеличение происходило в пяти точках, длина переходных зон при этом составляет от 6 до 29 м. Конструкция сброса представляет собой трапециевидный канал длиной 300 м и шириной от 49 до 82 м. Глубина канала по всей длине составляет 2 м. Наклонные съезды были оборудованы на выбранных участках по всей длине канала для его технического обслуживания. Согласно первоначальному варианту проекта, толщина плиты составила 200 мм в соответствии со следующими критериями:

- полная нагрузка канала – слой воды толщиной 2 м;
- машина технического обслуживания – пятиосный самосвал с осевой нагрузкой 10,5 т (23 kip) в соответствии [14];
- инженерно-геологические изыскания грунта близлежащих областей показали, что он представляет собой несвязный грунт с углом внутреннего трения от 30 до 34° и модулем упругости основания 30000 кН/м³;
- максимальный калифорнийский показатель несущей способности земляного полотна составил 10% для поверхности грунта, в том числе дренажного слоя;
- предположение, что за 50 лет эксплуатации канала, он выдержит нагрузку, равную 2,54 млн стандартных нагрузок на ось;
- ширина температурных и усадочных трещин не должна превышать 0,3 мм согласно Стандарту Великобритании BS8007.

Стандартная секция канала показана на рис. 3. Во избежание размыва берма шириной 1 м и балка перекрытия высотой 1 м были установлены в верхней части каждого откоса. Для безопасного доступа и проведения технического обслуживания канала по двум сторонам канала была проложена дорога шириной 4 м и были установлены защитные ограждения.

Таблица 1
Table 1

Секции канала, геометрические и гидравлические параметры.

Все секции канала имеют трапециевидную форму и минимальную глубину 2 м

Channel segments, geometry, and hydraulic design parameters.

At all sections, the channel geometry is trapezoidal with 1:2 side slopes and 2 m minimum depth

Секция канала	Расчетный поток, м ³ /с	Длина, м	Ширина по дну, м	Ширина верхней части, м	Расчетная глубина, м	Превышение над уровнем воды, м	Расчетная скорость, м/с
JEC_FLD0	16	1200	4	12	1,55	0,45	1,49
JEC_FLD1	50	2200	11	19	1,55	0,45	2,37
JEC_FLD2	81	2960	18	26	1,55	0,45	2,52
JEC_FLD3	106	4850	24	32	1,55	0,45	2,66
JEC_FLD4	191	9960	41	49	1,55	0,45	2,82
JEC_FLD5	191	300	74	82	1,1	0,9	2,31

Примечание. 1 м³/с = 264 гал/с; 1 м = 3,3 фута; 1 м/с = 3,3 фута/с.

Уровень подземных вод вдоль канала варьируется от 3 до 10 м ниже натуральной отметки земли. Таким образом, в проектировании были заложены дренажные отверстия, которые способствуют гашению вертикально направленного напора, действующего на бетонную отделку и распределению давления подземных вод в случае повышения их уровня.

Устройство канала в поперечном сечении включает следующее:

- разработанный и утрамбованный грунт;
- фильтрующая ткань, уложенная на подготовленный грунт;
- слой дренажных гранул толщиной 200 мм, уложенный на фильтрующую ткань для распределения давления грунтовых вод;
- бетонная подготовка толщиной 50 мм;
- бетонная отделка толщиной 200 мм.

Дренажные отверстия на дне канала оборудованы ПВХ трубами диаметром 160 мм, проходящими через бетонную отделку. Трубы устанавливали с шагом 4 м по центру в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Кроме того, ряд горизонтальных дренажных отверстий с трубами диаметром 200 мм был установлен на откосах канала по всей его длине на высоте 200 мм от плиты основания с шагом 4 м по центру.

Согласно первоначальному проекту в качестве армирования бетонной отделки были приняты стальные арматурные стержни диаметром 12 мм, установленные с шагом 150 мм в обоих направлениях. Для такого типа армирования требовалось устройство защитного слоя бетона толщиной 75 мм. Требовалось также устройство швов частичного сжатия с шагом 7,5 м по центру и швов расширения с шагом 30 м по центру, как в продольном, так и в поперечном направлении. Проект также подразумевал, что толщина отделки снижалась до 175 мм на откосах.

Характеристика долговечности по проекту со стальным армированием

Первоначально цель проекта состояла в разработке канала с расчетной долговечностью 50 лет, в течение которых требовался бы лишь второстепенный текущий ремонт. В направлении с севера на юг и с востока на запад (рис. 2) канал пересекает холмистую местность, спускается на юг, а затем поворачивает на восток, где выходит к Красному морю. Путь отводного канала лежит через соленые марши, равнины и песчаные дюны. Хлориды и сульфаты, содержащиеся в почве (в концентрациях 1,6 и 0,5% соответственно),

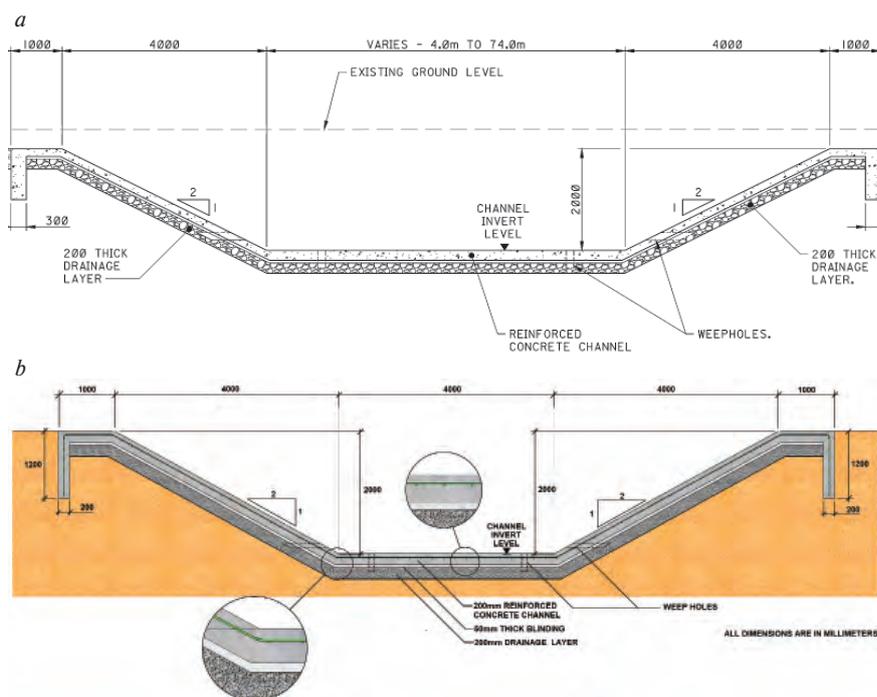


Рис. 3. Отводной канал: а – сечение канала, армированное стальной арматурой с эпоксидным покрытием; б – сечение канала в верхней части, армированное стеклопластиковой арматурой. (Примечание: 1 м = 3,3 фута; 1 мм = 0,04 дюйма)

Fig. 3. The flood mitigation channel: a – cross section showing the original design with epoxy-coated steel (ECS) bars; b – cross section at the upstream end, showing the revised design with GFRP bars (Note: 1 m = 3.3 ft; 1 mm = 0.04 in)

постоянные песчаные бури, загрязненные солью паводковые воды, проходящие через пустыни и впадающие в канал, – все это создает крайне неблагоприятные условия эксплуатации канала, которые в конечном итоге могут привести к коррозии стальной арматуры и ее преждевременному износу. По этой причине рабочая группа проекта приняла решение использовать стальные стержни с эпоксидным покрытием в качестве армирования бетона канала. Для снижения вероятности возникновения сульфатной коррозии цементная смесь включала 345 кг/м³ портландцемента марки V и 25 кг/м³ кремнеземной пыли. Расчет по раскрытию трещин производили согласно [10] с допущением, что температура укладки бетона составит 32°C, а максимальная температура гидратации – 60°C (без учета солнечного нагрева во время гидратации). Значения температурных изменений для расчета определяли на основании средних максимальных и минимальных температурных значений в Джизане; расчеты также включали приведенную прочность сцепления стержней с эпоксидным покрытием.

Замена стальной арматуры на стеклопластиковую

В рамках своей деятельности по производству и переработке нефти и газа компания Saudi Agamco располагает многочисленными армированными бетонными объектами, в том числе и объектами инфраструктуры. Эти объекты в основном размещены в прибрежной зоне Красного моря и Персидского залива, а также в пустынной части на востоке. В таких

**Таблица 2
Table 2**

**Свойства стеклопластиковых стержней согласно данным, предоставленным тремя производителями
Properties of the GFRP bars as provided by three manufacturers**

Производитель	Доля арматуры, используемая в строительстве, %	Номинальный диаметр стержня, мм	№ стержня по ASTM	Номинальная площадь поперечного сечения, мм ²	Гарантированная/измеренная предельная прочность при растяжении, МПа	Предельная деформация при растяжении, %	Модуль упругости, ГПа
Пултрон, Дубай	50	14	–	149	850/>900	1,6	52
Гален, Россия	25	12,45	4	121,7	1065/1223	2,4	50,1
Декстра, Китай	25	12,7	4	127	900	1,8	50

Примечание. 1 мм = 0,04 дюйма; 1 мм² = 0,0016 дюйма²; 1 МПа = 145 фунт/дюйм²; 1 ГПа = 145 кфунт/дюйм².

суровых условиях коррозия развивается быстрыми темпами, вызывая растрескивание, отслаивание и скалывание защитного слоя бетона, что в конечном итоге приводит к разрушению всей секции арматуры.

В январе 2018 г. Saudi Aramco приняла решение об использовании неметаллической арматуры в бетонных объектах производства компании. В связи с этим в проект строительства канала были внесены изменения в части типа используемой арматуры. Так, была произведена замена стальной арматуры с эпоксидным покрытием на стеклопластиковую арматуру. В итоге, согласно новому проекту, срок службы канала без необходимости технического обслуживания составил 100 лет.

Стеклопластик – это композитный материал, состоящий из, как правило, винилэфирной смолы и E-CR стеклянных волокон. В последнее время стеклопластиковая арматура все чаще используется для армирования бетона. Такая популярность объясняется растущим доверием инженеров к материалу и осознанию преимуществ производственного процесса, а также растущей конкуренцией, благодаря которой стеклопластиковая арматура становится все более экономически выгодной, чем традиционная стальная. Кроме устойчивости к коррозии стеклопластиковые стержни обладают высоким отношением прочности к весу, радиопрозрачностью и высокой усталостной выносливостью. Благодаря легкому весу стержней снижаются затраты на их транспортировку и установку. Стоит отметить, что по тепловому расширению и жесткости стеклопластиковые стержни совместимы с бетоном, они обладают сравнительно низким модулем упругости, прочностью на сдвиг и ползучестью при растяжении. Однако последнее не играет существенной роли в плитах, уложенных по грунту, как в случае с отводным каналом.

После проведения соответствующего перепроектирования, переговоров и получения согласия подрядчика поправки, касающиеся замены стальной арматуры с эпоксидным покрытием на стеклопластиковую арматуру, были внесены в договор в декабре 2018 г. Для проекта было утверждено три международ-

ных поставщика стеклопластиковой арматуры. Отбор производился на основе качества продукции, производственной мощности и плана локализации. В табл. 2 указаны поставщики, а также наиболее важные свойства поставляемых стержней. Несмотря на то что половина арматуры для проекта канала в Джизане была произведена за его пределами, локализация производства была важным критерием при отборе, поскольку местное производство в будущем сможет существенно сократить время доставки, снизить материальные затраты и затраты на транспортировку, а также улучшить производственную базу Королевства.

Проект

Строительные коды и стандарты, которые применялись при разработке проекта, указаны в [15–28]. Расположение и геометрия канала сохранились такими же, как и в первоначальном проекте. При проектировании канала со стеклопластиковой арматурой учитывали следующее:

- максимальная ширина трещин не должна превышать 0,7 в соответствии со стандартом Американского института бетона ACI 440.1R-15 [16] (по Спецификации AASHTO LRFD на стеклопластиковую арматуру ширина раскрытия трещин должна быть менее 1 мм);
- расстояние между трещинами от 0,9 до 2,4 м;
- критическое растягивающее усилие в стеклопластиковых стержнях должно составлять 30–40% от гарантированной прочности на растяжение.

Проект бетонной конструкции, армированной стеклопластиковой арматурой, для канала в Джизане был разработан в соответствии с требованиями стандарта Американского института бетона ACI 440.1R-15. Толщина плиты дна и откосов канала оставалась постоянной и составляла 200 мм, благодаря чему достигалась однородность конструкции. При расчете на раннее термическое растрескивание температура заливки бетона принималась равной 25°C, а относительная влажность – 55%. Требования раздела 7.3.1 стандарта ACI 440.1R-15 предъявляются к внешнему виду, так как даже агрессивная среда не оказывает влияния



Рис. 4. Схематичное изображение шва расширения
Fig. 4. Computer rendering of a typical transverse expansion joint

на стеклопластиковые стержни, а бетон, армированный стеклопластиковой арматурой, может эксплуатироваться и при наличии более широких трещин. Для предупреждения трещинообразования по проекту стеклопластиковые стержни должны быть заделаны на глубину $1/3$ верхней части плиты таким образом, верхний защитный слой составляет 75 мм, как и в первоначальном проекте. Поскольку допустимая ширина раскрытия трещин была увеличена с 0,3 до 0,7 мм, шаг стеклопластиковых стержней был также изменен. В соответствии с окончательной версией проекта в строительстве канала использовали стеклопластиковые стержни М13 (No. 4) с шагом 200 мм, как в продольном, так и в поперечном направлении.

Согласно стандарту Американского сообщества по испытанию материалов ASTM D7957/D7957M [24], номинальный диаметр стержней М13 составляет 13,7 мм. Минимальная гарантированная прочность при растяжении принималась равной 600 МПа, а фактор окружающей среды $SE = 0,7$. Гарантированный модуль упругости стеклопластиковых стержней был равен 50 ГПа. Расчетная несущая способность грунта была равна 125 кН/м^2 , а модуль реакции основания — 30000 кН/м^3 .

Типовое сечение канала, армированного стеклопластиковой арматурой, по новому проекту и типовое сечение канала, армированного стальной арматурой с эпоксидным покрытием, показаны на рис. 3. Структура сечения включает фильтрующую ткань, уложенную на подготовленный грунт, слой дренажа толщиной

200 мм для гашения давления грунтовых вод и бетонную подготовку. Стеклопластиковые стержни устанавливали на бетонную подготовку при помощи пластиковых фиксаторов. Для устройства дренажа в канале использовали трубы диаметром 160 мм, установленные с шагом 160 мм в продольном и поперечном направлениях. Бетонная облицовка, уложенная на бетонную подготовку, завершает конструкцию.

Бетон марки С25 (прочность при сжатии 25 МПа после 28 сут), содержащий цемент в количестве 320 кг/м^3 , был рекомендован к строительству канала в Джизане. Поскольку новый проект допускает большую ширину раскрытия трещин, а стеклопластиковые стержни не подвергаются коррозии, кремнеземная пыль, которая была заложена в первоначальном проекте со стальной арматурой, была исключена из нового состава бетона, а содержание цемента при этом было уменьшено на 50 кг/м^3 .

На основании расчета на термическое растрескивание шаг швов расширения на плите, образующей дно канала, был уменьшен с 7,5 до 6 м в продольном и поперечном направлениях. Расчетная ширина швов сжатия составила 10 мм, а глубина — 50 мм.

С учетом расчета по тепловой нагрузке швы расширения были устроены с шагом 30 м в продольном и поперечном направлениях. Схематическое изображение поперечного шва расширения показано на рис. 4. Ширина шва составляет 25 мм, глубина — 200 мм. Для снятия сдвиговой нагрузки со швов расширения были установлены штыри из нержавеющей стали длиной 900 мм и с шагом 250 мм. В одной секции штырь сцеплялся с бетоном. Далее вниз по течению канала штыри были установлены таким образом, чтобы они свободно перемещались внутри пластиковой муфты. Длина нахлеста постоянна и равна 750 мм при толщине защитного слоя 75 мм.

Строительство

Строительство канала в Джизане начиналось с выработки по длине канала и последующим уплотнением грунта катком. Объем извлеченного грунта составил $6,2 \times 10^6 \text{ м}^3$. На подготовленный грунт укладывали геотекстильный материал и засыпали дренажный



Рис. 5. Устройство дренажного слоя: а – плита дна; б – откосы. Укладка дренажного слоя на откосы канала производилась после завершения устройства подготовительного бетонного слоя

Fig. 5. Placement of the drainage layer: a – for the base slab; b – for the sloped sides. The drainage layer for each of the sloped sides of the channel was placed after completion of the blinding layer for the base

слой толщиной 200 мм. На рис. 5 показано устройство дренажного слоя и бетонной подготовки. На рис. 6 показан способ хранения стеклопластиковых стержней и их укладка на панели размером 30×30 м. Работы по вязке стеклопластиковой арматуры и возведению опалубки на каждой плите производились командой из восьми человек. На рис. 7 показаны соединительные стержни, которые использовались для привязки откосов канала к плите дна; подготовленная для заливки бетоном секция с установленными по всей площади стеклопластиковыми стержнями; детализированный вид стыков внахлест на участке привязки откосов ко дну канала, а также дренажные отверстия и опоры для арматурных стержней.

Состав бетонной смеси:

- цемент класса V – 371 кг/м³;
- заполнитель размером не более 19 мм – 1136 кг/м³;
- мелкий заполнитель – 773 кг/м³;
- вода – 116 кг/м³ для получения соотношения воды к цементу 0,4;
- пластифицирующая добавка – 6 л/м³.

Бетонную подготовку укладывали панелями шириной 6 м и длиной 30 м (рис. 8). Непрерывную подачу бетона обеспечивали две установки для смешивания и дозирования бетона.

Стоимость строительства

После практически трехлетней работы над проектом компания Saudi Aramco совместно с компанией АУС провела оценку затрат, преимуществ и недостатков применения стеклопластиковых стержней по сравнению со стальными стержнями с эпоксидным покрытием. Исследования проводили для стандартной панели толщиной 200 мм и размером 30×30 м (рис. 6). Авторы полагают, что это исследование может быть экстраполировано на аналогичные более крупные объекты, в которых бетонная конструкция устроена по грунту и эксплуатируется в условиях, сходных с условиями по данному проекту.

В первоначальном проекте были заложены стальные стержни с эпоксидным покрытием диаметром 12 мм, установленные с шагом 150 мм в продольном и



Рис. 6. Плита дна канала, армированная решеткой из стеклопластиковых стержней: *a* – поставка стержней; *b* – хранение стержней на подготовительном бетонном слое внутренней панели дна канала (в подготовительном слое видны отверстия для последующей установки дренажных труб); *c* – первичное размещение стержней; *d* – сборка сетки; *e* – окончательная подготовка сетки из стержней и опалубка для устройства продольного шва

Fig. 6. The base slab was reinforced with grids of GFRP bars: *a* – delivery of bars; *b* – storage of bars on the blinding layer of an interior panel of the base slab (note openings in the blinding layer for later installation of weep hole pipes); *c* – initial placement of bars; *d* – grid assembly; *e* – final preparation of bar grid and longitudinal joint formwork

поперечном направлении. При этом длина нахлеста составляет 600 мм. Таким образом, для армирования одной стандартной панели требовалось 400 стальных стержней общей длиной 12,48 м и массой 11,1 т. По обновленному проекту стеклопластиковые стержни диаметром 13 мм устанавливаются с шагом 200 мм в продольном и поперечном направлениях. Таким образом, при длине нахлеста 750 мм для армирования одной стандартной плиты требуется около 300 стеклопластиковых стержней общей длиной 9450 м и массой 3,1 т. Затраты для обеих версий проекта указаны в табл. 3. Стоимость строительства, приведенная в таблице, была рассчитана с учетом нижеследующего.

На день опубликования статьи (октябрь 2021 г.) рыночная цена на арматурные стальные стержни с эпоксидным покрытием, нарезанные на длины и согнутые на месте строительства, составляет 0,74 долл. США за 1 м. Средняя рыночная цена на стеклопластиковые стержни, в том числе издержки на транспортировку, составляет также 0,74 долл. США за 1 м. Однако с учетом таможенных пошлин и НДС на ввозимые из Дубая, Китая и России стеклопластиковые стержни, составляющие вместе 17%, цена на стеклопластиковые стержни в итоге составляет 0,87 долл. США за 1 м. После того как производители стеклопластиковых стержней наладят местное производство, затраты на транспортировку и уплату налогов сократятся.

Согласно первоначальному проекту бетонная смесь включала 345 кг/м³ портландцемента марки V и 25 кг/м³ кремнеземной пыли; таким образом, цена за 1 м³ поставленного и уложенного бетона составляла 97 долл. США. По обновленному проекту для бетонной смеси требовалось 320 кг/м³ цемента марки V. Таким образом, цена за 1 м³ поставленного и уложенного бетона составляла 88 долл. США. Для строительства одной панели согласно обеим версиям проекта требовалось примерно 180 кг/м³ бетона.

Другие затраты включали расходы на опоры для стержней и соединительные стержни. Поскольку стальные стержни с эпоксидным покрытием обладают большей жесткостью, чем стеклопластиковые стержни, для их установки требуется меньше опор. Так, если для стандартной панели со стальной арматурой требуется 900 опор, то для аналогичной панели со стеклопластиковым армированием требуется уже 1125 опор. В расчетах принималась стоимость, равная 0,54 долл. США за одну опору. Для проекта со стальной арматурой требовалось 20400 соединительных стержней на одну панель, а для проекта со стеклопластиковыми стержнями – 11850 шт. Расчетная стоимость составила 0,14 долл. США за один соединительный стержень.

Расчетное время на установку стальных стержней с эпоксидным покрытием на панели размером 30×30×0,2 м бригадой из 12 человек составило три дня, тогда как установка стеклопластиковых стержней на аналогичной панели бригадой из 8 человек составит, по прогнозу, 1,5 дня. Кроме того, для перемещения стеклопластиковой арматуры по панели



Рис. 7. Откосы канала, привязанные к плите дна с помощью специально изготовленных соединительных стержней: *a* – рабочий несет в руке пучок соединительных стержней; *b* – верхняя часть канала до укладки бетона, видны сетка, дренажные отверстия, опалубка; *c* – детализированный вид стыков внахлест на участке привязки откосов ко дну канала

Fig. 7. The sloped sides of the JEC-FMC were tied to the base slab using bespoke splice bars: *a* – a worker carries a bundle of splice bars; *b* – prior to concrete placement, an overview of an upstream section of the JEC-FMC, showing grids, weep holes, and channel edge formwork; *c* – detail of lap splice at base-slope intersection

необходимо было бы задействовать кран в течение 2–3 дней. Работы со стальной арматурой с эпоксидным покрытием необходимо проводить в простых защитных перчатках стоимостью 0,8 долл. США за пару, тогда как для работ со стеклопластиковой арматурой требуются кожаные перчатки стоимостью 1,87 долл. США за пару.

Согласно табл. 3, проект со стеклопластиковой арматурой снижает затраты на арматурные стержни на 11%, на бетон – на 10%, на соединительные стержни на 42%, на услуги крана – на 100%, на рабочую силу – на 67%. Итого общая экономия проекта со стеклопластиковой арматурой составляет 21%.



Рис. 8. Укладка бетона в канале: *a* – подготовительный бетонный слой на откосах; *b* – панель на дне канала; *c* – панель на откосе канала

Fig. 8. Concrete placements at the JEC-FMC: *a* – blinding layer in the sloped side; *b* – a panel in the base slab; *c* – a panel at a sloped side

Анализ жизненного цикла не учитывается. Авторы предполагают, что применение стеклопластиковой арматуры в аналогичных масштабных проектах также может способствовать снижению издержек.

Качество

При выборе в пользу стеклопластиковой арматуры необходимо учитывать то, что ее невозможно согнуть непосредственно на строительной площадке. Арматура поставляется от производителя уже в нарезанном и согнутом виде. Из-за этого система становится жесткой, исключается возможность внесения изменений, поправок или замены поврежденных или недостающих частей. Кроме того, ввиду этой особенности такие подготовительные работы, как разработка грунта, устройство дренажного слоя и бетонной подготовки, должны производиться с высокой точностью. В этом отношении стальные стержни отличаются большей гибкостью и адаптивностью. Что касается старения, стеклопластиковые стержни не подвержены воздействию хлоридов, содержащихся в почве и воде. Однако они подвержены УФ излучению, и поэтому если длительность воздействия превышает 3 месяца, стержни необходимо укрывать. В отличие от традиционной арматуры для укладки стеклопластиковой арматуры требуется меньше рабочей силы, а также легкий вес арматуры позволяет не задействовать тяжелую технику для сборки стержней на дне и откосах канала.

Выводы

Стеклопластиковые арматурные стержни находят все большее применение в бетонных конструкциях в качестве альтернативы, способной решить проблему долговечности в суровых эксплуатационных условиях. Самый крупный на сегодняшний день проект с применением стеклопластиковой арматуры, предназначенный для защиты от наводнений, был успешно завершен в Саудовской Аравии. Около 10 млн погонных метров стеклопластиковых стержней, а также 188000 м³

**Таблица 3
Table 3**

**Сравнение цены на строительство канала со стальной арматурой и стеклопластиковой арматурой для панели размером 30×30×0,2 м
Cost comparison for ECS and GFRP options based on a 30×30×0,2 m slab panel**

Статья расхода	Стальная арматура с эпоксидным покрытием, долл. США	Стеклопластиковая арматура, долл. США	Цена за стеклопластиковую арматуру/стальную арматуру с эпоксидным покрытием, %
Арматурные стержни	9235	8222	89
Бетон	17514	15840	90
Опоры для стержней	486	608	125
Соединительные стержни	2856	1659	58
Работа персонала	3852	1284	33
Работа крана	1068	0	0
Защитные перчатки	9,6	15	156
Итого	35021	27628	79

бетона и 45000 м³ бетонной подготовки были задействованы в проекте. Среди преимуществ замены стальной арматуры на стеклопластиковую в строительстве канала являются высокая долговечность и сокращение сроков строительства канала в Джизане.

После успешного завершения этого проекта компания Saudi Aramco продолжила применять стеклопластиковую арматуру в своих бетонных объектах. Saudi Aramco совместно с Университетом нефти и полезных ископаемых имени Короля Фахда и другими исследовательскими институтами работает над улучшением нормативной базы для применения стеклопластиковой арматуры, например в части снятия некоторых ограничений. Недавно Saudi Aramco и Американский институт бетона ACI объявили о запуске NEx – Центра передовых неметаллических строительных материалов, – который будет заниматься разработкой и внедрением неметаллических материалов в строительство.

Список литературы / References

- BS EN 1991-1-1:2002 “Eurocode 1: Actions on Structures. Part 1-1: General Actions – Densities, Self-weight, Imposed Loads for Buildings”. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium. 2002. 44 p.
- BS EN 1992-1-1:2004 “Eurocode 2: Design of Concrete Structures. Part 1-1: General Rules and Rules for Buildings”. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium. 2004. 225 p.
- BS EN 1997-1:2004 “Eurocode 7: Geotechnical Design. Part 1: General Rules”. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium. 2004. 168 p.
- BS 8002:1994 “Code of Practice for Earth Retaining Structures”. British Standards Institution, London, UK. 1994. 144 p.
- BS 8004:2015 “Code of Practice for Foundations”. British Standards Institution, London, UK. 2015. 112 p.
- BS 6031:2009 “Code of Practice for Earthworks”. British Standards Institution, London, UK. 2009. 120 p.
- BS 8110-1:1997 “Structural Use of Concrete. Part 1: Code of Practice for Design and Construction”. British Standards Institution, London, UK. 1997. 168 p.
- BS 8007:1987 “Code of Practice for Design of Concrete Structures for Retaining Aqueous Liquids”. British Standards Institution, London, UK. 1987. 32 p.
- CIRIA C683 “The Rock Manual. The Use of Rock in Hydraulic Engineering”. Second edition. CIRIA, London, UK. 2007. 35 p.
- Bamforth P.B., CIRIA C660 “Early-Age Thermal Crack Control in Concrete”. CIRIA, London, UK. 2007. 23 p.
- Balkham M., Fosbeary C., Kitchen A., Rickard C. CIRIA C689 “Culvert Design and Operation Guide”. CIRIA, London, UK. 2010. 50 p.
- “Design Standard No. 14: Appurtenant Structures for Dams (Spillways and Outlet Works) Design Standards”, Chapter 3: General Spillway Design Considerations, U.S. Department of Interior Bureau of Reclamation, Washington, DC. 2014. 253 p.
- “Jeddah Storm Water Drainage Manual”. Saudi Aramco, Jazan, Saudi Arabia. 2014. 232 p.
- Hassan K.E., Chandler J.W.E., Harding H.M., Dudgeon R.P. “New Continuously Reinforced Concrete Pavement Designs”. Report TRL630, Transport Research Laboratory, Berkshire, UK. 2005. 36 p.
- ASTM C150/C150M-20 “Standard Specification for Portland Cement”. ASTM International, West Conshohocken, PA. 2020. 9 p.
- ACI Committee 440 “Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Bars (ACI 440.1R-15)”. American Concrete Institute, Farmington Hills, MI. 88 p.
- “AASHTO LRFD Bridge Design Guide Specifications for GFRP Reinforced Concrete Bridge Decks and Traffic Railings”. First edition. AASHTO, Washington, DC. 2009. 68 p.
- “AASHTO LRFD Bridge Design Specifications”. Eighth edition, AASHTO, Washington, DC. 2017. 438 p.
- “Technical Report No. 66: External In-Situ Concrete Paving”. Concrete Society, Camberley, UK. 2007. 83 p.
- “fib Bulletin No. 40: FRP Reinforcement in RC Structures”. fib, Lausanne, Switzerland. 2007. 160 p.
- ACI Committee 318, “Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-14) and Commentary (ACI 318R-14)”. American Concrete Institute, Farmington Hills, MI. 2014. 519 p.
- 12-SAMSS-027 “Fiber-Reinforced Polymer Bar Materials for Concrete Reinforcement”. Materials System Specification, Saudi Aramco, Jazan, Saudi Arabia. 2017. 8 p.
- SAES-Q-001 “Criteria for Design and Construction of Concrete Structures” Saudi Aramco, Jazan, Saudi Arabia. 2016. 24 p.
- ASTM D7957/D7957M-17 “Standards Specification for Solid Round Glass Fiber Reinforced Polymer Bars for Concrete Reinforcement”. ASTM International, West Conshohocken, PA. 2017. 5 p.
- “AASHTO Guide for Design of Pavement Structures”. AASHTO, Washington, DC. 1993. 640 p.
- DMRB 7.2.1, “HD 24/06: Pavement Design and Maintenance. Pavement Design and Construction. Traffic Assessment”. Highways England, London, UK. 2006. 20 p.
- ACI Committee 440 “Specification for Construction with Fiber-Reinforced Polymer Reinforcing Bars (ACI 440.5-08)”. American Concrete Institute, Farmington Hills, MI. 2008. 5 p.
- ACI Committee 440 “Specification for Carbon and Glass Fiber-Reinforced Polymer Bar Materials for Concrete Reinforcement (ACI 440.6-08) (Reapproved 2017)”. American Concrete Institute, Farmington Hills, MI. 2008. 6 p.

VI Международная научно-практическая конференция «Современный автоклавный газобетон»

VI International Scientific-Practical Conference "Modern Autoclaved Aerated Concrete"

8–10 февраля 2022 г. в Москве состоялась VI Международная научно-практическая конференция «Современный автоклавный газобетон», традиционно организуемая Национальной ассоциацией производителей автоклавного газобетона (НААГ). Генеральным спонсором конференции выступила немецкая машиностроительная и инженеринговая компания WKB Systems. С первых дней создания ассоциация и журналы издательства «Стройматериалы» являются партнерами, ведь в тематике журналов «Строительные материалы»® и «Жилищное строительство» производство и применение АГБ занимают ведущее место. Традиционно журнал «Строительные материалы»® – информационный спонсор конференции.

On February 8–10, 2022, the VI International Scientific-Practical Conference «Modern Autoclaved Aerated Concrete» was held in Moscow, traditionally organized by the National Association of Autoclaved Concrete Producers (NAAG). The general sponsor of the conference was the German Machine-Building and Engineering Company WKB Systems. From the very first days of its creation, the Association and the magazines of the Publishing House «Construction Materials» are partners, because in the subject of the magazines «Construction Materials»® and «Housing Construction», the production and application of AAC (Autoclaved Aerated Concrete) are among the leading ones. Traditionally, the magazine «Construction Materials»® is the informational sponsor of the Conference.

Пандемия новой коронавирусной инфекции COVID-19 внесла коррективы в график проведения конференции. Специалисты отрасли не встречались в очном формате два года. Накопился огромный дефицит общения. На конференцию приехали более 200 (+ 60 онлайн-участников) руководителей и ведущих специалистов предприятий – производителей автоклавного газобетона, машиностроительных и инженеринговых компаний из России и двенадцати зарубежных стран, представители отраслевых профессиональных объединений, ведущие аналитики строительного комплекса. На пленарном и секционных заседаниях коллеги заслушали и обсудили порядка тридцати докладов. На третий день конференции была организована экскурсия в технопарк «Сколково».

Основными темами конференции стали техническое регулирование в ПСМ и строительстве, производство и применение газобетона, состояние рынка и ценообразования.

Конечно, все участники с нетерпением ждали аналитических докладов.

Состояние рынка стеновых материалов и итоги 2021 г. были представлены в докладе директора «ГС-Эксперт» канд. техн. наук **А.А. Семёнова** (подробнее читайте на с. 44).

Предварительные итоги работы отрасли за 2021 г. подвел директор НААГ **Г.И. Гринфельд**. Он отметил, что в прошедшем году производство АГБ продолжило расти в основном за счет увеличения объема выпуска действующими предприятиями и соответственно за счет повышения загрузки мощностей.

В 2021 г. выпуск АГБ в РФ составил порядка 15,79 млн м³, что на 15% больше, чем в 2020 г., а по сравнению с 2018 г., когда было выпущено рекордных 13,02 млн м³, – больше на 36,5%. Производство армированных газобетонных изделий хоть и осталось практически на прежнем уровне – 44 тыс. м³, однако относительно снизилось, с 0,33 до 0,27% в общем объеме.

Существенных изменений в распределении продукции по плотности не произошло: три основные марки по средней плотности – D400, D500, D600 составляют 98,3% общего объема производства АГБ. Отмечается неуклонный рост выпуска материала плотностью D400, доля которого в 2021 г. составила 13% (2 млн м³).

Средняя цена на АГБ в рознице по состоянию на конец января 2022 г. почти вдвое превысила уровень 2021 г. и составила 7465 р/м³.

На момент проведения конференции отраслевые аналитики прогнозировали умеренный рост объемов производства.

Для определения планов развития предприятий руководителям, безусловно, необходима информация о стратегии развития всего строительного комплекса в увязке с планами социально-экономического развития страны. Информацию к размышлению представил заместитель директора компании СМПро **Е.В. Высоцкий**.

Он отметил, что 2021 г. был более благоприятным для строительной индустрии, чем 2020 г. Объем работ по виду деятельности «Строительство» увеличился на 6%, ввод жилья достиг рекордных значений – 92,6 млн м², а производство строительных материалов без учета продукции металлургической и деревообрабатывающей промышленности выросло на 7,5%.

Однако формальный рост производства обманчив. Объективно в последнее десятилетие в промышленности строительных материалов развиваются негативные тенденции: прекратили производственную деятельность более ста предприятий – производителей кирпича, девять предприятий – производителей газобетона, формирующих около 10% мощности действующего производства; в цементной промышленности мощности цементных производств сократились со 105 до 72 млн т.



В настоящее время сложился опасный дисбаланс в области государственной поддержки строительного сектора. Производителям строительных материалов предлагается в основном искусственное сдерживание цен, что лишь усугубляет проблему. Создание новых высокотехнологичных мощностей могло бы стать катализатором оздоровления всего процесса строительства, но для этого необходимы значительные инвестиционные ресурсы. У промышленности строительных материалов таких резервов нет. На фоне господдержки девелоперов у ПСМ нет даже перспектив аккумулирования существенных средств для инвестиций.

К сожалению, все прогнозы и обозначенные перспективы, выстроенные до событий февраля–марта 2022 г., будут корректироваться с учетом новых социально-экономических реалий.

На этом фоне еще более обостряется необходимость решения назревших вопросов технического нормирования, совершенствования технологии, повышения качества продукции и снижения издержек производства.

Об этом говорил в своем докладе ведущий специалист НИИЖБ **А.В. Анцибор**. Он напомнил, что контроль качественных характеристик, в первую очередь прочности автоклавного газобетона, имеет ряд особенностей. Подходы к оценке качества принимаемой продукции на производстве и на объектах строительства различаются. Поэтому необходимо внести изменения в соответствующие нормативные документы (ГОСТ 31359 «Бетоны ячеистые автоклавного твердения. Технические условия», ГОСТ 18105 «Бетоны. Правила контроля и оценки прочности»), чтобы минимизировать споры между изготовителями и потребителями изделий из газобетона.

Важнейшим свойством АГБ является его низкая теплопроводность. Специалисты постоянно ищут оптимальное соотношение прочностных и теплотехнических характеристик материала, так как от него в значительной мере зависит общая теплотехническая защита зданий. О нововведениях в нормативные российские документы по тепловой защите и энергосбережению, касающихся АГБ, рассказал ведущий специалист НИИСФ канд. техн. наук **П.П. Пастушков** (подробнее читайте на с. 46).

Вопрос создания новых производств и модернизации действующих весьма актуален для российской промышленности. Многие годы комплектация отечественных предприятий осуществляется импортным технологическим оборудованием. В промышленности автоклавного газобетона оно в основном немецкое.

Д. Кёниг, представитель компании WKB Systems GmbH, генерального спонсора конференции, представил проект модернизации действующего производства в Германии. Задачи, решаемые данной модернизацией, аналогичны задачам, стоящим перед российскими предприятиями: повышение производительности, автоматизация, сокращение энерго- и материалоемкости, повышение качества и расширение ассортимента. Для данного предприятия были раз-

работаны индивидуальные технические решения, например размещение линии резки с активным модулем горизонтальной резки и др.

Большой интерес вызвал доклад **Н.С. Кондрашова**, представителя в России китайской компании KEDA. Как известно, KEDA – промышленная группа с широким спектром интересов. Направлением оборудования для выпуска автоклавного газобетона занимается подразделение KEDA SUPERMAKER. Следует отметить, что масштабы строительства и темпы его роста в Китае, а следовательно, и производственная мощность заводов существенно отличаются от российских. Основной упор в производстве АГБ делается на выпуск панелей, что обусловлено стремительным ростом сборного строительства. Мощность предприятий увеличилась со 100 тыс. м³/год, которые она составляла десять лет назад, до 400 и более тыс. м³/год в настоящее время.

KEDA SUPERMAKER успешно работает на внешнем рынке. Построены заводы АГБ в Индии, Индонезии, Турции, Узбекистане и других странах. В настоящее время сотрудничество с опытным китайским производителем может стать весьма актуальным и для российской промышленности строительных материалов.

Особое место среди «машиностроительных» докладов заняло выступление председателя совета директоров группы компаний «ШтайнБлок» **В.Б. Пескова**, который представил российский опыт производства оборудования для выпуска автоклавного газобетона. На примере организации выпуска автоклавного газобетона в дополнение к производству силикатного кирпича появилась возможность расширения ассортимента традиционных стройматериалов. Такой проект уже реализован «ШтайнБлок» на Барнаульском заводе силикатного кирпича «Стройберг».

Интерес участников конференции вызвали также возможности производителей оборудования из Набережных Челнов в изготовлении запасных частей, узлов и агрегатов для уже имеющихся и требующих обновления линий и установок по выпуску строительных материалов, как легкого, так и тяжелого бетона.

Современные условия заставляют всех участников строительного процесса маневрировать в более стесненных обстоятельствах политической и экономической ситуации. Поэтому предложения китайских и российских машиностроителей весьма кстати.

На секционных заседаниях коллеги обсуждали вопросы производства и применения автоклавного газобетона. Вместе искали решения наиболее сложных или спорных проблем, обменивались опытом, делились успехами.

Экономика России, а вместе с ней строительный комплекс и промышленность строительных материалов как его неотъемлемая часть вступают в очень сложный и по многим параметрам неопределенный период экономического и технологического кризиса. Только совместными усилиями можно его с честью преодолеть и приобрести еще большую устойчивость. Так и будет.



А.А. СЕМЁНОВ, канд. техн. наук, генеральный директор (info@gs-expert.ru)ООО «ГС-Эксперт» <http://www.gs-expert.ru/>

Итоги развития российского рынка стеновых материалов в 2021 г.

Приведены статистические данные по рынку стеновых материалов в 2021 г. Показана зависимость данного сегмента строительных материалов от развития индивидуального жилищного строительства. В общем рекордном объеме введенного жилья в 2021 г. – 92,6 млн м² доля индивидуальных жилых домов составила 49,1 млн м², что на 23,4% больше, чем в 2020 г. Этот сегмент строительства потребил 87% общего объема штучных стеновых материалов. Среди штучных стеновых материалов динамика производства и потребления неоднозначная. Наиболее высокие темпы роста производства продемонстрировали блоки из автоклавного газобетона (АГБ). При этом данные Росстата, специалистов «ГС-Эксперт» и Национальной ассоциации производителей автоклавного газобетона (НААГ) расходятся весьма существенно (+9,5, 14,2, 15% по сравнению с 2020 г. соответственно). Отрицательную динамику показали керамический кирпич, конструкции ЖБИ для стен и перегородок и деревянные бревна. В разной пропорции выросла цена на все стеновые материалы. В 2021 г. сохранилась тенденция роста доли АГБ в общем объеме стеновых материалов и уменьшения долей других штучных материалов.

Ключевые слова: рынок стеновых материалов, жилищное строительство, малоэтажное строительство, монолитное строительство, стеновые материалы, мелкоштучные стеновые материалы, автоклавный газобетон, кирпич керамический, кирпич силикатный, железобетонные конструкции.

Для цитирования: Семёнов А.А. Итоги развития российского рынка стеновых материалов в 2021 г. // *Строительные материалы*. 2022. № 3. С. 44–45. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-800-3-44-45>

A.A. SEMENOV, Candidate of Science (Engineering), General Director (info@gs-expert.ru)
LLC "GS-Expert" <http://www.gs-expert.ru/>

Results of the Development of the Russian Wall Materials Market in 2021

Statistical data on the wall materials market in 2021 are given. The dependence of this segment of building materials on the development of individual housing construction is shown. In the total record volume of housing commissioned in 2021 – 92.6 million m², the share of individual residential buildings amounted to 49.1 million m², which is 23.4% more than in 2020. This segment of construction consumed 87% of the total volume of piece wall materials. Among the piece wall materials, the dynamics of production and consumption are ambiguous. Autoclaved aerated concrete (AGB) blocks demonstrated the highest production growth rates. At the same time, the data of Rosstat, GS-Expert specialists and the National Association of Autoclaved Aerated Concrete Manufacturers (NAAG) differ very significantly (+9.5, 14.2, 15% compared to 2020, respectively). Ceramic bricks, reinforced concrete structures for walls and partitions and wooden logs showed negative dynamics. The price of all wall materials has increased in different proportions. In 2021, there was a tendency to increase the share of AGB in the total volume of wall materials and decrease the share of other piece materials. In 2021, the tendency to increase the share of AGE in the total volume of wall materials and a decrease in the share of other piece materials remained.

Keywords: wall materials market, housing construction, low-rise construction, monolithic construction, wall materials, small-piece wall materials, autoclaved aerated concrete, ceramic brick, silicate brick, reinforced concrete structures.

For citation: Semenov A.A. Results of the development of the Russian wall materials market in 2021. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2022. No. 3, pp. 44–45. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-800-3-44-45>

Российский рынок стеновых материалов традиционно ориентирован на внутреннее производство, а объемы внешнеторговых поставок не оказывают существенного влияния на его развитие. Таким образом, объемы и динамика производства стеновых материалов в стране напрямую зависят от динамики развития строительной отрасли и изменения технологий строительства, влияющих на спрос на те или иные виды стеновых материалов.

После нескольких лет стагнации в 2021 г. в России наблюдался строительный бум, который привел к существенному росту спроса на стеновые материалы и динамичному росту цен на эту продукцию. Согласно данным Росстата, по итогам 2021 г. объем работ по виду деятельности «Строительство» вырос на 6% по сравнению с аналогичным периодом предыдущего года и достиг 10791,6 млрд р.

Объем ввода жилых домов в 2021 г. вырос на 12,7% по сравнению с уровнем предыдущего года и составил 92,6 млн м², что стало абсолютным рекордом за постсоветский период. При этом объем строительства многоквартирных жилых домов в 2021 г. вырос на 3,8% по сравнению с предыдущим 2020 г. – до 43,46 млн м², а объем ввода инди-

видуальных жилых домов вырос на 23,4% – до 49,1 млн м². Доля индивидуальных жилых домов в общем объеме жилищного строительства достигла 53%. При этом стоит отметить, что именно жилищное строительство является основным сегментом потребления штучных стеновых материалов – до 87% общего объема потребления.

Согласно оперативным данным Росстата, по итогам 2021 г. среди штучных стеновых материалов наиболее высокие темпы роста производства продемонстрировали блоки из автоклавного газобетона (АГБ) – на 9,5% по сравнению с 2020 г. По оценкам «ГС-Эксперт», темпы роста производства в данном товарном сегменте составили порядка 14,2%. По данным Национальной ассоциации производителей автоклавного газобетона (НААГ), производство АГБ выросло на 15%.

В кирпичном сегменте продолжает сохраняться негативная ситуация. Так, выпуск керамического кирпича, по данным Росстата, в январе–декабре 2021 г. снизился на 5,8% по сравнению с уровнем предыдущего года. Выпуск силикатного кирпича увеличился всего на 1,2% (по оценкам «ГС-Эксперт», рост составил порядка 2,1%).

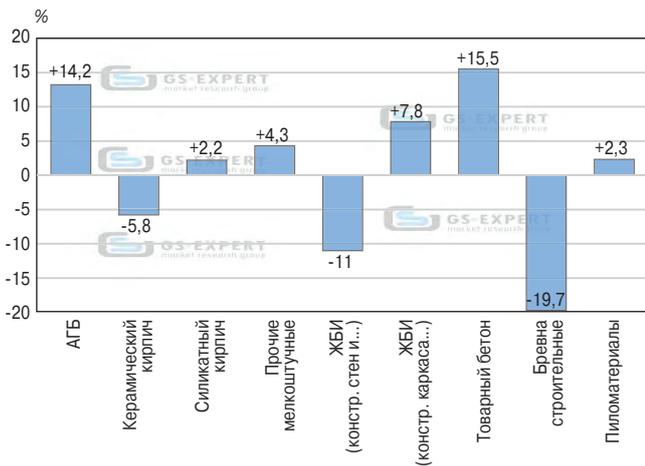


Рис. 1. Динамика производства стеновых материалов в 2021 г.
Fig. 1. Dynamics of wall materials production in 2021

Производство прочих штучных стеновых материалов выросло на 3,3%. Данный товарный сегмент включает штучные стеновые материалы на основе различных видов вяжущих (цементобетонные блоки, шлакоблоки, керамзитобетонные блоки, пенобетонные блоки и т. д.).

В сегменте ЖБИ органы статистики зафиксировали рост на 8,9% по сравнению с уровнем 2020 г. Однако в товарном сегменте «Конструкции каркаса зданий и сооружений сборные железобетонные» рост составил всего 7,8%, а в сегменте «Конструкции стен и перегородок сборные железобетонные» отмечено снижение объемов производства на 11%.

Одновременно с этим наблюдается рост объемов производства товарного бетона на 15,5%, что свидетельствует о сохраняющейся тенденции увеличения доли монолитного строительства с применением АГБ как в индивидуальном жилищном строительстве, так и в строительстве многоквартирных жилых домов.

Также по итогам 2021 г. отмечено существенное, на 19,7% снижение объемов производства строительных бревен при росте объемов выпуска пиломатериалов всего на 2,3%. При этом, по данным Росстата, в 2021 г. наиболее высокие темпы роста цен на стройматериалы отмечались именно в сегменте строительных бревен и пиломатериалов (79–84%), что во многом обусловило существенное падение спроса в сегменте деревянного домостроения и переориентацию потребителей на другие сегменты рынка.

Так, по данным Росстата, средняя цена реализации АГБ в январе–декабре 2021 г. выросла на 25% по сравнению с уровнем предыдущего года. Средние цены реализации керамического и силикатного кирпича росли более низкими темпами – около 22% и 13% год к году соответственно.

В товарном сегменте «Конструкции каркаса зданий и сооружений сборные железобетонные» средние цены реализации выросли на 27%, а в сегменте «Конструкции стен и перегородок сборные железобетонные» – на 28%. Наименьшую динамику роста цен продемонстрировал сегмент товарного бетона – всего порядка 7%.

Благодаря динамичному росту спроса на АГБ доля данной продукции в структуре потребления штучных стеновых материалов по итогам 2021 г., согласно оценкам

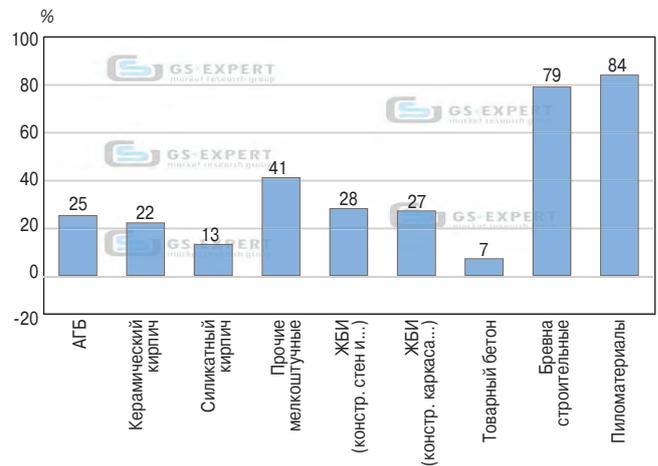


Рис. 2. Динамика роста цен на стеновые материалы в 2021 г. (данные Росстата)

Fig. 2. Dynamics of rising prices for wall materials in 2021 (Rosstat data)

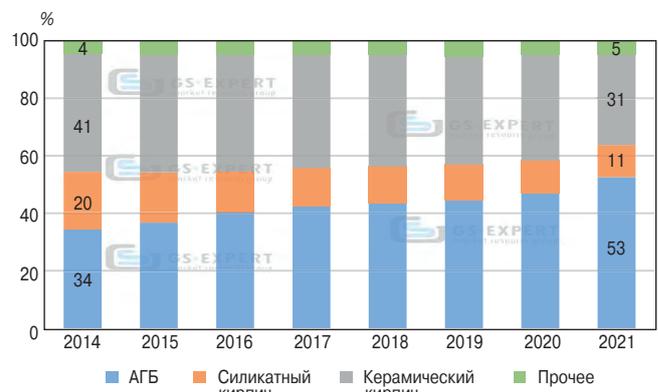


Рис. 3. Структура потребления штучных стеновых материалов в 2014–2021 гг.

Fig. 3. Structure of consumption of piece wall materials in 2014–2021

«ГС-Эксперт», достигла 53%, увеличившись на 6 процентных пунктов по сравнению с предыдущим годом. Начиная с 2018 г. блоки из автоклавного газобетона являются наиболее востребованным стеновым материалом на российском рынке. При этом наиболее «пострадавшим» товарным сегментом в 2021 г. стал сегмент керамических стеновых материалов, доля которого в структуре потребления снизилась до 31%, что является абсолютным минимумом за постсоветский период.



Специализируется на проведении маркетинговых исследований и мониторинге рынков в области строительных материалов и минерального сырья в России и ряде стран СНГ.

Осуществляет постоянный мониторинг и всесторонний анализ текущей ситуации и основных тенденций на рынках исследуемой продукции, включая анализ данных о ее производстве и потреблении, экспортно-импортных поставках, сырьевой базе, состоянии ведущих участников рынка, а также законодательства, касающегося этих отраслей.

Предлагаем готовые аналитические обзоры рынков, проведение исследований по вашим индивидуальным заказам, а также услуги по мониторингу цен и объемов поставок продукции (внутренние поставки и анализ ВЭД) на ежемесячной или ежеквартальной основе.

Тел: (916) 507-83-77

www.gs-expert.ru

E-mail: info@gs-expert.ru

П.П. ПАСТУШКОВ^{1,2}, канд. техн. наук (pavel-one@mail.ru)¹ Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН (127238, г. Москва, Локомотивный пр., 21)² Научно-исследовательский институт механики МГУ имени М.В. Ломоносова (119192, г. Москва, Мичуринский пр-т, 1)

Новые результаты и методические наработки по исследованиям теплопроводности автоклавного ячеистого бетона современного производства

В работе представлены комплексные исследования теплопроводности автоклавного ячеистого бетона (АЯБ) современного производства во всей номенклатуре марок по плотности на самом новом в РФ испытательном оборудовании, а также методические наработки, полученные в ходе этих исследований. Получены зависимости теплопроводности от плотности АЯБ при средней температуре 10 и 25°C, а также примерное соотношение этих характеристик между собой. Установлена степень влияния размеров образца на фиксируемый прибором результат измерений теплопроводности. Подтверждена линейная зависимость теплопроводности от эксплуатационной влажности и найдены коэффициенты теплотехнического качества АЯБ современного производства. Установлена поправка на набор влажности образцов АЯБ в процессе испытаний теплопроводности и описана методика ее нахождения, которая может быть использована в отраслевых нормативных документах. Выявлена сходимости результатов испытаний теплопроводности, полученных на образцах в виде плоских квадратных пластин и на целых блоках. При этом сделан вывод о том, что испытания на образцах в виде квадратных пластин являются более технологичными и воспроизводимыми, они могут быть рекомендованы как основные для оценки теплофизических характеристик АЯБ.

Ключевые слова: автоклавный ячеистый бетон, теплопроводность, плотность, эксплуатационная влажность, коэффициент теплотехнического качества.

Для цитирования: Пастушков П.П. Новые результаты и методические наработки по исследованиям теплопроводности автоклавного ячеистого бетона современного производства // *Строительные материалы*. 2022. № 3. С. 46–50.

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-800-3-46-50>P.P. PASTUSHKOV^{1,2}, Candidate of Sciences (Engineering) (pavel-one@mail.ru)¹ Research Institute of Building Physics Russian Academy Architecture and Construction sciences (21, Lokomotivnyy Driveway, Moscow, 127238, Russian Federation)² Institute of Mechanics Lomonosov Moscow State University (1, Michurinsky Avenue, Moscow, 119192, Russian Federation)

New Results and Methodological Developments on Thermal Conductivity Research of Autoclaved Aerated Concrete of Modern Production

The article is devoted to the description of comprehensive research of the thermal conductivity of autoclaved aerated concrete of modern production in the entire range of density grades on the newest testing equipment in the Russian Federation, as well as methodological developments that were obtained during these studies. The dependences of thermal conductivity on the density of autoclaved aerated concrete at an average temperature of 10 and 25°C, as well as the approximate ratio of these characteristics to each other, are obtained. The degree of influence of the sample size on the result of thermal conductivity measurements recorded by the device is established. The linear dependence of thermal conductivity on operational humidity has been confirmed and the coefficients of thermal quality of autoclaved aerated concrete have been found. A “correction” has been established for the set of humidity of autoclaved aerated concrete samples during thermal conductivity tests and a method for finding it has been described, which can be used in industry regulatory documents. The convergence of the results of thermal conductivity tests obtained on samples in the form of flat square plates and on whole blocks has been established. At the same time, it is concluded that tests on samples in the form of square plates are more technologically advanced and reproducible, so they should remain the main ones for evaluating the thermophysical characteristics of autoclaved aerated concrete.

Keywords: autoclave cellular concrete, thermal conductivity, density, operational humidity, coefficient of thermal quality.

For citation: Pastushkov P.P. New results and methodological developments on thermal conductivity research of autoclaved aerated concrete of modern production. *Stroitel'nyye Materialy* [Construction Materials]. 2022. No. 3, pp. 46–50. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-800-3-46-50>

Автоклавный ячеистый бетон (АЯБ), или автоклавный газобетон, в настоящее время является самым распространенным стеновым материалом в России [1–3]. При этом автоклавный газобетон один из немногих массово производимых современных материалов, которые можно отнести к типу конструкционно-теплоизоляционных, т. е. одновременно выполняющих и несущую, и теплозащитную функции в ограждающих конструкциях. Поэтому в настоящее время большой актуальностью обладают работы, направленные на исследования теплотехни-

ческих характеристик автоклавного газобетона, в том числе в эксплуатационных условиях [4–6]. В отечественной научной и профессиональной среде хорошо известны работы Е.С. Силаенкова [7], Б.А. Качуры [8] и др. За рубежом широко распространена книга Helmut Künzel [9], которая выдержала несколько переизданий. Однако эти работы описывают характеристики газобетона, производимого до 1990-х гг. В современной научно-технической литературе можно найти достаточно много статей, касающихся автоклавного газобетона, но в подавляющем большинстве

они описывают аспекты технологии производства этого материала или вопросы его использования в составе ограждающих конструкций. При этом работы, посвященные именно теплотехническим характеристикам АЯБ, зачастую выполнены на низком уровне или вообще написаны с целью его дискредитации в глазах потребителей. Также встречающиеся протоколы испытаний АЯБ нередко описывают исследования, проведенные на устаревшем оборудовании или с нарушениями методик [10].

Настоящая статья посвящена описанию результатов исследований теплопроводности современного автоклавного газобетона российского производства (ЗАО «Кселла-Аэроблок-Центр») всех выпускаемых марок по плотности, проведенных в секторе испытаний теплофизических характеристик строительных материалов лаборатории строительной теплофизики НИИСФ РААСН за последние полтора года на современном испытательном оборудовании, а также методическим наработкам, которые были получены в ходе этих исследований.

Результаты исследований теплопроводности

Испытания проводились по методике ГОСТ 7076–99 «Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме» на приборе для измерения теплопроводности Lambda-Meter EP500e (Германия), приобретенном НИИСФ РААСН в рамках программы Минстроя РФ в 2020 г. Данный прибор имеет мини-

мальную погрешность измерений среди всех мировых аналогов – менее 1% (рис. 1).

Для испытаний были подготовлены образцы АЯБ марок по плотности: D300, D400, D500, D600 в виде квадратных пластин размерами 0,25×0,25 м. Три образца каждой марки имели толщину 30 мм, еще три толщину 50 мм – таким образом устанавливалось влияние толщины образца на результат испытаний теплопроводности. Из трех произвольных образцов после испытаний вырезаны и испытаны дополнительные образцы уменьшенных размеров 0,15×0,15 м для установления влияния площади образцов при испытаниях теплопроводности. Образцы предварительно высушивались до постоянной массы. Испытания проводились при средней температуре в образце 10 и 25°C. За результат испытаний принимались среднеарифметические значения теплопроводности всех испытанных образцов. Результаты испытаний представлены в табл. 1.

Анализируя полученные экспериментальные данные, было замечено, что в большинстве случаев фиксируемый результат теплопроводности на образцах толщиной 30 мм ниже, чем для образцов толщиной 50 мм, на 1–2%. Причины такого влияния толщины образцов на фиксируемую прибором теплопроводность следует изучить отдельно в дальнейшем. При этом дополнительно установлено, что от площади испытываемого образца теплопроводность не зависит.

По полученным экспериментальным данным также установлено, что теплопроводность АЯБ при средней температуре 10°C, λ_{10} , Вт/(м·°C), может быть

**Таблица 1
Table 1**

**Результаты испытаний теплопроводности автоклавного газобетона
Test results of thermal conductivity of autoclaved aerated concrete**

Марка	Средняя плотность образцов ρ , кг/м ³	Теплопроводность при средней температуре 10°C, λ_{10} , Вт/(м·°C)	Теплопроводность при средней температуре 25°C, λ_{25} , Вт/(м·°C)
D300	296	0,079	0,081
D400	389	0,101	0,104
D500	485	0,124	0,128
D600	576	0,148	0,153

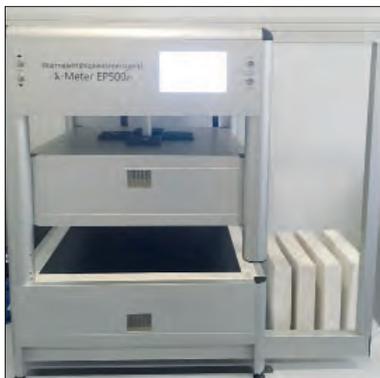


Рис. 1. Испытания теплопроводности образцов АЯБ на приборе Lambda-Meter EP500e
Fig. 1. Thermal conductivity tests of aerated concrete samples on the Lambda-Meter EP500e device



Рис. 2. Кондиционирование образцов АЯБ в камере с влагопоглотителем
Fig. 2. Conditioning of autoclaved aerated concrete samples in a chamber with a desiccant

примерно определена по значению теплопроводности при средней температуре 25°C, λ_{25} , Вт/(м·°С), по формуле:

$$\lambda_{10} \approx 0,097 \cdot \lambda_{25}.$$

Для уточнения зависимости теплопроводности АЯБ современного производства от эксплуатационной влажности были проведены испытания, подобные описанным в [4]. Испытания проводились на пяти образцах каждой марки по плотности с начальными измерениями теплопроводности при той влажности образцов, при которой они были доставлены в лабораторию, и последующими измерениями теплопроводности этих же образцов после сушки до постоянной массы. По результатам этих измерений проводился расчет коэффициента теплотехнического качества η , 1/%, по методике, описанной в [10].

В процессе данных исследований также был выявлен следующий факт. По установлении постоянной массы образец после сушки должен охладиться до комнатной температуры для корректного определения теплопроводности в приборе. В это время происходит сорбционное увлажнение образца, которое продолжается и в процессе испытания, так как образец располагается между нагреваемой и охлаждаемой пластинами прибора. Это подтверждается результатами взвешивания образцов сразу после определения теплопроводности на приборе: масса испытанных образцов всегда была выше массы образца в сухом состоянии. Уменьшить набор массы при подготовке к испытаниям на теплопроводность возможно, поместив образец остывать после сушки в герметичную камеру с влагопоглотителем (рис. 2), но и в этом случае происходит набор массы в процессе испытаний.

Для уточнения значений теплопроводности автоклавных ячеисто-бетонных изделий в сухом состоянии был разработан алгоритм:

– измеренную теплопроводность каждого образца материала по методике ГОСТ 7076–99 обозначают λ' , Вт/(м·°С);

– сразу после измерения теплопроводности каждый образец снова взвешивают, обозначают эту массу m' , г (эта масса будет несколько выше, чем масса в сухом состоянии);

– устанавливают влажность каждого образца w' , %, после испытания теплопроводности по формуле:

$$w' = \frac{m' - m_0}{m_0} \cdot 100\%;$$

– рассчитывают теплопроводность каждого образца материала в сухом состоянии λ_0 , Вт/(м·°С), по формуле:

$$\lambda_0 = \lambda' / (1 + \eta \cdot w').$$

В табл. 2 представлены результаты описанных исследований влияния эксплуатационной влажности на теплопроводность АЯБ.

По результатам проведенных исследований установлена линейная зависимость теплопроводности от эксплуатационной влажности, а также найдены коэффициенты теплотехнического качества АЯБ современного производства, которые для всех марок приблизительно составили $\eta=0,04$ (1/%). Этот результат подтверждает ранее полученные значения в [4] и [9]. В рамках линейной зависимости теплопроводности от эксплуатационной влажности установлена поправка для всех марок на набор влажности образцов в процессе испытаний теплопроводности, она составляет 1–2%.

В рамках работы также были проведены исследования теплопроводности целых блоков автоклавного газобетона марки D400 в сухом состоянии при средней температуре в блоке 0; 10 и 25°C. Такие испытания невозможно провести на традиционных приборах по измерению теплопроводности, они стали возможны благодаря расширенным функциональным возможностям прибора Lambda-Meter EP500e. Целью исследований было сопоставление результатов теплопроводности, полученных на образцах в виде плоских квадратных пластин (которые используются при испытаниях по методике ГОСТ 7076–99 на традиционных приборах) и на целых блоках, а также установление зависимости теплопроводности от средней температуры в блоке в диапазоне от 0 до 25°C.

Блок в приборе размещался таким образом, чтобы тепловой поток проходил через него так же, как если бы блок находился в составе ограждающей конструкции. При этом размеры нижней части прибора соответствовали длине блока. Во время испытаний по краям от блока была размещена минераловатная изоляция (по рекомендации от производителя прибора для дополнительной тепловой изоляции от окружающего воздуха) (рис. 3, а). Блоки перед испытаниями были высушены до постоянной массы и прошли кондиционирование при комнатной температуре (рис. 2).

Таблица 2
Table 2

Результаты исследований влияния эксплуатационной влажности на теплопроводность АЯБ
Results of research on the effect of operational humidity on the thermal conductivity of autoclaved aerated concrete

Марка	Средняя эксплуатационная влажность образцов w_z , %	Коэффициент теплотехнического качества η , 1/%	Влажность образца при испытаниях теплопроводности w' , %	λ_0/λ'
D300	39,2	0,037	0,66	0,98
D400	28,4	0,038	0,51	0,98
D500	24,1	0,035	0,42	0,98
D600	12,6	0,038	0,24	0,99

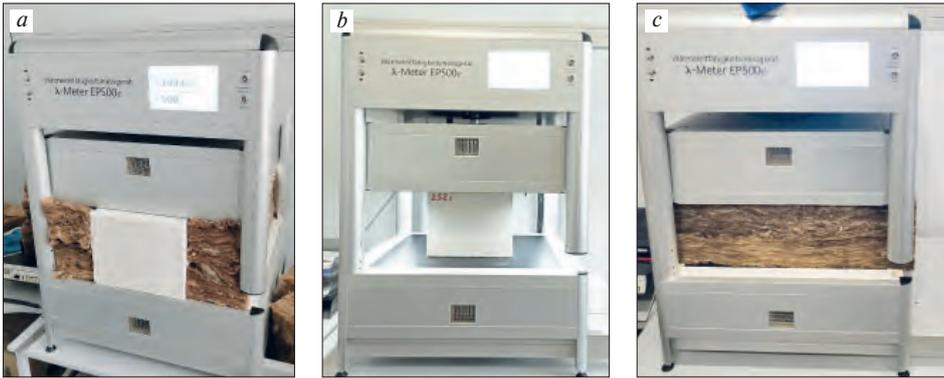


Рис. 3. Процесс испытаний теплопроводности блоков АЯБ
 Fig. 3. The process of testing the thermal conductivity of autoclave aerated concrete blocks



Рис. 4. Процесс испытаний кладки из АЯБ в климатической камере
 Fig. 4. The process of testing the masonry of autoclaved aerated concrete in the climatic chamber

Полученные результаты в первоначальной серии испытаний были в среднем на 30% выше, чем полученные результаты на образцах в виде плоских квадратных пластин. Это возможно объяснить тем, что, несмотря на оснащение прибора несколькими «горячими охранными зонами», из-за большой толщины образца (200 мм) и его низкой теплопроводности (около 0,1 Вт/(м·°C)) через открытые торцы блока поступал дополнительный тепловой поток, который влиял на фиксируемые результаты. Для получения точного результата было принято решение вырезать из блока среднюю часть с размерами 250×250 мм (с той же толщиной 200 мм) и повторить испытания (рис. 3, b), при этом обложив образец минеральной изоляцией со всех сторон (рис. 3, c).

По результатам испытаний на трех блоках в исследованном диапазоне температуры от 0 до 25°C найдена линейная зависимость теплопроводности λ , Вт/(м·°C), от средней температуры t_{cp} , °C, блоков АЯБ марки D400 в сухом состоянии: $\lambda(t_{cp})=0,0003 \cdot t_{cp}+0,096$. Таким образом, полученные значения при испытаниях блока фактически совпали с результатами испытаний на образцах в виде квадратных пластин той же плотности (табл. 1).

Аналогичный результат по теплопроводности блоков был получен при определении теплотехнических характеристик кладки из автоклавного газобетона марки D400 в климатической камере ПЛКА КТК 3000 (рис. 4). Описанию этих исследований будет посвящена отдельная статья.

Список литературы

1. Гринфельд Г.И., Вишнеvский А.А., Смирнова А.С. Производство автоклавного газобетона в России в 2017 году // *Строительные материалы*. 2018. № 3. С. 62–64.
2. Вишнеvский А.А., Гринфельд Г.И., Смирнова А.С. Российский рынок автоклавного газобетона. Итоги 2016 года // *Строительные материалы*. 2017. № 3. С. 49–51.

Заключение

В секторе испытаний теплофизических характеристик строительных материалов лаборатории строительной теплофизики НИИСФ РААСН проведены комплексные исследования теплопроводности АЯБ современного производства во всей номенклатуре марок по плотности на самом новом в РФ испытательном оборудовании. Получены зависимости теплопроводности от плотности АЯБ при средней температуре 10 и 25°C, а также примерное соотношение этих характеристик между собой. Установлена степень влияния размеров образца на фиксируемый прибором результат измерений теплопроводности. Подтверждена линейная зависимость теплопроводности от эксплуатационной влажности и найдены коэффициенты тепло-технического качества АЯБ современного производства. Установлена поправка на набор влажности образцов АЯБ в процессе испытаний теплопроводности и описана методика ее нахождения, которая может быть использована в отраслевых нормативных документах. Установлена сходимость результатов испытаний теплопроводности, полученных на образцах в виде плоских квадратных пластин и на целых блоках. При этом испытания на образцах в виде квадратных пластин являются более технологичными и воспроизводимыми, поэтому они должны остаться основными для оценки теплофизических характеристик АЯБ.

References

1. Grinfeld G.I., Vishnevsky A.A., Smirnova A.S. Production of autoclaved aerated concrete in Russia in 2017. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 3, pp. 62–64. (In Russian).
2. Vishnevsky A.A., Grinfeld G.I., Smirnova A.S. The Russian market of autoclaved aerated concrete. Results of 2016. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 3, pp. 49–51. (In Russian).
3. Vishnevsky A.A., Grinfeld G.I., Smirnova A.S. Production of autoclaved aerated concrete in Russia. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2015. No. 6, pp. 52–54. (In Russian).

3. Вишнеvский А.А., Гринфельд Г.И., Смирнова А.С. Производство автоклавного газобетона в России // *Строительные материалы*. 2015. № 6. С. 52–54.
4. Пастушков П.П., Гагарин В.Г. Исследования зависимости теплопроводности и коэффициента теплотехнического качества от плотности автоклавного газобетона // *Строительные материалы*. 2017. № 5. С. 26–28.
5. Пастушков П.П. Расчетное определение эксплуатационной влажности автоклавного газобетона марок D300-600 // *Технологии бетонов*. 2016. № 3–4. С. 20–23.
6. Пастушков П.П., Гринфельд Г.И., Павленко Н.В., Беспалов А.Е., Коркина Е.В. Расчетное определение эксплуатационной влажности автоклавного газобетона в различных климатических зонах строительства // *Вестник МГСУ*. 2015. № 2. С. 60–70.
7. Силаенков Е.С. Долговечность изделий из ячеистых бетонов. М., 1986. 174 с.
8. Гаевой А.Ф., Качура Б.А. Качество и долговечность ограждающих конструкций из ячеистого бетона. Харьков. 1978. 224 с.
9. Künzel H. Gasbeton. Wärme- und Feuchtigkeitsverhalten. Wiesbaden – Berlin. Bauverlag. 1970. 120 p.
10. Пастушков П.П. О проблемах определения теплопроводности строительных материалов // *Строительные материалы*. 2019. № 4. С. 57–63. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-769-4-57-63>
4. Pastushkov P.P., Gagarin V.G. Studies of the dependence of thermal conductivity and the coefficient of thermal quality on the density of autoclaved aerated concrete. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 5, pp. 26–28. (In Russian).
5. Pastushkov P.P. Calculated determination of operational humidity of autoclave aerated concrete grades D300-600. *Tehnologii betonov*. 2016. No. 3–4, pp. 20–23. (In Russian).
6. Pastushkov P.P., Grinfeld G.I., Pavlenko N.V., Bespalov A.E., Korkina E.V. Calculated determination of the operational humidity of autoclaved aerated concrete in various climatic zones of construction. *Vestnik MGSU*. 2015. No. 2, pp. 60–70. (In Russian).
7. Silayenkov E.S. Dolgovechnost' izdelii iz yacheistyx betonov [Durability of cellular concrete products]. Moscow. 1986. 174 p.
8. Gaevoi A.F., Kachura B.A. Kachestvo i dolgovechnost' ograzhdayushchikh konstruksii iz yacheistogo betona. [Quality and durability of cellular concrete enclosing structures]. Kharkiv. 1978. 224 p.
9. Kunzel H. Aerated concrete. Heat and moisture behavior. Wiesbaden. Berlin: Bauverlag. 1970. 120 p. (In German).
10. Pastushkov P.P. On the problems of determining the thermal conductivity of building materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2019. No. 4, pp. 57–63. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-769-4-57-63> (In Russian).

К 80-летию Светланы Марковны НЕЙМАН



В каждом деле есть люди, которые являются его олицетворением. В асбестоцементной промышленности таким человеком, несомненно, является Светлана Марковна Нейман, канд. техн. наук, известный специалист в области производства асбестоцементных материалов.

26 февраля 2022 г. Светлане Марковне исполнилось 80 лет.

Трудовую деятельность С.М. Нейман начала рабочей на Чимкентском цементном заводе, а после окончания Чимкентского технологического института в 1965 г., где ее наставниками были такие известные ученые-цементники, как И.Г. Лугинина и А.Н. Лугинин, работала в Орпроектцементе, участвовала в наладке цементных печей на заводах Средней Азии.

В 1966 г. С.М. Нейман поступила в аспирантуру ВНИИасбестцемент. Ее руководителем был известный ученый-асбестоцементник Г.С. Блох. Результаты исследований, которые легли в основу кандидатской диссертации С.М. Нейман по повышению ударной вязкости асбестоцемента, утилизации влажных отходов, не утратили актуальности и в настоящее время. Все асбестоцементные заводы России и стран СНГ оснащены прибором для измерения ударной вязкости КМ-02, разработанным С.М. Нейман.

В 1978–1985 гг. С.М. Нейман возглавляла исследовательский отдел ЦНИЛ Мособлстроя, где занималась разработкой строительных материалов из целлюлозно-бумажных отходов.

В 1985 г. она вновь вернулась в НИИАЦ и возглавила лабораторию охраны труда в отрасли.

Главной темой работ С.М. Нейман были вопросы запыленности асбестом. Исследуя эмиссию волокон хризотил-асбеста из асбестоцементных листов, установила, что в затвердевшем асбестоцементе изменяется состав и структура волокон, снижается его биологическая активность.

Светлана Марковна активно поддерживает деловые взаимоотношения с асбестоцементными предприятиями отрасли как в России, так и в странах ближнего зарубежья, оказывает действенную консультативную и организационную помощь.

Книга С.М. Нейман «О безопасности асбестоцементных материалов и изделий», написанная в соавторстве с А.И. Везенцевым и С.В. Кашанским, стала действенным инструментом разъяснительной и маркетинговой работы предприятий асбестоцементной промышленности. В 2009 г. при ее активном участии создана книга «Хризотилцементные строительные материалы. Области применения». В последние годы главной заботой С.М. Нейман стало объединение потенциала вузов и предприятий для решения научных проблем отрасли.

Сегодня Светлана Марковна продолжает активную работу по расширению областей применения асбестоцементных изделий с целью повышения эффективности работы предприятий.

Неутомимый исследователь и патриот отрасли, Светлана Марковна Нейман является активным автором и научным консультантом журнала «Строительные материалы»®. Редакция, редакционный совет, коллеги от всей души поздравляют Светлану Марковну Нейман с 80-летием, желают крепкого здоровья и дальнейших успехов.

УДК 553.676.2:621.315.613.4

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-800-3-51-55>

С.М. НЕЙМАН, канд. техн. наук

НО «Хризотиловая ассоциация» (info@chrysotile.ru)

Перспективные научные направления для развития хризотилцементной отрасли России

Один из старейших научных работников хризотилцементной отрасли Светлана Марковна Нейман до настоящего времени ведет активную профессиональную деятельность. В статье она анализирует современное состояние хризотилцементной отрасли и предлагает ряд перспективных направлений, развитие которых позволит расширить области применения хризотилцементной продукции и повысить лояльность к ней. Эффективным инструментом для подъема асбестоцементной отрасли может стать Виртуальный НИИАЦ – ВиртНИИАЦ. Основу ВиртНИИАЦ составит творческая группа из научных работников вузов, аспирантов, дипломников, студентов и ИТР отраслевых предприятий. Основные задачи ВиртНИИАЦ – поддержка и рост потенциала асбестоцементной промышленности за счет выбора и отработки новых технологических решений, повышение квалификации. Важным инструментом подъема хризотилцементной отрасли станет расширение областей применения хризотилцементов в каркасном строительстве по технологии Санкт-Петербургской компании «Совби». По этой технологии возводятся многоэтажные и малоэтажные здания различного функционального назначения. Особенно эффективна она в условиях сурового климата Сибири и Крайнего Севера, что было доказано многолетними исследованиями различных объектов, построенных там начиная

с 2000-х гг. в Якутии на кафедре строительных материалов СВФУ им. М.К. Аммосова. В частности, предложено использовать технологию «Совби» для прокладки трасс водоснабжения.

Ключевые слова: хризотил, асбест, хризотилцемент, асбестоцемент, шифер, хризотилцементные трубы, Научно-исследовательский институт асбестоцемента (НИИАЦ), Хризотиловая ассоциация, каркасная технология «Совби», пенобетон.

Для цитирования: Нейман С.М. Перспективные научные направления для развития хризотилцементной отрасли России // *Строительные материалы*. 2022. № 3. С. 51–55. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-800-3-51-55>

S.M. NEYMAN, Candidate of Science (Engineering)
NO «Hrizotilovaja asociacija» (info@chrysotile.ru)

Promising Scientific Directions for the Development of the Chrysotile Cement Industry in Russia

One of the eldest researchers in the chrysotile cement industry, Svetlana Markovna Neiman, has been actively engaged in professional activities to date. In the article, she analyzes the current state of the chrysotile cement industry and suggests a number of promising areas, the development of which will expand the scope of application of chrysotile cement products and increase loyalty to them. An effective tool to upswing the asbestos cement industry can be a Virtual NIAC – VirtNIAC. The basis of VirtNIAC will be a creative group of university researchers, graduate students, diploma students, students and IT specialists of branch enterprises. The main tasks of VirtNIAC are to support and increase the potential of the asbestos cement industry through the selection and development of new technological solutions, professional development. Main tasks of VirtNIAC are support and growth of the potential of the asbestos cement industry through the selection and development of new technological solutions, professional development. An important tool for the rise of the chrysotile cement industry will be the expansion of the areas of application of chrysotile cement in frame construction according the technology of the St. Petersburg company “Sovbi”. Multi-storey and low-rise buildings of various functional purposes are being built using this technology. It is especially effective in the harsh climate of Siberia and the Far North, which has been proven by many years of research since the 2000s in Yakutia at the Department of Building Materials of the North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov. In particular, it is proposed to use the Sovbi technology for laying water supply routes.

Keywords: chrysotile, asbestos, chrysotile cement, asbestos cement, slate, chrysotile cement pipes, Asbestos Cement Research Institute, Chrysotile Association, frame technology “Sovbi”, foam concrete.

For citation: Neyman S.M. Promising scientific directions for the development of the chrysotile cement industry in Russia. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2022. No. 3, pp. 51–55. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-800-3-51-55>

Прошло без малого 20 лет, как прекратил существование научно-исследовательский институт ВНИИАсбестцемент (НИИАЦ), решающий прежде проблемы развития асбестоцементной отрасли. От него в научной работе из всех его бывших сотрудников на сегодня осталась я одна. После упразднения в 1992 г. Минстроя России в стране погибло большинство прикладных НИИ и много отраслевых предприятий. Асбестовая и асбестоцементная отрасли пострадали, как известно, особенно сильно от необоснованной антиасбестовой компании, связанной в значительной мере с конкурентной борьбой из-за отсутствия на Западе своих промышленных запасов хризотилового асбеста.

Напомним, что в 1986 г. Международной организацией труда (МОТ) было запрещено применение амфиболового асбеста. Однако Россия обладает значительными запасами хризотилового асбеста, поэтому добывающие и перерабатывающие предприятия работу продолжили. Но в России, обладающей значительными запасами хризотилового асбеста, не запрещенного к применению, продолжается его добыча и переработка. Перед отраслью встал вопрос консолидации для защиты своих интересов. И в 1997 г., в соответствии с рекомендациями международной конференции «Асбест и здоровье», в г. Асбесте Свердловской области была создана Асбестовая ассоциация, позже переименованная в Хризотиловую. Она возглавила асбестоцементную отрасль на всем постсоветском пространстве. Главной функцией Хризотиловой ассоциации вначале была защита отрасли от несправедливых обвинений во вредности хризотилового асбеста и асбестоцемента на его основе. А когда в 2012 г. благодаря усилиям Правительства РФ наша страна, а затем и другие страны бывшего СССР были введены в Роттердамскую конвенцию, появилась возможность

крепче удерживать отрасль на всем постсоветском пространстве и более активно бороться за нее.

В то же время из-за потери материальной поддержки отраслевой науки государством и квалифицированного научного звена в лице сотрудников НИИАЦ отрасль лишилась возможности, как прежде централизованно, улучшать технологию, создавать новые технологические решения и новые материалы. Небольшие исследования заводы заказывали небольшим научным коллективам.

Кроме того, в прежних наработках НИИАЦ есть много ценных предложений, которые в силу различных обстоятельств не были внедрены и даже не опубликованы. Мы с бывшим коллегой по институту Г.В. Коновым проанализировали буквально чудом сохранившиеся отчеты по НИР и сделали вывод, что по важнейшим для развития отрасли направлениям имеется значительный не утративший актуальности исследовательский задел [1], в том числе ряд моих разработок, внедрение которых может быть полезно. Развить научно-технический прогресс в асбестоцементной промышленности целесообразно путем объединения профильных знаний ИТР предприятий и ученых вузов.

Эффективным инструментом для подъема асбестоцементной отрасли мог бы стать Виртуальный НИИАЦ – ВиртНИИАЦ. Еще в 2014 г. это мое предложение было поддержано проректором по науке МГСУ А.П. Пустовгаром, а затем на традиционной ежегодной встрече проректоров по науке почти тридцати вузов страны. Важной составляющей ВиртНИИАЦ может стать творческая группа из научных работников вузов, аспирантов, дипломников, студентов и ИТР отраслевых предприятий. Основные задачи этой новой структуры – поддержка и рост потенциала асбестоцементной промышленности за счет выбора и отработки новых технологических решений

и повышение квалификации, образовательного уровня ИТР предприятий и, взаимно, передача в вузы участникам всех уровней – от студентов до научных работников – знаний по хризотилцементной отрасли. Также большое значение имеет совместное участие в экспериментах, в строительстве с правильным применением шиферных изделий, с распространением знаний о безопасности шифера [2] и выполнение этих задач через совместные научные работы и защиту новых решений в виде дипломов и диссертаций.

Следующая важная задача – выполнение совместных строительных работ с хризотилцементом силами строительных отрядов и при участии работников асбестоцементных предприятий. Для рабочих заводов это важно, чтобы получать дополнительные заработки во время имеющихся простоев заводов. Это также очень важно для демонстрации участникам строительства приемов правильной работы с шиферными изделиями, убеждений, что только правильная монтажная работа обеспечивает объектам долгие десятилетия бездефектной службы – до 80 и более лет. Все это будет способствовать увеличению объемов потребления шиферных изделий и, как результат – объемов их производства.

В первую очередь необходимо совместно с учетом имеющейся в отрасли учебной литературы и практического опыта по хризотилцементным материалам составить краткие пособия для техникумов и вузов по технологии их производства, свойствам хризотила и хризотилцемента, областям применения хризотилцементных изделий и восприятию их в мире с точки зрения безопасности. Необходимо сделать материалы оптимальными для восприятия студенческой аудиторией разного уровня, которая будет участвовать и в научных исследованиях, и в производстве изделий на заводской практике, и в работе строительных отрядов. С рядом высших и средних заведений такая работа начиналась давно, и есть определенные заделы по составлению таких учебных пособий, одобренные и преподавателями, и руководителями вузов ряда регионов.

Экспериментальной базой для научных исследований являются технические, лабораторные и внедренческие возможности сторон. Исследования нужно максимально использовать для более детального познания и применения ценных физико-химических и прочностных свойств хризотила и хризотилцемента и осо-

бенностей технологии изготовления. При исследованиях важно опираться на ранее проведенные Хризотиловой ассоциацией работы и искать дополнительные доказательства того, что хризотил-асбест в хризотилцементе, вступая в реакцию с цементом, не может выделиться в атмосферу как свободное, чистое от цемента витающее волокно и поэтому шифер не опасен для здоровья людей [3, 4]. Исследования должны быть направлены на дальнейшее улучшение свойств шифера, повышение его долговечности, расширение и укрепление областей и объемов применения.

Всем сторонам контактов необходимо постоянно обмениваться информацией, корректировать темы научных и внедренческих работ с учебными заведениями, публиковать и размещать результаты работ на площадке ВиртНИИАЦ, обсуждать их на общих мероприятиях в рамках всей отрасли, доводить работы до защиты дипломов и диссертаций. Все публикации результатов экспериментов, предложений и выводов по работам также должны размещаться на постоянно действующей виртуальной ознакомительной площадке ВиртНИИАЦ, привлекая этим внимание широкой аудитории к шиферу. При этом важно постоянно отслеживать появление в Интернете немотивированных обвинений асбеста и асбестоцемента во вредности и на площадке ВиртНИИАЦ аргументированно доказывать несостоятельность таких обвинений.

По итогам этих общих работ будут уточняться направления дальнейшего развития предприятий в каждом регионе и отрасли в целом. К настоящему времени структура ВиртНИИАЦ разработана и подготовлена для размещения ее в сетевом пространстве.

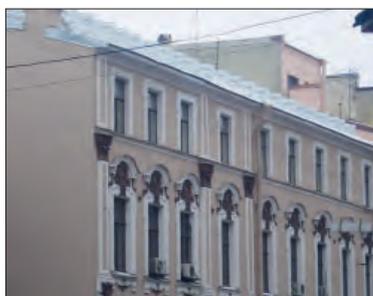
Вторая важная задача для подъема хризотилцементной отрасли – расширение областей применения хризотилцемента в каркасном строительстве по технологии Санкт-Петербургской компании «Совби». Технология создана и введена в практику более 30 лет назад военным строителем, д-ром техн. наук В.Д. Васильевым [5].

В основе легкой и максимально экономичной каркасной технологии «Совби» – каркасы для всех ограждающих элементов здания – стен, полов, межэтажных перекрытий, мансард и крыш, – обшитые с обеих сторон листами плоского шифера. Швы между листами заделываются, и в каркасы заливается легкий пенобетон.

Каркасы используют деревянные или металлические. Пенобетон в конструкциях обеспечивает соору-



Малозэтажный дом с асбестоцементными листами и трубами в опалубке и с заливкой внутри легким пенобетоном
Low-rise house with asbestos cement sheets and pipes in the formwork and with filling inside with light foam concrete



Надстроенная мансарда над дворцом XIX в., офис ОАО «Монолитстрой», Санкт-Петербург

Added attic over the Palace of the XIX century, office of JSC "Monolitstroy", St. Petersburg



жениям необходимые показатели тепло- и звукозащиты. Для вертикальных стен предпочтительна плотность пенобетона 150–300 кг/м³. В каркасах перекрытий, способных выдерживать повышенные звуковые и прочностные нагрузки, чаще всего применяется пенобетон массой 700–800 кг/м³, а в перекрытиях большей площади может достигать 1500 кг/м³. Пенобетон изготавливается прямо на строительной площадке и подается на любой этаж зданий. Строительство по этой технологии требует в сравнении с другими технологиями наименьших трудозатрат, уменьшает сроки и себестоимость строительства.

Сначала эта технология была использована автором только за рубежом, а затем широко внедрена в Ленинградской области при строительстве малоэтажных домов. В Санкт-Петербурге построено много зданий до 25 этажей. Технология была использована также для надстроек мансард над историческими зданиями XVIII–XIX вв. в стиле этих сооружений, при строительстве гостиниц для Олимпиады в Сочи.

В настоящее время компанию «Совби» возглавляет А.В. Селиверстов. Совместно со специалистами компании развитием этой технологии занимается д-р техн. наук, профессор Ю.В. Пухаренко, зав. кафедрой строительных материалов СПбГАСУ.

Ценный вклад в науку и практику строительства по технологии «Совби» в начале 2000-х гг. внесли ученые Якутии под руководством д-ра техн. наук А.Е. Местникова, зав. кафедрой строительных материалов СВФУ им. М.К. Аммосова и его учеников кандидатов техн. наук А.Д. Егоровой и А.Г. Кордашевского. Много вопросов решалось именно в курсовых, дипломных и диссертационных работах и затем в ходе работ с постоянным участием студенческих стройотрядов.

Непосредственно строительные работы начались в Якутии в 2006 г. Сделаны выводы о предпочтительности для строительства в сложном климате Якутии именно шиферной продукции. Другие параллельно применяемые материалы в большой степени не выдерживают экстремальных условий и требуют скорой замены после заливки пенобетона или перед сдачей объекта, а также после воздействия длительных морозов.

С большим числом объектов мне удалось ознакомиться в 2012 г. в результате поездки в Якутию, которая состоялась благодаря поддержке директора ООО «Тимлюйский шиферный завод» И.Ю. Крендясева (Бурятия). В частности, мне удалось увидеть применение шиферных труб для водопроводов данного региона. В Якутии водопроводы из-за промерзания грунтов укладываются только на надземные эстакады. При защите труб слоем минеральной ваты они выходят из строя не только за счет коррозии, а в большой мере из-за частого промерзания. Сильные ветры срывают жестяное покрытие утеплителей труб и разрушают слой утеплителя под ним. По свидетельству жителей – при частом замораживании труб их разогревают горелками, отчего трубы быстро приходят в негодность.

Понятно, что некорродирующие и более стойкие в морозы по сравнению с металлическими шиферные трубы будут служить намного дольше, если их утеплять легким пенобетоном. Опыт этой работы утепления водопроводных линий из металлических труб легким пенобетоном отработан компанией «Совби» [6, 7].

Хризотилловая ассоциация оценила эти работы как полезные для увеличения объемов применения асбестоцементных труб. Под руководством инженера В.А. Бабича отработан достаточно легкий способ укладки асбестоцементных труб в надземные и подземные траншеи, огороженные со всех сторон плоскими шиферными листами, в которые раньше засыпали песок или грунт, а в работах ассоциации заливается легкий пенобетон [8, 9]. Целесообразно распространить опыт работы Якутии с металлическими водопроводами для отработки прокладки асбестоцементных труб с их утеплением легким пенобетоном и выполнять их в рамках следующей диссертации в Якутском университете в контактах с ИТР Красноярского шиферного комбината. Результаты строительных работ, выполненных в Якутии, будут самыми полезными для развития быстрой, легкой и наиболее экономичной технологии прокладки и утепления асбестоцементных водопроводов на просторах всех холодных восточных и северных территорий России.

С учетом давних контактов с кафедрой строительных материалов СВФУ и по согласованию с директором комбината «Волна» Я.В. Яланским в 2021 г. один из аспирантов и студенты из Якутии посетили завод, ознакомились с технологией производства, с используемым сырьем, подготовкой и методиками испытания образцов и готовой продукции в лабораториях. Подготовка образцов и их испытания на привезенных пробах сырья выполнялись в вузе для закрепления знаний. Результаты использованы в дипломных работах и кандидатской диссертации. Один из участников этих работ в этом же году поступил в магистратуру СПбГАСУ. Таким образом, показано, что к научным работам возможно подключить исследователей трех взаимно заинтересованных сторон – вузов, шиферной отрасли и строительной компании. Это на сегодня по существу самый яркий пример для обеих сторон в части решения вопросов научного и стратегически важного взаимодействия между отраслью и вузами.

На основе вышесказанного предлагаются следующие виды работ для создания научно-технической площадки ВиртНИИАЦ для наиболее экономного подъема уровня развития хризотилцементной отрасли.

1. Совместно с научными работниками вузов и ИТР хризотилцементной отрасли познакомиться с результатами анализа большого числа неиспользованных наработок НИИАЦ за длительный период и подготовить их к публикации. Наиболее детально проанализировать работы по традиционным, широко используемым технологиям – производству листов и труб, а также по самым перспективным для быстрого развития отрасли направлениям – производству цветных и экструзионных изделий. Два по-

следних направления дадут продукцию, применение которой существенно снизит стоимость и трудозатраты при строительстве. Цветные изделия заводской окраски будут иметь более устойчивое покрытие и исключат окрасочные работы после монтажа изделий на объекте. Экструзионные утепленные панели обеспечат большую прочность и экономию при монтаже стен, снизят объемы монтажных и отделочных работ в сравнении с использованием сборных панелей из отдельных элементов конструкций.

2. Разработать на основе вузов, Хризотиловой ассоциации, отраслевых предприятий страны образец ВиртНИИАЦ для сохранения и повышения потенциала асбестоцементной отрасли в реальных условиях развития страны с невозможностью восстановления отраслевых НИИ. Привлечь к работе ведущие вузы страны, прежде всего МГСУ, СПбГАСУ, СВФУ, имеющие полезные контакты с отраслью, а также Хризотиловой ассоциацией с административной, технической и материальной поддержкой научных работ.

3. Выполнять совместные научные и производственные работы в лабораторных и производственных условиях заводов и вузов с системной совместной публикацией результатов научных, дипломных и диссертационных, внедренческих и строительных работ.

4. Доводить работы до внедрения на предприятиях, в строительстве и при выполнении дипломных и диссертационных работ.

5. Совместно с компанией «Совби» готовить студентов к системной работе в рамках стройотрядов для каркасного строительства с применением шифера.

6. Представлять по договоренностям студентам техникумов и вузов рабочие места на предприятиях для прохождения практики, готовить так совместно квалифицированные кадры для отрасли и науки, а также для распространения объективных сведений о свойствах шиферных изделий и их пользы в строительстве.

7. Привлекать работников асбестоцементных предприятий во время их простоев непосредственно к строительству по технологии «Совби» и к постоянной передаче знаний о преимуществах шифера и правилах работы с ним.

Все это позволит быстрее вернуть заводы к полному использованию технических мощностей.

Список литературы

1. Нейман С.М., Конов Г.В. Хризотилцемент: распалась связь времен? // *Строительные материалы*. 2009. № 5. С. 97–99.
2. Нейман С.М., Везенцев А.И., Кашанский С.В. О безопасности асбестоцементных материалов и изделий. М.: РИФ «Стройматериалы», 2006. 63 с.
3. Нейман С.М., Попов К.Н., Межов А.Г. Исследование свойств хризотилцементных кровельных листов различного срока эксплуатации // *Строительные материалы*. 2011. № 5. С. 23–27.
4. Лугинина И.Г., Везенцев А.И., Нейман С.М., Турский В.В., Наумова Л.Н., Нестерова Л.Л. Оценка эмиссии хризотил-асбеста из асбестоце-

ментных изделий под действием погодных факторов // *Строительные материалы*. 2001. № 9. С. 16–18.

5. Васильев В.Д. Монолитный пенобетон по технологии «Совби» // *Строительные материалы*. 2005. № 12. С. 39–40.
6. Лундышев И.А. Перспективные технологии применения монолитного пенобетона для теплоизоляции трубопроводов // *Инженерно-строительный журнал*. 2008. № 1.
7. Типовые решения прокладки трубопроводов тепловых сетей в изоляции из пенобетона «СОВБИ» диаметром Ду 50–600 мм. Конструкции и детали. 313ТС-017.000. М., 2008. 124 с.
8. Жуков А.Д., Нейман С.М., Раднаева С.Ж. Эксплуатационная стойкость хризотилцементных труб // *Вестник МГСУ*. 2013. № 3. С. 127–134.
9. Жуков А.Д., Нейман С.М., Аюрова О.Б., Раднаева С.Ж. Хризотилцементные трубы в системах горячего водоснабжения // *Вестник МГСУ*. 2013. № 4. С. 84–89.

References

1. Neiman S.M., Konov G.V. Chrysotile cement: broken connection of times? *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2009. No. 5, pp. 97–99. (In Russian).
2. Neiman S.M., Vezentsev A.I., Kashansky S.V. O bezopasnosti asbestotsementnykh materialov i izdeliy [On the safety of asbestos-cement materials and products]. Moscow: Stroymaterialy Publishing House. 2006. 63 p.
3. Neiman S.M., Popov K.N., Mezhev A.G. Investigation of the properties of chrysotile cement roofing sheets of various service life. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2011. No. 5, pp. 23–27. (In Russian).
4. Luginina I.G., Vezentsev A.I., Neiman S.M., Turskii V.V., Naumova L.N., Nesterova L.L. Evaluation of chrysotile-asbestos emission from asbestos-cement products under the influence of weather factors. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2001. No. 9, pp. 16–18. (In Russian).
5. Vasiliev V.D. Monolithic foam concrete according to the “Sovbi” technology *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2005. No. 12, pp. 39–40. (In Russian).
6. Lundyshv I.A. Perspective technologies for the use of monolithic foam concrete for thermal insulation of pipelines. *Inzhenerno-stroitel'nyi zhurnal*. 2008. No. 1. (In Russian).
7. Standard solutions for laying pipelines of heating networks in foam concrete insulation “SOVBI” with a diameter of DN 50–600 mm. Structures and details. 313TS-017.000. Moscow. 2008. 124 p.
8. Zhukov A.D., Neiman S.M., Radnaeva S.Zh. Operational stability of chrysotile-cement pipes. *Vestnik of MSTUSE*. 2013. No. 3, pp. 127–134. (In Russian).
9. Zhukov A.D., Neiman S.M., Ayurova O.B., Radnaeva S.Zh. Chrysotile cement pipes in hot water supply systems. *Vestnik of MSTUSE*. 2013. No. 4, pp. 84–89. (In Russian).

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

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

Определение первоочередных направлений повышения качества и конкурентоспособности строительных материалов: методика и алгоритм

Рассматривается проблема конкурентоспособности строительных материалов и изделий. Показано, что в рыночных условиях конкурентоспособность продукции может быть повышена только за счет совершенствования ее качества. Предложены методика и алгоритм выделения первоочередного направления улучшения функциональных свойств строительных материалов и изделий, обеспечивающего скачок их конкурентоспособности. Обсуждаемая в статье методика базируется на расчете относительного показателя конкурентоспособности строительных материалов и изделий разных производителей, разработанной сотрудниками Воронежского государственного технического университета. Ее суть сводится к соотношению единичного показателя качества и коэффициента весомости каждого свойства материалов. Представленный алгоритм содержит пять взаимосвязанных шагов: формирование перечня функциональных свойств; оценка значимости свойств для потребителя; формирование базы сравнения и численных параметров виртуального продукта-эталона; расчет единичного показателя качества по каждому свойству; сопоставление единичного показателя качества и коэффициента весомости i -го свойства. Использование разработанной методики и алгоритма обеспечивает минимизацию затрат, необходимых для повышения конкурентоспособности строительных материалов и изделий. Возможности методики и алгоритма проиллюстрированы на примере ячеистобетонных блоков, силикатного и керамического кирпича различных производителей.

Ключевые слова: строительные материалы, функциональные свойства, качество, конкурентоспособность.

Для цитирования: Славчева Г.С., Акулова И.И. Определение первоочередных направлений повышения качества и конкурентоспособности строительных материалов: методика и алгоритм // *Строительные материалы*. 2022. № 3. С. 56–60. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-800-3-56-60>

G.S. SLAVCHEVA, Doctor of Sciences (Engineering) (gslavcheva@yandex.ru), I.I. AKULOVA, Doctor of Sciences (Economy) Voronezh State Technical University (84, 20-letiya Oktyabrya Street, 394006, Voronezh, Russian Federation)

Priority Directions Determination for Increasing Building Materials Competitiveness and Quality: Methodology and Algorithm

The problem of competitiveness of building materials and products is considered. It is shown that in market conditions the competitiveness of products can be increased only by improving its quality. The methodology and algorithm for highlighting the priority direction of improving the functional properties of building materials and products, providing a "leap" in their competitiveness, are proposed. The methodology discussed in the article is based on the calculation of the relative competitiveness index of building materials and products from different manufacturers, developed by the staff of the Voronezh State Technical University. Its essence boils down to the correlation of a single quality indicator and the weighting coefficient of each property of materials. The presented algorithm contains five interrelated steps: formation of a list of functional properties; assessment of the significance of properties for the consumer; formation of a comparison base and numerical parameters of a virtual reference product; calculation of a single quality indicator for each property; comparison of a single quality indicator and the weighting coefficient of the i -th property. The use of the developed methodology and algorithm ensures the minimization of costs necessary to increase the competitiveness of building materials and products. The possibilities of the methodology and algorithm are illustrated by the example of cellular concrete blocks, silicate and ceramic bricks of various manufacturers.

Keywords: building materials, functional properties, quality, competitiveness.

For citation: Slavcheva G.S., Akulova I.I. Priority directions determination for increasing building materials competitiveness and quality: methodology and algorithm. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2022. No. 3, pp. 56–60. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-800-3-56-60>

Рыночная устойчивость промышленного предприятия определяется его способностью отстаивать свои конкурентные преимущества, которые формируются на основе создаваемой им в процессе производства и предназначенной для целевых потребителей дополнительной стоимости [1–3]. Иными словами, степень эффективности производственной деятельности обуславливается прежде всего уровнем конкурентоспособности выпускаемых товаров.

Как известно, конкурентоспособность продукта зависит от соотношения его качества и цены. Применительно к строительным материалам и изделиям конкурентоспособными признаются те из них,

которые характеризуются минимальными затратами на получение требуемых функциональных свойств (прочностных, теплоизолирующих, звукоизолирующих и пр.), относительно небольшой ценой и высоким уровнем качества [4, 5]. Исходя из данного определения решение проблемы повышения конкурентоспособности строительных материалов и изделий может быть достигнуто либо путем снижения отпускной цены, либо на основе улучшения потребительских свойств продукции.

Следует указать, что повышение конкурентоспособности за счет снижения цены в условиях конкурентного рынка сталкивается с необходимостью вы-

пуска продукции при существенно низком уровне затрат, что в сложившейся к настоящему моменту экономической ситуации под силу лишь очень узкому кругу производителей строительных материалов. Для подавляющего большинства предприятий отрасли повышение конкурентоспособности продукции связано с совершенствованием ее качества [6–8]. Принимая во внимание значительное количество функциональных свойств, которыми обладает каждый строительный материал или изделие, а также недостаточный объем собственных денежных средств на реализацию системы мероприятий по улучшению этих свойств, руководству предприятия нужно выделить первоочередное направление повышения качества, обеспечивающее скачок в росте уровня конкурентоспособности конкретной номенклатурной группы материалов, изделий и конструкций [9].

С учетом изложенного целью настоящего исследования явилось формирование методики, которая позволяет определять первоочередное направление повышения качества строительных материалов и изделий в условиях дефицита финансовых ресурсов.

Предлагаемая методика базируется на расчете относительного показателя конкурентоспособности строительных материалов и изделий разных производителей, она разработана сотрудниками Воронежского государственного технического университета [10].

Алгоритм выделения приоритетного направления повышения конкурентоспособности, а, по сути, наиболее проблемного и одновременно наиболее значимого функционального свойства материалов и изделий включает пять взаимосвязанных шагов:

- 1) формирование перечня функциональных свойств;
- 2) оценка значимости свойств для потребителя;
- 3) формирование базы сравнения и численных параметров виртуального продукта-эталона;
- 4) расчет единичного показателя качества по каждому свойству;
- 5) сопоставление единичного показателя качества каждого свойства и его коэффициента весомости.

Рекомендуем на шаге 1 и 2 представленного алгоритма использовать метод экспертных оценок.

Выделение совокупности функциональных свойств строительных материалов и изделий (шаг 1) предполагает две итерации. Изначально на основе анализа нормативно-технической документации исследователем составляется первичный список свойств, предлагаемый затем в форме анкеты каждому эксперту для корректировки. При этом допускается исключение из списка, равно как и включение в него дополнительных свойств, а также изменение формулировок. После сбора и обработки анкетных листов составляется окончательный перечень функциональных свойств рассматриваемых строительных материалов и изделий, который на втором шаге передается экспертам с предложением оценить их значимость для потребителя. В задании, помимо условий эксплуатации, обозначается и шкала оценивания:

менее значимому свойству соответствует 1 балл, а наиболее значимому – максимальный балл, численно соответствующий количеству выделенных свойств.

Расчет коэффициентов весомости свойств осуществляется по схеме:

$$M_i = M'_i / \sum M'_i, \quad (1)$$

где M_i – коэффициент весомости i -го свойства; M'_i – средний коэффициент весомости i -го свойства, который определяется отношением суммы балльных оценок экспертов (M_{ir}) к количеству экспертов, принимавших участие в опросе (r):

$$\sum M_{ir} / r, \quad (2)$$

где $\sum M'_i$ – общая сумма средних коэффициентов весомости.

Особо следует указать, что для рассчитанных коэффициентов весомости должно выполняться условие:

$$\sum_{i=1}^n M_i = 1, \quad (3)$$

где n – количество анализируемых свойств материала или изделия.

На третьем шаге алгоритма формируется база сравнения рассматриваемого продукта с продуктами различных производителей. На основе лучших значений показателей свойств продуктов-аналогов обозначаются количественные параметры свойства виртуального продукта-эталона, необходимого для определения единичных показателей качества по каждому свойству.

Расчет единичных показателей качества (k_{ij}) на шаге 4 осуществляется по схемам [10–12]:

– если повышение значения показателя ведет к улучшению свойства, то:

$$k_{ij} = P_{ij} / P_i^{\text{эт}}; \quad (4)$$

– если улучшение свойства обеспечивается снижением показателя, тогда:

$$k_{ij} = P_i^{\text{эт}} / P_{ij}. \quad (5)$$

При этом $P_i^{\text{эт}}$ – значение i -го показателя продукта-эталона, а P_{ij} – значение i -го показателя продукта j -го производителя.

Отметим, что значения единичных показателей качества позволяют выделить проблемное свойство

Результаты расчета значимости функциональных свойств ячеистобетонных блоков
The results of calculation the significance of the porous concrete blocks functional properties

Наименование функционального свойства	Значение коэффициента весомости свойства
Теплопроводность	0,26
Плотность	0,22
Прочность при сжатии	0,21
Отклонение от геометрических размеров	0,12
Морозостойкость	0,11
Соотношение прочности и плотности $R_{сж}/r$	0,1

материала. Однако этого недостаточно для определения ключевого свойства, с совершенствования которого предприятию следует начать решение проблемы повышения конкурентоспособности. Данное обстоятельство обусловлено различиями в значимости функциональных свойств строительных материалов и изделий для потребителя. В этой связи требуется соотношение единичного показателя качества каждого свойства с коэффициентом его весомости, что и реализуется на пятом заключительном шаге разработанного алгоритма. Таким образом, процесс повышения конкурентоспособности строительных материалов и изделий должен начинаться с улучшения функционального свойства материала, характеризующегося высоким весовым коэффициентом и низким значением единичного показателя качества [13].

Возможности предложенного методического подхода могут быть проиллюстрированы на примерах построения диаграмм качества и весовых коэффициентов свойств мелкоштучных стеновых изделий различных производителей (рис. 1–3).

Оценка значимости свойств строительных изделий осуществлялась на основе соответствующих коэффициентов весомости, рассчитанных по формулам (1) и (2). Для примера полученные в результате расчета данные по значимости свойств ячеистобетонных блоков приведены в таблице и на рис. 1, а силикатного и керамического кирпича – на рис. 2 и 3 соответственно.

Информация, представленная на диаграмме качества для свойств блоков из ячеистых бетонов (рис. 1), характеризует ситуацию, когда уровень единичных свойств продукции предприятий-конкурентов существенно отличается. Среди конкурентов имеется предприятие, занимающее лидирующее положение по уровню качества, единичные показатели свойств которого отличаются от эталонных значений не более чем на 20% (предприятие № 3). Для других предприятий однозначно выявляются свойства, имеющие существенно более низкое качество.

Иллюстрация позволяет провести ранжирование имеющихся проблем в области качества продукции и наметить первоочередные направления совершенствования производства. Так, для пред-

приятия № 1 ключевым направлением улучшения качества изделий должно стать повышение прочности при сжатии. А для предприятия № 2 при очевидных проблемах с соблюдением геометрии изделий и морозостойкостью первоочередной является проблема обеспечения задаваемой плотности, по которой единичный показатель качества не является критичным, но вес этого потребительского свойства весьма существен. Для лидера рынка, предприятия № 3, усиление позиции по конкурентоспособности продукции связано с повышением прочности.

Пример диаграммы качества для свойств силикатного кирпича различных производителей (рис. 2)

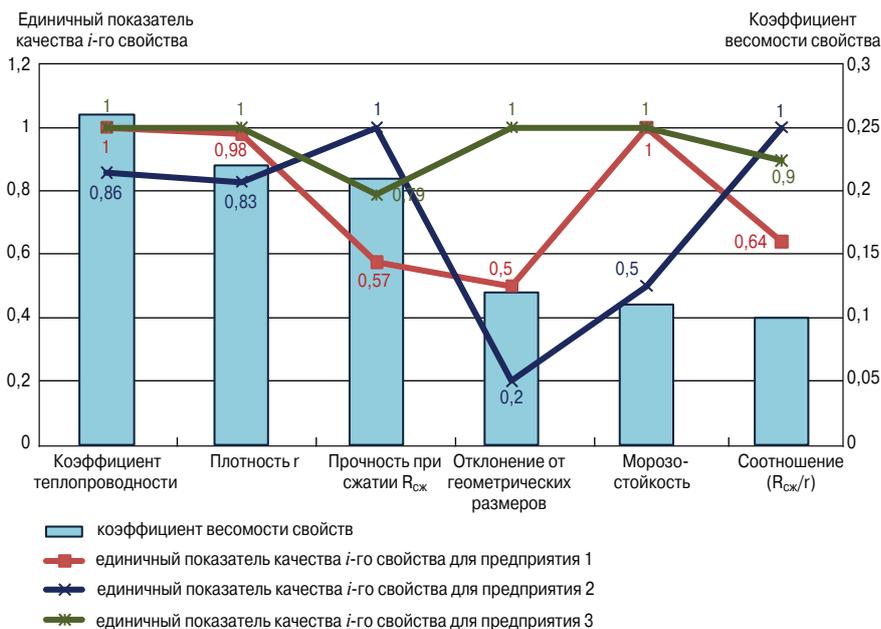


Рис. 1. Диаграмма качества для свойств ячеистобетонных блоков различных производителей
Fig. 1. Quality diagram for the porous concrete block properties produced by different manufacturers

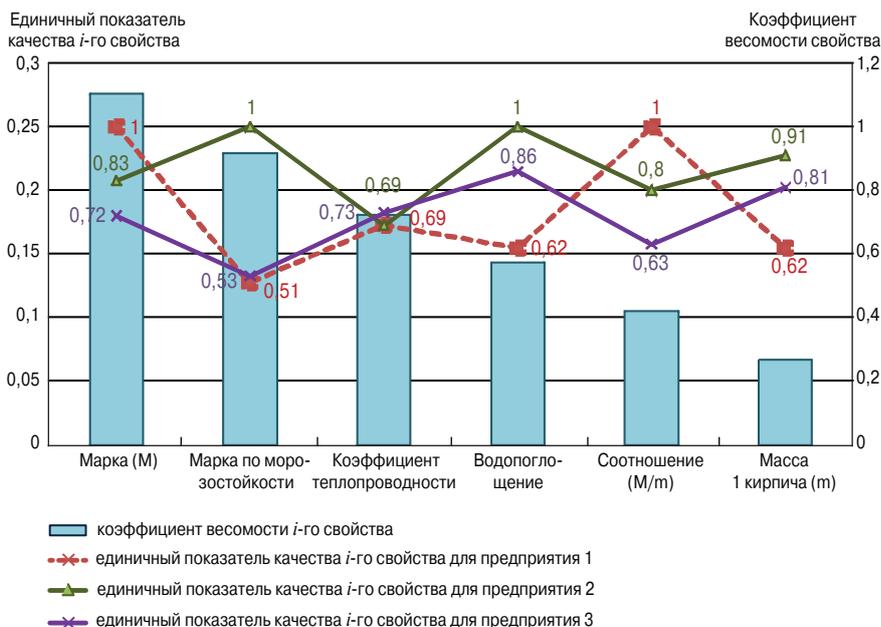


Рис. 2. Диаграмма качества для свойств силикатного кирпича различных производителей
Fig. 2. Quality diagram for the sand-lime brick properties produced by different manufacturers

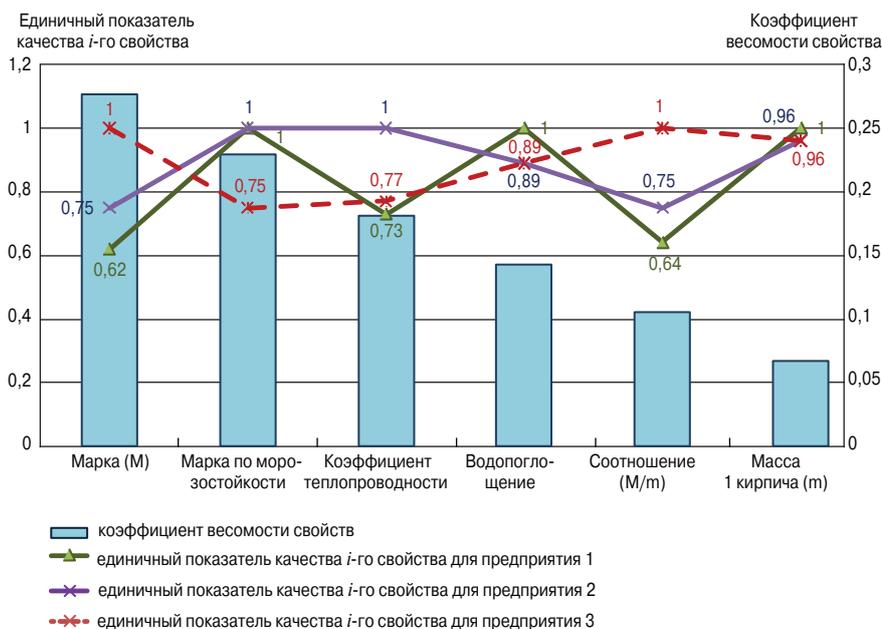


Рис. 3. Диаграмма качества для свойств керамического кирпича различных производителей
Fig. 3. Quality diagram for the ceramic brick properties produced by different manufacturers

демонстрирует ситуацию, когда уровень свойства продукции с высоким коэффициентом весомости (марки по морозостойкости) для предприятий № 1 и 3 почти в два раза ниже эталонных значений. Это и определяет первоочередность задачи повышения морозостойкости изделий для данных производителей. Для лидера рынка силикатного кирпича (предприятия № 2) повышение качества и конкурентоспособности будет обеспечиваться повышением марки по прочности.

Диаграмма качества для свойств керамического кирпича (рис. 3) отражает ситуацию, когда трудно однозначно идентифицировать лидера среди производителей данной группы изделий. Уровень большинства свойств продукции предприятий-конкурентов отличается не более чем на 20–25%. Однако продукция предприятий № 1 и 2 характеризуется самым низким уровнем качества по наиболее весомому для потребителей свойству – прочности. Поэтому очевидна первоочередность решения именно этой проблемы для указанных предприятий.

Представленные на диаграммах данные наглядно позволяют осуществить ранжирование ряда нерешенных производителями проблем в области каче-

ства продукции и наметить ключевые направления технико-технологического развития предприятия, обеспечивающие минимизацию требуемых для этого финансовых ресурсов.

При решении вопросов оптимизации технологических условий получения строительных материалов и изделий с заданными показателями по проблемным свойствам необходимо учитывать, что параметры технологии одновременно влияют на формирование всего комплекса свойств. В этой связи могут проявиться конкурирующие требования к параметрам технологии, ответственным за обеспечение различных свойств. По мнению авторов, наиболее вероятными являются следующие ситуации:

– повышение уровня одного свойства приведет к очевидному ухудшению другого;

– повышение уровня одного свойства положительно скажется на уровне большинства остальных свойств;

– повышение уровня одного свойства существенно не отразится на уровне большинства остальных свойств.

Отсюда очевидна необходимость компромиссной оптимизации параметров технологии на основе анализа производственных условий, дающего представление об оптимальном соотношении между уровнем качества продукции и затратами на его обеспечение. Кроме того, потребуются проведение внутреннего аудита предприятия по выявлению внутренних резервов для совершенствования параметров технологии и повышения качества продукции [13–15].

В качестве вывода подчеркнем, что в условиях дефицита финансовых ресурсов информационная база, формируемая в результате реализации представленной методики и алгоритма, является основой для принятия эффективных управленческих решений по проблеме повышения конкурентоспособности строительных материалов и изделий на основе улучшения их функциональных свойств.

Список литературы

1. Мельникова Е.П., Берлов А.И. Конкурентное преимущество как выражение конкурентоспособности организации. В сборнике: Наука и общество – 2019. Материалы международной научной конференции / Под ред. Н.Б. Осипян, М.А. Дмитриевой, М.И. Жбанниковой. 2019. С. 324–333.
2. Семченко А.А. Конкурентный потенциал и конкурентные преимущества предприятия // Современная конкуренция. 2008. № 4 (10). С. 30–37.

References

1. Melnikova E.P., Berlov A.I. Competitive advantage as an expression of the competitiveness of an organization. In the collection: Science and Society – 2019. Proceedings of the International Scientific Conference / Edited by N.B. Osipyanyan, M.A. Dmitrieva, M.I. Zhbannikova. 2019, pp. 324–333 (In Russian).
2. Semchenko A.A. Competitive potential and competitive advantages of the enterprise. *Sovremennaya konkurenciya*. 2008. No. 4 (10), pp. 30–37. (In Russian).

3. Вишневецкая Н.Г., Нафиков И.А. Механизм формирования конкурентных преимуществ организации // *Вектор экономики*. 2019. № 1 (31). С. 106.
4. Акулова И.И. Прогнозирование динамики и структуры жилищного строительства в регионе: Монография. Воронеж: ВГАСУ, 2007. 132 с.
5. Чернышов Е.М., Акулова И.И. Вопросы развития промышленности строительных материалов в задаче формирования регионального рынка доступного жилья // *Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века*. 2004. № 4 (63). С. 43–45.
6. Скуба Р.В. Внутренние источники конкурентного преимущества региональной коммерческой организации // *Московский экономический журнал*. 2020. № 12. С. 84.
7. Чернецова Е.И. Условия повышения конкурентоспособности предприятий промышленности строительных материалов // *РИСК: Ресурсы. Информация. Снабжение. Конкуренция*. 2016. № 3. С. 198–202.
8. Хандамова Э.Ф., Щепакин М.Б., Баженов Ю.В. Тенденции и проблемы управления конкурентоспособностью предприятий отрасли промышленности строительных материалов // *Вестник СевКавГТИ*. 2017. № 4 (31). С. 94–100.
9. Меликбекян Д.Ж., Секерин В.Д. Методология оценки инвестиционных проектов и анализа конкурентоспособности строительной продукции в промышленности строительных материалов // *Экономика и предпринимательство*. 2016. № 11–3 (76). С. 1090–1094.
10. Акулова И.И., Славчева Г.С. Оценка конкурентоспособности строительных материалов и изделий: обоснование и апробация методики на примере цементов // *Жилищное строительство*. 2017. № 7. С. 9–12.
11. Потапова А.В. Оценка качества и конкурентоспособности строительных материалов // *Вестник Сибирского университета потребительской кооперации*. 2018. № 1 (23). С. 40–44.
12. Мирошникова Е.А. Методы оценки конкурентоспособности продукции отрасли рынка строительных материалов // *Потенциал современной науки*. 2017. № 1 (27). С. 107–111.
13. Akulova I., Slavcheva G. A new approach to identifying top-priority step for increasing the building materials competitiveness. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. International science and technology conference «FarEastCon-2020»*. 2021. Vol. 1079. 032030. DOI: 10.1088/1757-899X/1079/3/032030
14. Юнусова Д.А. Значимость внутреннего аудита в повышении эффективности деятельности предприятий // *Вопросы устойчивого развития общества*. 2020. № 2. С. 34–38.
15. Аджиева А.И., Тхагапсова С.К.-Г. Роль внутреннего аудита в системе экономической безопасности предприятия // *Естественно-гуманитарные исследования*. 2020. № 31 (5). С. 322–325.
3. Vishnevskaya N.G., Nafikov I.A. The mechanism for the formation of the competitive advantages of the organization. *Vektor ekonomiki*. 2019. No. 1, pp. 106. (In Russian).
4. Akulova I.I. Prognozirovanie dinamiki i struktury zhilishchnogo stroitel'stva v regione: monografiya [Forecasting the dynamics and structure of housing construction in the region: monograph]. Voronezh: VGASU. 2007. 132 p.
5. Chernyshov E.M., Akulova I.I. Development of the building materials industry in the task of forming a regional market for affordable housing. *Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tekhnologii XXI veka*. 2004. No. 4 (63), pp. 43–45. (In Russian).
6. Skuba R.V. Internal sources of competitive advantage for a regional commercial organization. *Moskovskiy ekonomicheskij zhurnal*. 2020. No. 12, pp. 84. (In Russian).
7. Chernetsova E.I. Conditions for increasing the competitiveness of enterprises in the building materials industry. *RISK: Resursy. Informaciya. Snabzhenie. Konkurenciya*. 2016. No. 3, pp. 198–202. (In Russian).
8. Khandamova EF, Schepakin MB, Bazhenov Yu.V. Trends and problems of managing the competitiveness of enterprises in the building materials industry. *Vestnik SevKavGTI*. 2017. No. 4 (31), pp. 94–100. (In Russian).
9. Melikbekyan D.Zh., Sekerin V.D. Methodology for evaluating investment projects and analyzing the competitiveness of construction products in the building materials industry. *Ekonomika i predprinimatel'stvo*. 2016. No. 11–3 (76), pp. 1090–1094. (In Russian).
10. Akulova I.I., Slavcheva G.S. Assessment of competitiveness of building materials and products: rationale and approbation of methods on the example of cement. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2017. No. 7, pp. 9–12. (In Russian).
11. Potapova A.V. Assessment of the quality and competitiveness of building materials. *Vestnik Sibirskogo universiteta potrebitel'skoj kooperacii*. 2018. No. 1 (23), pp. 40–44. (In Russian).
12. Miroshnikova E.A. Methods for assessing the competitiveness of products in the building materials market. *Potencial sovremennoj nauki*. 2017. No. 1 (27), pp. 107–111. (In Russian).
13. Akulova I.I., Slavcheva G.S. A new approach to identifying top-priority step for increasing the building materials competitiveness. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. International science and technology conference «FarEastCon-2020»*. 2021. Vol. 1079. 032030. DOI: 10.1088/1757-899X/1079/3/032030
14. Yunusova D.A. The importance of internal audit in improving the efficiency of enterprises. *Voprosy ustojchivogo razvitiya obshchestva*. 2020. No. 2, pp. 34–38. (In Russian).
15. Adzhieva A.I., Tkhangapsova S.K.-G. The role of internal audit in the system of economic security of an enterprise. *Estestvenno-gumanitarnye issledovaniya*. 2020. No. 31 (5), pp. 322–325. (In Russian).

УДК 691.5

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-800-3-61-73>

С.Л. МАМУЛАТ^{1,3}, MBA, научный руководитель проекта НИР ООО «ВЭБ Инжиниринг» и АО «Башкирская содовая компания» (slmamulat@mail.ru); В.В. БАБКОВ², д-р техн. наук; Э.М. ДАВЫДОВ³, генеральный директор, В.В. КОГАН³, канд. техн. наук; Д.В. КУЗНЕЦОВ², канд. техн. наук (alex.03_2017@mail.ru), А.Н. РЯЗАНОВ², канд. техн. наук (aryazanov@hotmail.com), Д.А. СИНИЦИН², канд. техн. наук (d4013438@yandex.ru); Р.Н. ФАТКУЛЛИН³, канд. техн. наук

¹ Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (644080 г. Омск, пр. Мира, 5)

² Уфимский государственный нефтяной технический университет (450062, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1)

³ АО «Башкирская содовая компания» (453110, г. Стерлитамак, ул. Техническая, 32)

Анализ состава, свойств и перспективы применения минерального продукта содового производства АО «Башкирская содовая компания» для изготовления энергоэффективных вяжущих

Современные тренды развития промышленного производства, и в особенности строительной индустрии, предусматривают широкое использование вторичного сырья, диктуемое экономическими и приобретающими особую актуальность экологическими требованиями. Использование местных вторичных ресурсов и побочных продуктов промышленных производств при современном научно-техническом сопровождении открывает значительные резервы для экономии материальных и топливно-энергетических ресурсов в строительстве и производстве строительных материалов. Для Республики Башкортостан, как для региона с развитой промышленностью, значительным сырьевым резервом для производства строительных материалов являются крупнотоннажные вторичные ресурсы АО «Башкирская содовая компания» (г. Стерлитамак). Начиная с 70-х гг. прошлого века был опробован ряд методов вовлечения шламов содового производства для производства гидравлических вяжущих после их обжига, которые показали недостаточную технологическую эффективность. В настоящей статье приведены результаты проведенного с использованием современных аналитических и технологических решений анализа вещественного и примесного состава побочных минеральных продуктов содового производства и перспективные направления их применения в строительстве, апробированные в ходе поисковых исследований и опытно-промышленных испытаний в рамках проекта НИР «Создание технологического комплекса для производства и применения продуктов переработки минерального продукта содового производства АО «БСК» (МПСП) в дорожном, сельском и жилищно-коммунальном хозяйстве», реализуемого по контракту с АО «БСК» и ООО «ВЭБ Инжиниринг».

Ключевые слова: вторичные ресурсы, геополимеры, малоклинкерные вяжущие, минеральный продукт содового производства, полифазные вяжущие, рентгенофазовый анализ, укрепление грунтов.

Для цитирования: Мамулат С.Л., Бабков В.В., Давыдов Э.М., Коган В.В., Кузнецов Д.В., Рязанов А.Н., Синицин Д.А., Фаткуллин Р.Н. Анализ состава, свойств и перспективы применения минерального продукта содового производства АО «Башкирская содовая компания» для изготовления энергоэффективных вяжущих // *Строительные материалы*. 2022. № 3. С. 61–73. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-800-3-61-73>

S.L. MAMULAT^{1,3}, MBA, Scientific Director of the Research Project, LLC "VEB Engineering" and JSC "Bashkir Soda Company" (slmamulat@mail.ru);

V.V. BABKOV², Doctor of Sciences (Engineering); E.M. DAVYDOV³, General Manager,

V.V. KOGAN³, Candidate of Sciences (Engineering); D.V. KUZNETSOV², Candidate of Sciences (Engineering), (alex.03_2017@mail.ru),

A.N. RYAZANOV², Candidate of Sciences (Engineering), (aryazanov@hotmail.com),

D.A. SINITSYN², Candidate of Sciences (Engineering), (d4013438@yandex.ru); R.N. FATKULLIN³, Candidate of Sciences (Engineering)

¹ Siberian State Automobile and Highway University (5, Mira Prospect, Omsk, 644080, Russian Federation)

² Ufa State Petroleum Technological University (1, Kosmonavtov Street, Ufa, 450062, Russian Federation)

³ JSC "Bashkir Soda Company" (32, Technicheskaya Street, Sterlitamak, 453110, Russian Federation)

Analysis of the Composition, Properties and Prospects of Application of the Mineral Product of Soda Production of Bashkir Soda Company JSC for the Manufacture of Energy-Efficient Binders

Modern trends in the development of industrial production, and especially the construction industry, provide for the widespread use of secondary raw materials, dictated by economic and environmental requirements that are becoming particularly relevant. The use of local secondary resources and by-products of industrial production, with modern scientific and technical support, opens up significant reserves for saving material and fuel and energy resources in construction and the production of building materials. For the Republic of Bashkortostan, as for a region with a developed industry, a significant raw material reserve for the production of building materials is the large-tonnage secondary resources of Bashkir Soda Company JSC (Sterlitamak). Since the 70s of the last century, a number of methods have been tested for involving soda sludge for the production of hydraulic binders after their firing, which have shown insufficient technological efficiency. This article presents the results of the analysis of the material and impurity composition of by-products of soda production

carried out using modern analytical and technological solutions and promising areas of their application in construction, tested during exploratory research and pilot tests within the framework of the research project "Creation of a technological complex for the production and use of products of processing of mineral products of soda production of JSC "BSK" (MPSP) in the road, agriculture and housing and communal services" implemented under a contract with JSC "BSK" and LLC "VEB Engineering".

Keywords: secondary resources, geopolymers, low-clinker binders, mineral product of soda production, polyphase binders, X-ray phase analysis, soil strengthening.

For citation: Mamulat S.L., Bobkov V.v., Davydov E.M., Kogan V.V., Kuznetsov D.V., Ryazanov A.N., Sinitin D.A., Fatkullin R.N. Analysis of the composition, properties and prospects of application of the mineral product of soda production of Bashkir Soda Company JSC for the manufacture of energy-efficient binders. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2022. No. 3, pp. 61–73. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-800-3-61-73>

Наиболее распространенными вяжущим при изготовлении бетонных и железобетонных конструкций в настоящее время является портландцемент, а при изготовлении силикатных стеновых материалов – известь. При этом технологические процессы получения цемента и извести весьма энерго- и ресурсоемкие. В частности, на производство 1 т цемента расходуется в среднем 225, а извести – 176 кг условного топлива и соответственно 1,2 и 1,7 т известнякового камня [1], добываемого в карьерах открытым способом, требующим изъятия значительных территорий из хозяйственного оборота. Повестка экологического и устойчивого развития (ESG) настоятельно требует от научных исследований и практики в области строительных материалов вовлечения вторичных сырьевых ресурсов для получения вяжущих материалов, позволяющих снизить нагрузку на окружающую среду.

В связи с этим для строительной отрасли Урало-Поволжского региона, в особенности для дорожного, сельского и индивидуального строительства, перспективным является организация производства низкоэнергоёмких малоклинкерных и бесклинкерных вяжущих на основе имеющихся в регионе вторичных ресурсов.

К таким вторичным ресурсам, которые после соответствующей переработки могут применяться в производстве вяжущих различного назначения [2–5], можно отнести:

- доменные гранулированные шлаки Челябинского и Магнитогорского металлургических комбинатов;
- фосфогипс – отход производства АО «Мелеузовские минеральные удобрения»;
- золошлаковые смеси Кумертауской ТЭС;
- вторичные минеральные продукты АО «Башкирская содовая компания».

Вторичные минеральные продукты содового производства АО «Башкирская содовая компания» образуются в процессе производства кальцинированной соды и представляют собой мелкодисперсную твердую фазу шламов дистиллерной жидкости, которая с момента основания завода и до недавнего времени сливалась в специальные шламбассейны, где происходило постепенное отстаивание дистиллерной жидкости и оседание твердых частиц. Годовой сброс шламов дистиллерной жидкости при полной загрузке производства составляет около 400 тыс. м³, общий объем шламов, накопленный в шламохранилищах более чем за 60 лет, составляет оценочно от 20 до 30 млн т [6].

Исходя из того, что твердая фаза шламов дистиллерной жидкости представляет собой мелкодисперс-

ные частицы, состоящие в основном из карбоната кальция CaCO₃ (60–70%), а также карбоната магния MgCO₃, гидроксидов кальция Ca(OH)₂ и магния Mg(OH)₂, а кроме них – примеси гипса, хлорида кальция и глинистых минералов (SiO₂ и Al₂O₃) [7], еще в 1970-х гг. институтом «НИИпромстрой» (г. Уфа) была опробована технология производства бесцементного известково-кремнеземистого вяжущего путем совместного помола обожженного при температуре 850–950°C отхода содового производства с кварцевым песком [8], пригодного для применения в производстве ячеистого бетона и силикатного кирпича по автоклавной технологии [9], а также разработан комплект технической и технологической документации на производство и применение данного вяжущего [10].

Также экспериментальными исследованиями было установлено, что твердые отходы содового производства после обжига способны активировать вяжущие свойства гранулированного доменного шлака или золы от сжигания каменного угля [11, 12] с образованием гидросиликатов и гидроалюмосиликатов кальция различной основности [13], это позволило получать бесцементные известково-шлаковые и известково-золенные вяжущие неавтоклавно твердения марки по прочности при сжатии до М200 [14, 15], пригодные для изготовления низкомарочных бетонов и строительных растворов.

Экспериментальное производство известково-кремнеземистого вяжущего из отходов содового производства, действовавшее на ПО «Сода» с 1980 по 1986 г., показало практическую возможность производства газобетонных блоков, силикатного кирпича и строительных растворов на основе бесцементного известково-кремнеземистого вяжущего из отходов содового производства, при этом выявив ряд сложностей промышленного производства такого вяжущего [16]. В частности, сырьем для опытного производства в 1980-х гг. служил шлам, добываемый с разных участков шламонакопителя и имевший значительную неоднородность состава в силу процессов сегрегации. Также трудоемким процессом являлась подача водонасыщенного шлама из шламонакопителя в печь для сушки и обжига. Неоднородность исходного сырья усложняла технологию производства и приводила к снижению качества конечного продукта, а высокая влажность шлама требовала значительных энергозатрат на его сушку.

Следует отметить, что основным направлением исследований, проводимых в 1970–1980-х гг., являлось использование шламов дистиллерной жидкости после их обжига для замены извести при производ-

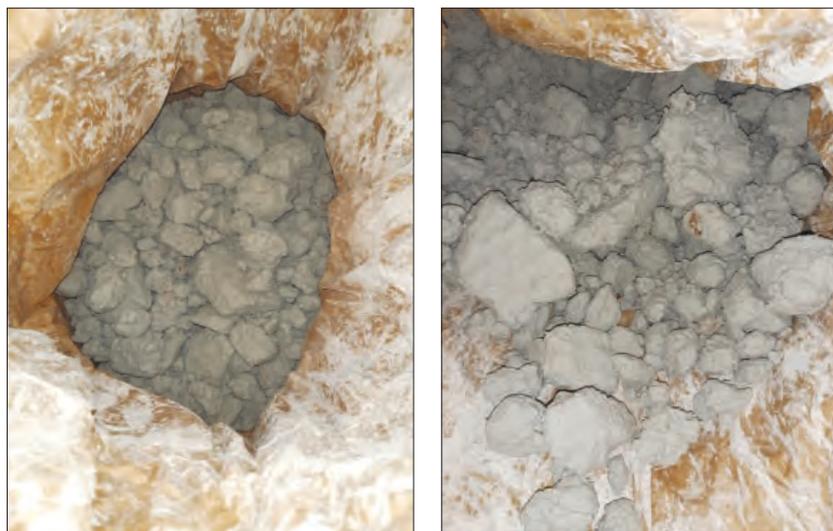


Рис. 1. Минеральный продукт содового производства в состоянии естественной влажности (после пресс-фильтров)

Fig. 1. Mineral product of soda production in the state of natural moisture (after press filters)

Таблица 1

Table 1

Результат рентгенофазового анализа пробы № 4 МПСР
The result of X-ray phase analysis of sample No. 4
mineral product of soda production

Минерал	Химическая формула	Количественное содержание, %
Calcite	CaCO_3	48,67
Calcite magnesian	$(\text{Mg}_{0,03}\text{Ca}_{0,97})(\text{CO}_3)$	3,81
Gypsum	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	9,52
Brucite	$\text{Mg}(\text{OH})_2$	3,83
Monohydrocalcite	$\text{CaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	2,23
Hydrocalcite	$(\text{Mg}_{0,67}\text{Al}_{0,33})(\text{OH})_2(\text{CO}_3)_{0,17}(\text{H}_2\text{O})_{0,5}$	6,38
Portlandite	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	1,86
Nordstrandite	$\text{Al}(\text{OH})_3$	5,38
Halite	NaCl	1,5
Nitratine	NaNO_3	7,41
Bassanite	$\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$	2,24
Enstatite	MgSiO_3	5,21
Magnesite	MgCO_3	1,58
Quartz	SiO_2	0,38

стве строительных материалов (газобетон, силикатной кирпич). Однако суммарное содержание в твердой фазе карбонатов кальция и магния в МПСР составляет не более 70–75%, а остальной объем приходится на другие минеральные соединения, некоторые также обладают вяжущей активностью и другими специфическими свойствами.

В 2014 г. АО «БСК» внедрила прогрессивную технологию обезвоживания дистиллерных шламов посредством фильтрационного прессования, что позволяет получить твердый отход содового производства с влажностью около 30%. Согласно разработанному АО «БСК» ТУ 2149-334-00203312–2015, минеральный продукт содового производства (далее по тексту

– МПСР), предназначен для рекультивации полигонов ТБО, полигонов промышленных отходов, карьеров и выемок различного назначения и происхождения. МПСР представляет собой твердый кускообразный негорючий материал серого цвета с массовой долей влаги 30–35% (рис. 1). После фильтрации МПСР выгружается непосредственно в кузов автотранспорта или перемещается по системе конвейеров на площадку временного складирования, откуда затем с помощью погрузчиков загружается в автотранспорт и вывозится к потребителю.

В отличие от шлама низкая влажность отфильтрованного МПСР обеспечивает возможность более эффективного его гранулирования, сушки и обжига. Также при фильтровании шлама в твердой фазе снижается содержание хлористых солей (нормируется для МПСР – не более 4%), что позволяет расширить область эффективного применения данного материала.

В 2021 г. в рамках договора с ООО «ВЭБ-Инжиниринг» и АО «БСК» был проведен комплекс исследований по уточнению вещественного и примесного состава МПСР с целью определения возможных областей применения МПСР. В Инновационном центре «Лаборатория нанотехнологий цементных систем имени профессоров А.Ф. Полака и Н.Х. Каримова» Архитектурно-строительного института УГНТУ были проведены исследования минералогического состава десяти проб МПСР, доставленных с АО «БСК», с использованием рентгеновского дифрактометра BRUKER D2 Phaser и растрового электронного микроскопа JEOL JSM-6610LV, а также синхронный термический анализ проб МПСР с использованием синхронного термического ТГА/ДСК/СТА анализатора STA 449 F3 Jupiter с квадругольным масс-спектрометром QMC 409C Aeolos. Перед испытаниями образцы высушивались при температуре 100–120°C в течение 4–12 ч.

Результаты рентгенофазового и структурного анализа

Результаты рентгенофазового и структурного анализа

Результаты качественного и количественного анализа одной из проб МПСР (№ 4) представлены на рис. 2 и в табл. 1. Минералогический состав десяти различных проб МПСР в виде сводных данных представлен в табл. 2.

Как видно из результатов рентгенофазового анализа, минералогический состав МПСР представлен преимущественно карбонатом кальция CaCO_3 (от 49 до 61%), также присутствуют карбонатные минералы моногидрокальцит $\text{CaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ в количестве от 2 до 4,5%, магниезиальный кальцит $(\text{Mg}_{0,03}\text{Ca}_{0,97})(\text{CO}_3)$ в количестве от 1,2 до 5%, магнезит MgCO_3 в количестве от 0 до 3,3%. Суммарное содержание ($\text{CaO} + \text{MgO}$)

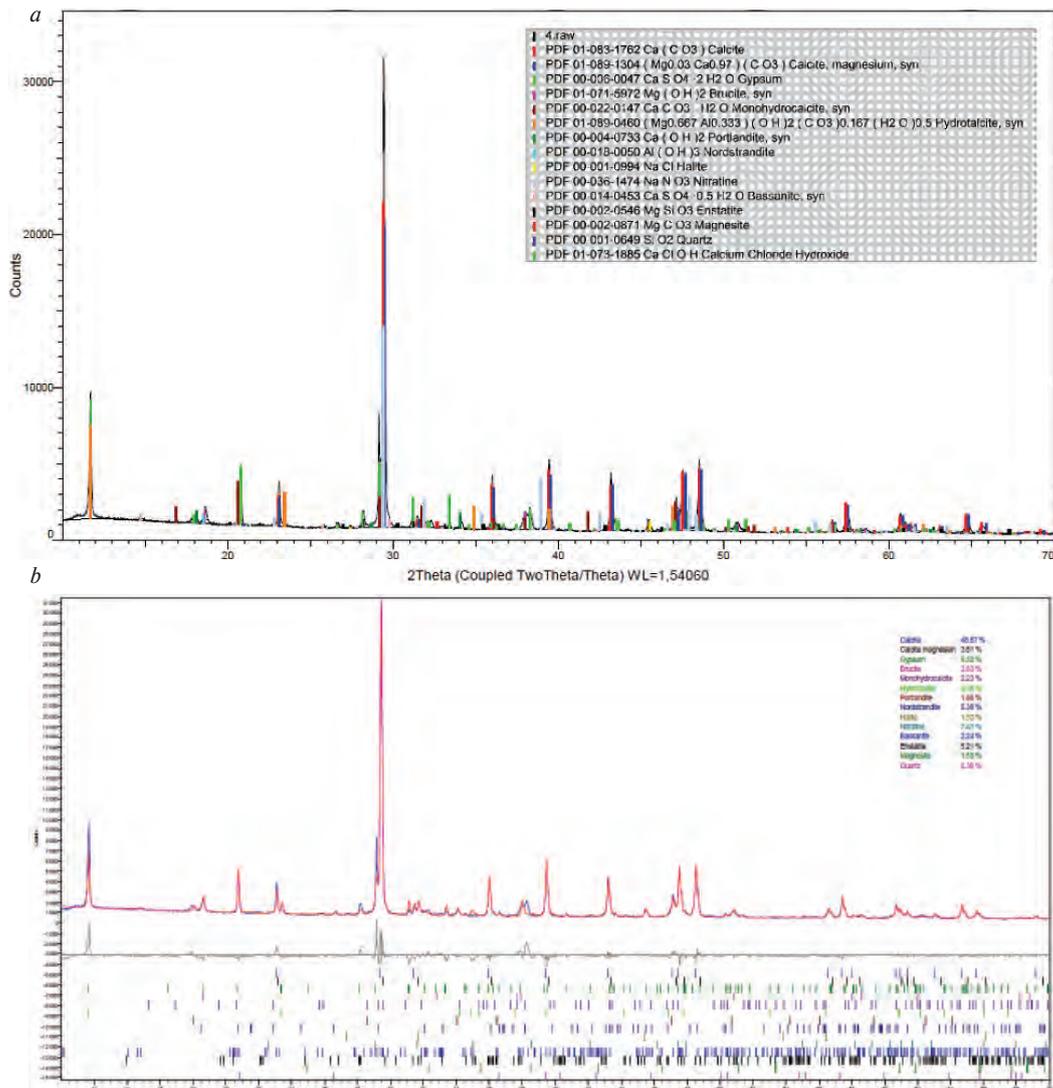


Рис. 2. Результаты качественного (a) и количественного (b) рентгенофазового анализа пробы № 4 МПСР
 Fig. 2. Results of qualitative (a) and quantitative (b) X-ray phase analysis of sample No. 4 mineral product of soda production

Таблица 2
 Table 2

Сводная таблица результатов рентгенофазового анализа 10 проб МПСР
Summary table of the results of X-ray phase analysis of 10 samples mineral product of soda production

Минерал	№ 2	№ 3	№ 4	№ 10	№ 11	№ 13	№ 14	№ 17	№ 22	№ 31
Calcite	61,83	50,11	48,67	51,28	49,12	50,4	52,33	58	49,39	60,89
Hydrotalcite	–	6,94	6,38	4,9	7,85	8,62	7,68	–	8,41	7,04
Calcite magnesian	5,17	4,93	3,81	3,46	1,46	1,98	1,19	4,57	3,97	–
Monohydrocalcite	–	2,66	2,23	3,39	3,19	3,8	–	–	2,49	4,52
Magnesite	–	3,32	1,58	–	1,25	2,25	–	–	–	–
Gypsum	–	9,51	9,52	9,57	9,75	11,85	11,27	–	12,05	10,28
Bassanite	10,88	3,78	2,24	2,03	2,05	–	2,73	10,82	2,82	4,89
Brucite	5,6	4,65	3,83	3,38	3,13	3,83	3,58	4,68	3,75	4,66
Portlandite	3,38	1,61	1,86	2,44	2,4	2,98	2,61	3,06	1,55	0,61
Nordstrandite	–	–	5,38	6,23	4,45	–	3,84	6,99	4,63	3,68
Halite	2,2	2,44	1,5	2	1,92	2,03	1,92	1,41	1,27	2,03
Nitratine	5,56	5,29	7,41	4,58	7,21	6,25	6,27	3,67	6,25	1,4
Enstatite	5,38	4,77	5,21	6,41	5,72	5,54	6,13	6,79	3,42	–
Quartz	–	–	0,38	0,33	0,5	0,48	0,43	–	–	–

Таблица 3
Table 3Примесный состав продуктов переработки шламов содового производства
Impurity composition of products of processing of slimes of soda production

Элемент	Массовая доля, %			Концентрация, мг/л
	МПСП*	Соль поваренная выварочная техническая**	Кальций хлористый технический кальцинированный***	Кальций хлористый технический жидкий****
Алюминий	0,36	0,001	0,002	<0,0001
Кальций	39,6	1,33	54,2	12·10 ⁴
Кадмий	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,001
Кобальт	<0,001	<0,001	<0,001	<0,01
Хром	0,001	<0,001	<0,001	0,014
Медь	<0,001	<0,001	<0,001	<0,01
Калий	0,036	0,021	0,414	8·10 ²
Магний	2,41	0,003	0,004	1,78
Молибден	<0,001	<0,001	<0,001	<0,01
Натрий	0,87	64,6	1,74	8,5·10 ³
Никель	<0,001	0,003	0,003	0,109
Свинец	<0,001	<0,001	<0,001	<0,01
Скандий	<0,001	<0,001	<0,001	<0,01
Селен	<0,001	<0,001	<0,001	<0,01
Титан	0,004	<0,001	0,001	<0,01
Цинк	0,004	0,003	0,001	<0,01
Мышьяк	0,00024	<0,00005	<0,00005	<0,0005
Ртуть	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,0005

Примечания:
Средний результат из двух параллельных определений; отнесенное стандартное отклонение – 1–3%; результаты испытаний относятся к объекту, указанному в протоколе; частичное или искаженное воспроизведение данных протокола не допускается.
Методы анализа: Масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой, атомно-эмиссионная спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой.
Дата проведения анализа: 30.04.2021.
* Средняя проба от партий МПСП 10-5 от 16.02.21; 20-24 от 17.02.21; 30-33 от 17.02.21; 40-23 от 17.02.21.
** Средняя проба от партий № 1-3-39 от 13.02.21; № 4-1-38 от 12.02.21; № 5-1-39 от 13.02.21; № 6-2-38 от 12.02.21.
*** Средняя проба от партий № 2-1-97 от 09.02.21; № 3-2-101 от 11.02.21; № 7-3-110 от 14.02.21; № 8-4-111 от 17.02.21.
**** Средняя проба от партий 1КХЖ от 17.02.21; 2КХЖ от 17.02.21; 3КХЖ от 17.02.21; 4КХЖ от 17.02.21.



Рис. 3. Поверхность образца МПСП при увеличении: а – 950×; б – 1600×; в – 1900×

Fig. 3. Surface of mineral product of soda production sample at magnification: a – 950×; b – 1600×; c – 1900×

акт в МПСП находится в пределах от 5 до 8%, при этом содержание MgO превышает содержание CaO. Также следует отметить наличие значительного количества двухводного $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и полуводного $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ гипса (в сумме от 10 до 15%).

Анализ примесного состава продуктов переработки шламов содового производства, произведенный в

Испытательном аналитико-сертификационном центре АО «Гиредмет» методами масс-спектрометрии и атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно связанной плазмой, приведен в табл. 3.

Структурный анализ МПСП производился путем съемки высушенных образцов с применением растрового электронного микроскопа JEOLJSM-6610LV.

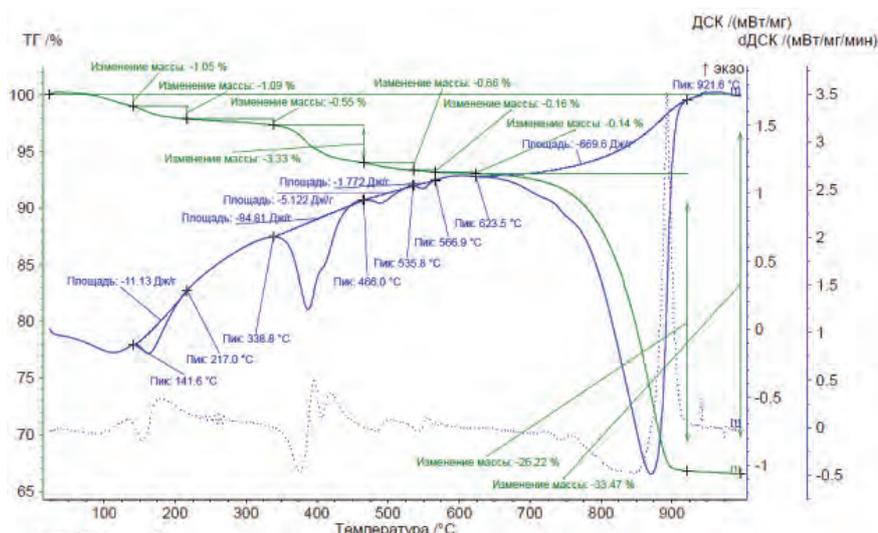


Рис. 4. Термогравиметрические кривые образца МПСП
 Fig. 4. Thermogravimetric curves of mineral product of soda production sample



Рис. 5. МПСП после обжига в муфельной печи при температуре 950°C
 Fig. 5. Mineral product of soda production sample after firing in a muffle furnace at a temperature of 950°C

Фотографии, полученные по результатам съемки при различном увеличении, представлены на рис. 3.

Как видно из результатов съемки при различном увеличении, образцы МПСП после фильтрации и сушки представляют собой не примыкающие друг к другу отдельные мелкодисперсные частицы, а своего рода конгломераты с капиллярно-пористой структурой.

Измерение удельной поверхности МПСП, высушенного при температуре 100°C, методом БЭТ по низкотемпературной адсорбции азота, было проведено в НИТУ «МИСиС» с использованием установки NOVA 1200 (производство компании Quantachrome Instruments, США). Перед проведением определений порошковые пробы весом 1–1,5 г дегазировались в течение 4 ч при температуре 200°C для удаления адсорбированных газовых составляющих и водяных паров. Измерения показали значения площади удельной поверхности МПСП в размере $5,9 \pm 0,6 \text{ м}^2/\text{г}$, что говорит о его высоком сорбционном потенциале.

Результаты термического анализа

Для проведения термогравиметрического исследования были использованы предварительно высушенные при 100°C образцы. В ходе исследования проба МПСП нагревалась в потоке воздуха со скоростью 20°C/мин. Производилась фиксация изменения массы и теплового потока. Результаты термогравиметрического анализа показаны на рис. 4.

Потеря массы в интервале от 100 до 200°C может быть объяснена отделением воды от фазы двуводного гипса. Дальнейшее изменение массы при температуре выше 350°C связано с термической диссоциацией гидроксидов кальция и магния, гидрокальцита и гидроксохлорида кальция. Наиболее существенное изменение массы отмечается при температуре свыше 700°C и может быть объяснено разложением карбонатов

Таблица 4
 Table 4

Результаты рентгенофазового анализа МПСП после обжига при 950°C Results of X-ray phase analysis of mineral product of soda production after firing at 950°C

Минерал	Химическая формула	Количественное содержание, %
Lime	CaO	57,29
Anhydrite	CaSO ₄	5,37
Periclase	MgO	11,64
Calcite	CaCO ₃	2,41
C ₂ S alpha (MUMME)	Ca ₂ SiO ₄	0,71
C ₂ S beta (MUMME)	Ca ₂ SiO ₄	12,78
Halite	NaCl	1,67
C ₂ AS Gehlenite	Ca ₂ Al ₂ SiO ₇	4,33
C ₃ S triclinic (BELOW)		3,79

кальция и магния. Снижение температуры разложения карбонатов по сравнению с табличными значениями возможно из-за высокой дисперсности частиц.

Дополнительно был проведен анализ усредненных образцов МПСП, обожженных в муфельной печи при температуре 950°C. Фотография обожженного образца МПСП представлена на рис. 5. Результаты количественного минералогического анализа МПСП после обжига при температуре 950°C представлены в табл. 4.

Как видно из результатов анализа, общее содержание свободных оксидов (CaO+MgO)_{акт} в МПСП после обжига составляет 68,9%, из них свободного оксида кальция CaO – 57,3%, свободного оксида магния MgO – 11,64%. В составе обожженного МПСП присутствуют также гидравлические активные двухкальциевый силикат C₂S (13,5%) и ангидрит CaSO₄ (5,4%).

Таким образом, результаты проведенных испытаний показали:

Таблица 5
Table 5

Результаты испытаний образцов вяжущего из обожженного МПСР с метаксаолином*
Test results of binder samples from fired mineral product of soda production with metakaolin

Наименование и соотношение компонентов		Прочность при сжатии (нормальное твердение), в возрасте					
		3 сут		7 сут		28 сут	
Известково-глинитное вяжущее (МПСР с обжигом 950°C + метаксаолин)							
МПСР	Метаксаолин	кН	МПа	кН	МПа	кН	МПа
80	20	5,23	5,81	10,91	12,12	19,14	21,27
		5,88	6,53	11,88	13,2	20,23	22,48
		6,71	7,46	11,1	12,33	18,82	20,91
		Среднее	6,6	Среднее	12,55	Среднее	21,55

– наличие в составе МПСР наряду с преобладающими нейтральными карбонатными фазами фаз, обладающих заметной гидравлической активностью (гипс, моногидрокальцит, гидрокальцит, брусит, портландит), адсорбционными и антацидными свойствами ($(Mg_{0,03}Ca_{0,97})(CO_3)$, $Al(OH)_3$, $NaNO_3$, $MgSiO_3$);

– возможность гидравлической активации ряда фаз МПСР (гипс, моногидрокальцит) в процессе сушки при температуре 100–350°C;

– высокую удельную поверхность МПСР, на порядок превышающую аналогичные параметры цемента и других гидравлических вяжущих;

– возможность практически полной декарбонизации МПСР при обжиге (до 950°C) с получением более 85% гидравлически активных фаз (CaO , MgO , $CaSO_4$, Ca_2SiO_4).

Проведенные с привлечением специалистов АСИ УГНТУ, ФГБОУ «СибАДИ», НИТУ «МИСиС» и НИУ МГСУ поисковые исследования (включая проведение анализа сотен публикаций и лабораторно-технологических экспериментов) позволили определить ряд направлений наиболее эффективного применения МПСР, описанных ниже.

Материалы с использованием МПСР, обожженного при 950°C

Наиболее перспективными направлениями материалов на основе обожженного МПСР являются:

– заменитель (части) извести при производстве газобетонных и силикатных изделий по автоклавной технологии (с добавлением глинистых или метаксаолиновых алюмосиликатов)**;

– компонент композиционных бесклинкерных вяжущих (известково-шлакового, известково-зольного, известково-глинитного) для строительных растворов и смесей.

Результаты испытаний образцов вяжущего в возрасте 3, 7 и 28 сут нормального твердения представлены в табл. 5.

* Положительное влияние метаксаолина на известьсодержащие фазы позволяет модифицировать целый спектр вяжущих материалов [17].

** В работе [5] также описано получение с использованием обожженного МПСР газобетона плотностью 500–600 кг/м³ и прочностью до 2,5 МПа, а также бесклинкерных известково-глинистых вяжущих М150 и известково-глинисто-цементных вяжущих М300–400 (при добавлении 20–30% портландцемента).

Таблица 6
Table 6

Прочность и плотность образцов композиционных вяжущих различных составов после термовлажностной обработки
Strength and density of samples of composite binders of various compositions after thermal and moisture treatment

Состав образца	Предел прочности после ТВО (МПа)	Средний предел прочности (МПа)	Средняя плотность, г/см ³
Шлак 25% МПСР 75%	18,3	17,7	1,93
	20,4		
	14,4		
Шлак 50% МПСР 50%	12,6	19,4	1,97
	25,9		
	19,7		
МПСР 25% Зола 75%, NaOH	27,5	25,3	1,48
	25,2		
	23,3		
Шлак 30% Цемент 30% МПСР 40%	20,6	20,7	1,72
	14,7		
	26,8		
Шлак 30% Цемент 30% МПСР 40% СПК-3 1%	22,8	26,6	1,77
	41,6		
	15,5		
Цемент 50% МПСР 50% СПК-3 1%	21,1	26,1	1,74
	34,8		
	22,3		
Шлак 50% МПСР 50% СПК-3 (1%)	22,3	22	1,78
	16,9		
	26,9		
Цемент 100%	31,1	34,1	1,92
	34,7		
	36,6		

Примечание.

СПК-3 – гиперпластифицирующая добавка на основе поликарбоксилатов.

Таблица 7
Table 7

Результаты испытаний образцов композиционных вяжущих после нормального твердения
Test results of samples of composite binders after normal hardening

Состав образца	Прочность при сжатии (нормальные условия), МПа, в возрасте		
	3 сут	7 сут	28 сут
МПСП 40% ДШ 50% ПЦ 10% СП 0,5%	14,94	19,35	30
МПСП 50% ПЦ 50% СП 0,5%	18,16	22,72	38,5
ПЦ 100% СП 0,5% (контрольный)	21,87	30	47

Как видно из результатов испытаний, путем совместного помола обожженного МПСП с метакатином возможно получение гидравлического вяжущего марки М200 (активность в возрасте 28 сут – 20–22 МПа).

Материалы с использованием МПСП, высушенного при 100–160°C

Наиболее перспективными направлениями применения материалов на основе высушенного МПСП являются:

- компоненты малоклинкерных вяжущих низкой водопотребности для производства автоклавных силикатных изделий;
- компоненты композиционных вяжущих для стабилизации и укрепления грунтов;
- в качестве сорбента при утилизации нефтесодержащих шламов, рекультивации нефтезагрязненных грунтов и активного наполнителя, для изготовления органоминеральных смесей и мастик.

В ходе поисковых лабораторных экспериментов был получен спектр вяжущих материалов, позволяю-

Таблица 8
Table 8

Состав и прочность образцов ПЦ с МПСП
Composition and Strength of PC Samples with mineral product of soda production

Количество МПСП, мас. %	Прочность при сжатии (МПа)			
	1 сут	3 сут	7 сут	28 сут
0	18	–	–	43
3	21	25	35	60
5	25	28	36	59
7	24	27	38	57

щих рассматривать их в качестве заменителя извести при производстве силикатных изделий, стабилизации и укреплении грунтов (табл. 6 и 7).

Приведенные результаты испытаний показывают, что разработанные композиционные вяжущие с содержанием МПСП 30–50%, доменного шлака 0–40% и содержанием портландцемента 10–50% по прочностным показателям соответствуют вяжущим марок М200–М400 или цементам класса 32,5Н согласно ГОСТ Р 55224–2020 «Цементы для транспортного строительства. Технические условия».

В работе [18] отмечается, что при введении МПСП в состав портландцемента в качестве активатора при помоле в шаровой мельнице до величины удельной поверхности 3000 см²/г возможно получение более высоких прочностных характеристик цемента. Составы исследованных образцов и их прочностные параметры показаны в табл. 8.

Представленные в табл. 8 результаты демонстрируют, что введение в состав вяжущего материала от 3 до 5 массовых долей (%) позволяет повысить предел прочности при сжатии с 43 до 60 МПа с повышением скорости набора прочности, очевидно, за счет наличия в составе добавки хлоридов кальция и натрия, а также увеличения дисперсности материала.

Возможность получения эффективных минеральных вяжущих низкой водопотребности с высоким содержанием карбоната кальция показана также в работе [19], в которой проводилось сравнение це-

Таблица 9
Table 9

Данные по испытаниям укрепленных глинисто-песчаных грунтов
Test data for reinforced clay-sand soils

Состав вяжущего	Доля вяжущего в составе грунтовой смеси, мас. %	Плотность смеси, кг/м ³	Прочность при сжатии, МПа				Прочность при сжатии водонасыщенных образцов
			3 сут	4 сут	7 сут	28 сут	
ПЦ 100%	6	2210	4,42	5,16	7,78	8,13	3,5
МПСП 40% Шлак 30% ПЦ 30% СПК-3 0,5%	8	2148	2,96	3,05	4,17	5,84	1,85
МПСП 30% Шлак 30% ПЦ 40% СПК-3 0,2% СПК-2/11 0,2%	8	2147	3,79	3,48	3,69	6,4	1,45

Таблица 10
Table 10

Результаты определения модуля упругости материалов на экспериментальном участке после 28 сут твердения
The results of determining the elastic modulus of materials in the experimental area after 28 days of hardening

Материал слоя	Модуль упругости слоя, МПа
Глина слоя основания	45
Грунт (слой глины 25 см, дополненный ПГС – 10 см), укрепленный композиционным вяжущим с использованием МПСР (40 кг/м ²), пролитый дистиллерной жидкостью из расчета 40 л/м ²	85
Грунт (слой глины 25 см, дополненный ПГС – 10 см), укрепленный композиционным вяжущим с использованием МПСР (40 кг/м ²) и портланд-цементом (12,5 кг/м ²), пролитый дистиллерной жидкостью из расчета 40 л/м ²	553

нефтяных сорбентов на основе МПСР и различных модификаторов (органосиланов, резиновой крошки, стеариновой кислоты и др.) для решения задач утилизации нефтесодержащих шламов нефтедобычи [20]. Результаты исследований по получению нефтяных сорбентов на основе шламов содового производства, основным компонентом которого является карбонат кальция, представлены на рис. 6.

Результаты работы показали, что модификация МПСР позволяет получить материалы, обладающие довольно высокими параметрами сорбционной активности к нефти и нефтепродуктам (0,6 до 1,1 от массы сорбента). При этом, высокие сорбционные показатели композиций МПСР с резиновой крошкой (0,7 до 1,1 от массы сорбента) говорят о перспективности их применения для переработки нефтешламов и рекультивации нефтезагрязненных грунтов с последующим применением адсорбированных материалов в дорожном строительстве.

В лабораториях НИУ МГСУ и НИИ ТСК были испытаны свойства смесей высушенного МПСР с молотым доменным гранулированным шлаком и с молотым электроморфным шлаком на соответствие требованиям к минеральному порошку для асфальтобетонных смесей, которые показали значительное превышение испытанных смесей с МПСР по показателю битумоемкости.

Эти же значения показателей были подтверждены в рамках исследований, проведенных в лаборатории базовой кафедры СибАДИ в ООО «Стройсервис». Вместе с тем результаты испытаний на колеюность (машина DWT 78-PV33B05, рис. 7) методом проездов нагруженного колеса, образцов щебеночно-мастичных смесей (ЩМА-16) показали на 18% более высокую устойчивость к колееобразованию смесей на МПСР в сравнении с ЩМА с использованием минерального порошка из дробленого песка. Это подтверждает перспективность использования МПСР в составе органоминеральных смесей для устройства слоев дорожных одежд.

Таблица 11
Table 11

Зависимость прочности при сжатии от активности силикатной смеси при хранении в различных условиях
Dependence of the compressive strength on the activity of the silicate mixture during storage under various conditions

Вид хранения	Активность силикатной смеси, %						
	6	8	10	12	14	16	20
Предел прочности при сжатии, МПа							
Проба № 1 – без добавки ТОСП							
После автоклава	9,2	17,7	17,3	17,9	18,1	20,4	21,9
Воздушное	11	18,1	19	19,6	20,2	21,8	23,6
Воздушно-влажное	8,5	11,9	12,1	15	16,8	18,1	17,8
Водное	7	10,4	11,8	12,4	13,2	16	16,9
Проба № 2 – с добавкой ТОСП 10%							
После автоклава	12,8	23,8	25,3	26,4	26,7	27,2	29,6
Воздушное	14,3	25,5	26,3	28,9	29,8	30,6	32,8
Воздушно-влажное	10,6	11,5	12,3	14,4	18,1	21,5	22,9
Водное	9,3	11,4	11,8	12,8	13,6	15,9	14,8
Проба № 3 – добавкой ТОСП 20%							
После автоклава	18,2	28,2	29,4	32,3	30,7	30,1	29,8
Воздушное	19,8	30	32,4	34,2	38,2	40	40,8
Воздушно-влажное	17,7	18,3	18,8	19,2	19	22,1	23,8
Водное	15,6	16,4	17	18,1	18,8	11,9	10,7
Проба № 4 – с добавкой ТОСП 30%							
После автоклава	19	26,4	27,3	26,1	25,7	24,2	23
Воздушное	20,4	28,8	30,6	29	29,3	27,9	26
Воздушно-влажное	18,5	17,2	17,9	18,8	19	20,4	19,5
Водное	16,4	16,5	18,7	18,9	18,8	17,8	17,2
Проба № 5 – с добавкой ТОСП 40%							
После автоклава	19,5	25,9	24,4	23,4	22,2	20,9	20,5
Воздушное	20,5	28,8	26,3	25,8	25,7	24,9	24,7
Воздушно-влажное	16,9	16,6	16,1	17,4	16,9	17	15,8
Водное	16,8	16,4	16	16,8	16	16,2	16,4
Примечание. Приготавливали образцы из соответствующего известково-кремнеземистого вяжущего с добавкой различного количества известки, тонкодисперсного ТОСП и заполнителя из барханного песка. Содержание в силикатной массе известки (СаО _{акт}) менялось от 6 до 20%, содержание ТОСП – от 0 до 40%. Часть образцов испытывали через сутки после автоклавной обработки, а другую часть – после хранения в различных условиях при нормальной температуре в течение трех месяцев.							

Перспективы применения МПСР без термической сушки

Анализ предварительных результатов опытно-промышленных испытаний производства и применения композиционных вяжущих с использованием МПСР, проведенных при научно-техническом сопровождении с участием СибАДИ и Центра компетенций по новым технологиям и материалам для устойчивого развития транспортной инфраструктуры УГНТУ, показал перспективность следующих применений МПСР без термической сушки:

– в качестве компонента полифазных вяжущих для стабилизации и укрепления грунтов [21];

– в качестве гидравлически активного компонента известково-силикатных растворов для производства силикатных изделий.

В ходе проведения опытно-промышленных испытаний на экспериментальном участке (стояночная площадка для тяжелой техники), применение технологии стабилизации и укрепления грунтов композиционными вяжущими, произведенными с использованием МПСР, и дистиллерной жидкостью с содержанием хлорида кальция АО «БСК» в качестве затворителя и противоморозной добавки, позволило обеспечить требуемые механические параметры конструктивных слоев (табл. 10), кратно уменьшив объемы земляных работ и завозимых строительных материалов (ПГС и цемента).

Совместимость композиционных вяжущих с МПСР и дистиллерной жидкостью говорит о перспективности применения смесей активирующих добавок (шлака, цемента, извести и др.) с МПСР без термической сушки, названных полифазными вяжущими.

В работе [22] установлена возможность повышения физико-механических свойств автоклавированных силикатных изделий при добавлении в известково-силикатный раствор 20–30% твердых отходов содового производства Кунградского содового завода (ТОСП). Физико-механические характеристики силикатных материалов, испытанных по ГОСТ 379–95, 7025–91, 8462–85, приведены в табл. 11.

Анализ приведенных данных показывает, что за счет введения 20–30% МПСР в известь-силикатную смесь с содержанием 6–8% активной извести можно получать силикатные изделия более высокой марки, чем при введении 20% извести (М300 вместо М200), со значительным повышением экономической и энергетической эффективности производства.

Список литературы

1. Волженский А.В. Минеральные вяжущие вещества. М.: Стройиздат, 1986. 464 с.
2. Строительные материалы на основе сырьевых ресурсов Башкортостана: Сборник научных трудов. Уфа: БашНИИстрой, 1998.
3. Алехин Ю.А., Люсов А.Н. Экономическая эффективность использования вторичных ресурсов в производстве строительных материалов. М.: Стройиздат, 1988. 344 с.
4. Вагапов Р.Ф., Синицин Д.А., Оратовская А.А., Тэненбаум Г.В. Строительные материалы на основе промышленных отходов Республики Башкортостан // *Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета*. 2012. № 4 (22). С. 279–284.
5. Рязанов А.Н., Синицин Д.А., Шагигалин Г.Ю., Бикбулатов М.Р., Недосеко И.В. Твердые отходы содового производства – важный резерв расширения сырьевой базы получения извести и низко-

Выводы

Потребность современного строительства в низкоэнергоемких малоклинкерных и бесклинкерных вяжущих определяется прежде всего значительным объемом дорожного и инфраструктурного строительства, где данные вяжущие могут широко применяться для модификации, стабилизации и укрепления грунтов [23].

Широкое внедрение в практику строительного производства низкоэнергоемких минеральных вяжущих на основе промышленных отходов будет способствовать как решению задач по утилизации многотоннажных побочных продуктов производства промышленных предприятий, в частности шламов содового производства АО «БСК», так и сокращению выбросов углекислого газа в атмосферу в строительстве за счет замены части портландцемента и извести, производство которых является одним из основных источников углеродных выбросов в настоящее время во всем мире, и снижения дальности перевозок за счет увеличения использования местных грунтов и материалов.

В свою очередь, это повышает экономическую и инвестиционно-финансовую эффективность предприятий и инвестиционных проектов [24], особенно значительно в арктической зоне и регионах с осложненными логистическими условиями [25, 26].

Для проработки вопросов внедрения результатов представленных в статье разработок и проведения опытно-промышленных испытаний с научно-техническим сопровождением авторы приглашают заинтересованных производителей и потребителей к сотрудничеству с Центром компетенций по новым технологиям и материалам для устойчивого развития транспортной инфраструктуры УГНТУ.

References

1. Volzhensky A.V. Mineral'nyye vyazhushchiye veshchestva. [Mineral binders]. Moscow: Stroyizdat, 1986. 464 p.
2. Building materials based on raw materials of Bashkortostan. Collection of scientific papers: Ufa, BashNIISTroy. 1998.
3. Alekhin Yu.A., Lyusov A.N. Ekonomicheskaya effektivnost' ispol'zovaniya vtorichnykh resursov v proizvodstve stroitel'nykh materialov. [Economic efficiency of the use of secondary resources in the production of building materials]. Moscow: Stroyizdat, 1988. 344 p.
4. Vagapov R.F., Sinitsin D.A., Oratovskaya A.A., Tenenbaum G.V. Building materials based on industrial waste of the Republic of Bashkortostan. *Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. 2012. No. 4 (22), pp. 279–284. (In Russian).
5. Riazanov A.N., Sinitsin D.A., Shagigalin G.Yu., Bikbulatov M.P., Nedoseko I.V. Solid waste of soda

- энергоёмких бесклинкерных вяжущих на ее основе // *Строительные материалы*. 2020. № 4–5. С. 14–17. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-780-4-5-14-176>.
6. Стратегия развития промышленности строительных материалов Республики Башкортостан на период до 2024 года и дальнейшую перспективу до 2030 года. Утверждена постановлением Правительства Республики Башкортостан № 502 от 17.08.2020 г.
 7. Оратовская А.А., Синицин Д.А., Галеева Л.Ш., Бабков В.В., Шатов А.А. Использование отходов производства кальцинированной соды для получения известьесодержащих вяжущих и строительных материалов на их основе // *Строительные материалы*. 2012. № 2. С. 52–54.
 8. Оратовская А.А., Смирнова Н.Ф., Кравцов В.М. Вяжущее на основе отходов содового производства. Твердение цемента: Тезисы докладов и сообщений Всемирного совещания. Уфа, 1974.
 9. Кравцов В.М., Полак А.Ф., Оратовская А.А., Есенков М.Г., Понин В.И. Вяжущее для производства автоклавных бетонов. А. С. № 505184 от 5.11.1975.
 10. Меркулов Ю.И., Оратовская А.А., Понин В.И., Смирнова Н.Ф., Бабков В.В., Соколовский В.А., Трутнев Г.А., Шатов А.А., Якимцева Г.В., Бакиров М.Ц. Сырьевая смесь для получения вяжущего. А. С. № 1076410 от 28.02.1984.
 11. Оратовская А.А., Меркулов Ю.И., Кудоярова Л.Ш., Белоусова Т.В. Исследование возможности получения бесклинкерных вяжущих материалов на основе металлургических шлаков и отходов содового производства. *Труды института НИИПромстрой. Строительные конструкции и материалы. Защита от коррозии*. Уфа, 1981.
 12. Оратовская А.А., Кудоярова Л.Ш., Меркулов Ю.И. Известково-зольное вяжущее. *Строительные конструкции и материалы. Сборник науч. трудов НИИПромстроя*. Уфа, 1986.
 13. Рязанов А.Н., Винниченко В.И., Недосеко И.В., Рязанова В.А., Рязанов А.А. Структура и свойства известково-зольного цемента и его модификация // *Строительные материалы*. 2018. № 1–2. С. 18–22. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-756-1-2-18-22>
 14. Бабков В.В., Мирсаев Р.Н., Шатов А.А., Недосеко И.В. и др. Безобжиговые вяжущие на основе промышленных отходов предприятий Урало-Башкирского региона // *Башкирский химический журнал*. 1999. Т. 6. № 2–3. С. 95–99.
 15. Бабков В.В., Комохов П.Г., Шатов А.А., Мирсаев Р.Н., Недосеко И.В. и др. Активированные шлаковые вяжущие на основе промышленных отходов предприятий Урало-Башкирского региона // *Цемент и его применение*. 1998. № 2. С. 37.
- production is an important reserve for expanding the raw material base for production of lime and low-energy, clinkerless binders based on it. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2020. No. 4–5, pp. 14–17. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-780-4-5-14-17>
6. Strategy for the development of the building materials industry of the Republic of Bashkortostan for the period up to 2024 and beyond until 2030. Approved by the Decree of the Government of the Republic of Bashkortostan No. 502 dated August 17, 2020 (In Russian).
 7. Oratovskaya A.A., Sinitsin D.A., Galeeva L.Sh., Babkov V.V., Shatov A.A. The use of soda ash production waste for obtaining lime-containing binders and building materials based on them. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2012. No. 2, pp. 52–54. (In Russian).
 8. Oratovskaya A.A., Smirnova N.F., Kravtsov V.M. A binder based on waste soda production. *Hardening of cement: Abstracts of reports and messages of the World meeting*, Ufa, 1974. (In Russian).
 9. Kravtsov V.M., Polak A.F., Oratovskaya A.A., Yesenkov M.G., Ponin V.I. Binder for the production of autoclaved concrete. Certificate of authorship No. 505184 dated November 5, 1975. (In Russian).
 10. Merkulov Yu.I., Oratovskaya A.A., Ponin V.I., Smirnova N.F., Babkov V.V., Sokolovsky V.A., Trutnev G.A., Shatov A.A., Yakimtseva G.V., Bakirov M.Ts. Raw mixture for obtaining binder A.S. No. 1076410 of February 28, 1984. (In Russian).
 11. Oratovskaya A.A., Merkulov Yu.I., Kudoyarova L.Sh., Belousova T.V. Investigation of the possibility of obtaining clinker-free binders based on metallurgical slag and soda production waste. *Proceedings of the Institute NIIPromstroy. Building structures and materials. Corrosion protection*. Ufa, 1981. (In Russian).
 12. Oratovskaya A.A., Kudoyarova L.Sh., Merkulov Yu.I. Lime-ash binder. Building structures and materials. *Collection of scientific works of NIIPromstroy*. Ufa, 1986. (In Russian).
 13. Riazanov A.N., Vinnichenko V.I., Nedoseko I.V., Riazanova V.A., Riazanov A.A. Structure and properties of lime-ash cement and its modification. *Stroitel'nye Materialy* [Construction materials]. 2018. No. 1–2, pp. 18–22. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-756-1-2-18-22> (In Russian).
 14. Babkov V.V., Mirsaev R.N., Shatov A.A., Nedoseko I.V. et al. Non-firing binders based on industrial waste from enterprises of the Ural-Bashkir region. *Bashkirskiy khimicheskij zhurnal*. 1999. Vol. 6. No. 2–3, pp. 95–99. (In Russian).
 15. Babkov V.V., Komokhov P.G., Shatov A.A., Mirsaev R.N., Nedoseko I.V. Activated slag binders based on industrial waste from enterprises of the Ural-Bashkir region. *Tsement i yego primeneniye*. 1998. No. 2, p. 37. (In Russian).

16. Оратовская А.А., Меркулов Ю.И., Хабиров Д.М., Галеева Л.Ш., Шатов А.А., Якимцева Г.В., Дрямина М.А., Бабков В.В. Автоклавный ячеистый бетон в Республике Башкортостан // *Строительные материалы*. 2005. № 1. С. 52–54.
17. Патент РФ RU № 2351556 С1. Захаров С.А., Мамулат С.Л. Модифицированный компонент магнезиального цемента. eLIBRARY ID: 37683479.
18. Ёкубов У.А. Применение твердых отходов содового завода в качестве активной минеральной добавки при производстве портландцемента. Дис. ... канд. техн. наук. Ташкент, 2012.
19. Хозин В.Г., Хохряков О.В., Сибгатуллин И.Р., Гиззатуллин А.Р., Харченко И.Я. Карбонатные цементы низкой водопотребности – зеленая альтернатива цементной индустрии России // *Строительные материалы*. 2014. № 5. С. 76–82.
20. Назаров В.Д., Гурвич Л.М., Русакович А.А. Водоснабжение в нефтедобыче. Уфа: ООО «Виртуал», 2003. 508 с.
21. Аристов С.А., Вадивасов Д.М., Давыдов Э.М., Дербенев А.В., Зворыкина Ю.В., Коган В.В., Мамулат С.Л., Орлов П.В., Пархомчук Н.В., Чечеватова О.Ю. Экологические показатели ресурсо- и энергоэффективности дорожных объектов с учетом их жизненного цикла в рамках экологического декларирования // *Мир дорог*. 2021. Вып. 141. С. 42–47.
22. Джандуллаева М.С. и др. Использование карбонатных отходов содового производства в качестве сырья при производстве силикатного кирпича // *Universum: технические науки: электрон. науч. журн.* 2018. № 12 (57). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/6759> (дата обращения: 19.12.2021).
23. Зворыкина Ю.В., Мамулат С.Л. Региональные провалы ресурсного обеспечения или прорывы в технологическом развитии на стыке пятилеток? // *Автомобильные дороги*. 2019. № 9. С. 16–20.
24. Зворыкина Ю.В., Станкевич В.Г., Марьев А.В., Мамулат С.Л. Устойчивое развитие транспортной инфраструктуры – «зеленый ориентир» курса на развитие экономики «замкнутого цикла» и повышение качества жизни // *Мир дорог*. 2020. Апрель. С. 10–39.
25. Душеба В.З. и др. 90 – двойной юбилей! Бережное и творческое отношение к знаниям и опыту превращает их в благородный научный капитал. Глава в юбилейном издании «СибАДИ – дорога в будущее». Новосибирск, 2021. С. 410–419.
26. Библиотека практик развития и благоустройства среды арктических поселений/ URL: [<http://arctic-library.ru/library/>]
16. Oratovskaya A.A., Merkulov Yu.I., Khabirov D.M., Galeeva L.Sh., Shatov A.A., Yakimtseva G.V., Dryamina M.A., Babkov V.V. Autoclaved cellular concrete in the Republic of Bashkortostan. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2005. No. 1, pp. 52–54. (In Russian).
17. Patent RU No. 2351556 C1 Zakharov S.A., Mamulat S.L. Modified component of magnesia cement. eLIBRARY ID: 37683479 (In Russian).
18. Yokubov U.A. The use of solid waste from a soda plant as an active mineral additive in the production of Portland cement. Diss. Candidate of Sciences (Engineering). Tashkent. 2012. (In Russian).
19. Khozin V.G., Khokhryakov O.V., Sibgatullin I.R., Gizzatullin A.R., Kharchenko I.Ya. Carbonate cements of low water demand - a green alternative to the cement industry in Russia. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 5, pp. 76–82. (In Russian).
20. Nazarov V.D., Gurvich L.M., Rusakovich A.A. Vodosnabzheniye v nefte dobyche [Water supply in oil production]. Ufa: LLC "Virtual". 2003. 508 p.
21. Aristov S.A., Vadivasov D.M., Davydov E.M., Dербenev A.V., Zvorykina Yu.V., Kogan V.V., Mamulat S.L., Orlov P.V., Parkhomchuk N.V., Chechevatova O.Yu. Ecological indicators of resource and energy efficiency of road facilities, taking into account their life cycle in the framework of environmental declaration. *Mir dorog*. 2021. Iss. 141, pp. 42–47. (In Russian).
22. Dzhandullaeva M.S. [et al.] The use of carbonate waste from soda production as a raw material in the production of silicate bricks // *Universum: tekhnicheskiye nauki: technical sciences: electron. scientific journal*. 2018. No. 12 (57). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/6759> (date of access: 12/19/2021).
23. Zvorykina Yu.V., Mamulat S.L. Regional failures in resource provision or breakthroughs in technological development at the turn of the five-year plans? *Avtomobilnye dorogi*. 2019. No. 9, pp. 16–20. (In Russian).
24. Zvorykina Yu.V., Stankevich V.G., Maryev A.V., Mamulat S.L. Sustainable development of transport infrastructure – a “green landmark” of the course towards the development of the “circular economy” and improving the quality of life. *Mir dorog*. April 2020, pp. 10–39. (In Russian).
25. Dusheba V.Z. and others. 90 is a double anniversary! Careful and creative attitude to knowledge and experience turns them into a noble scientific capital. *Chapter in the Anniversary Edition “SibADI – Road to the Future”*. Novosibirsk. 2021, pp. 410–419. (In Russian).
26. Library of practices for the development and improvement of the environment of Arctic settlements / URL: [<http://arctic-library.ru/library/>]

Е.А. СИНИЦИНА, инженер (sinitsina.katy@yandex.ru), Т.В. ПЕЧЕНКИНА, канд. техн. наук (ptv-63@mail.ru), Л.Н. ЛОМАКИНА, канд. техн. наук (lomakinaln@mail.ru), О.С. ДОРОФЕЕВА, аспирант (olga.konnova@mail.ru), И.В. НЕДОСЕКО, д-р техн. наук (nedoseko1964@mail.ru)

Уфимский государственный нефтяной технический университет (450062, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1)

Технология фильтрационного прессования в производстве кровельных и облицовочных изделий повышенной прочности и долговечности

Исследования показали, что технология фильтрационного прессования позволяет получать на цементно-песчаной основе кровельные и облицовочные изделия повышенной прочности и долговечности. Значительное понижение водоцементного отношения при воздействии прессующего давления с одновременным отводом излишков воды дает возможность обеспечивать высокую плотность мелкозернистого бетона за счет отсутствия крупных пор и микропористой структуры цементного камня, что аналогично структуре природных каменных материалов или высокопрочных бетонов нового поколения. К числу основных преимуществ технологии фильтрационного прессования в производстве цементно-песчаной черепицы по сравнению с традиционными технологиями виброформования и экструзии относится возможность существенного снижения толщины и массы получаемого изделия при сохранении его прочностных и эксплуатационных характеристик, что существенно облегчает технологию монтажа данных изделий на строительной площадке и снижает общую стоимость устройства черепичной кровли.

Ключевые слова: цементно-песчаная черепица, структурообразование бетона, фильтрационное прессование, долговечность.

Для цитирования: Синицина Е.А., Печенкина Т.В., Ломакина Л.Н., Дорофеева О.С., Недосеко И.В. Технология фильтрационного прессования в производстве кровельных и облицовочных изделий повышенной прочности и долговечности // *Строительные материалы*. 2022. № 3. С. 74–82. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-800-3-74-82>

E.A. SINITSINA, Engineer (sinitsina.katy@yandex.ru), T.V. PECHENKINA, Candidate of Sciences (Engineering) (ptv-63@mail.ru), L.N. LOMAKINA, Candidate of Sciences (Engineering) (lomakinaln@mail.ru), O.S. DOROFEEVA, Postgraduate student (olga.konnova@mail.ru), I.V. NEDOSEKO, Doctor of Sciences (Engineering) (nedoseko1964@mail.ru)
Ufa State Petroleum Technological University (1, Kosmonavtov Street, Ufa, 450062, Russian Federation)

Filter Pressing Technology in the Production of Roofing and Facing Products with Increased Strength and Durability

Studies have shown that the technology of filtration pressing makes it possible to obtain roofing and facing products of increased strength and durability on a cement-sand base. A significant decrease in the water-cement ratio under the influence of pressing pressure with the simultaneous removal of excess water makes it possible to provide a high density of fine-grained concrete due to the absence of large pores and microporous structure of cement stone, which is similar to the structure of natural stone materials or high-strength concretes of a new generation. One of the main advantages of the filtration pressing technology in the production of cement-sand tiles in comparison with traditional technologies of vibration shaping and extrusion is the possibility of a significant reduction in the thickness and weight of the resulting product while maintaining its strength and performance characteristics, which greatly facilitates the technology of installation of these products at the construction site and reduces the total cost of a tiled roof device.

Keywords: cement-sand tiles, structure formation of concrete, filtration pressing, durability.

For citation: Sinitsina E.A., Pechenkina T.V., Lomakina L.N., Dorofeeva O.S., Nedoseko I.V. Filter pressing technology in the production of roofing and facing products of increased strength and durability. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2022. No. 3, pp. 74–82. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-800-3-74-82>

Общеизвестно, что наибольшей долговечностью (100 лет и более), негорючестью (группа горючести НГ) и высокой огнестойкостью обладают кровельные изделия на натуральной неорганической основе – керамическая и цементно-песчаная черепица. Керамическая черепица при всех имеющихся достоинствах требует для своего производства качественного глинистого сырья и значительного расхода энергии на обжиг. Также по причине высоких требований к сырью заводы по производству керамической черепицы располагаются обычно вблизи от месторождений глины, т. е. требуются дополнительные затраты на транспортировку готовой продукции [1].

Цементно-песчаная черепица по своим свойствам (прочность, водонепроницаемость, долговечность)

практически не уступает керамической [2], но при этом изготавливается путем формования под давлением из широко распространенных материалов – цемента и мелкого песка с добавлением натуральных красителей (пигментов) и не требует энергоемкого высокотемпературного обжига, за счет чего имеет значительно меньшую стоимость. Наиболее простая технология изготовления цементно-песчаной черепицы следующая. Приготовленная цементно-песчаная смесь с добавлением красителей-пигментов укладывается в формы, в которых происходит прессование изделий, после чего изделия помещаются для термовлажностной обработки в пропарочную камеру [3]. Недостатком полученных цементно-песчаных изделий является их шероховатая поверхность, которая постепенно загрязняется, подвергается

ся биологической коррозии и требует периодической очистки механическим или химическим способом. Для устранения данного недостатка после термовлажностной обработки на поверхность черепицы дополнительно наносится специальное покрытие (так называемая глазурь), что позволяет устранить шероховатость поверхности, получить более плотную структуру материала, повысить его водонепроницаемость и улучшить внешний вид изделия, однако это является дополнительной технологической операцией и повышает стоимость черепицы [4]. Альтернативой является изготовление цементно-песчаной черепицы по одностадийной технологии фильтрационного прессования, что позволяет получить изделие высокой плотности и морозостойкости с идеально гладкой поверхностью, не требующее дополнительной обработки [5].

Технология фильтрационного прессования заключается в сочетании процесса прессования пластичных смесей с высоким водовязущим отношением и одновременно отводе избытка воды через фильтрующий элемент [6]. Избыток воды затворения, играющий отрицательную роль в процессах структурообразования в традиционных технологиях, здесь имеет положительный эффект, так как обеспечивает удобоукладываемость и максимальное оводнение твердой фазы; уменьшение сил трения частиц твердой фазы смеси между собой и о стенки формы в процессе формования [6]. При этом уже при умеренном давлении, равном 10–15 МПа, достигается плотная упаковка частиц и формование плотной прочной структуры [7]. В силу своих особенностей технология фильтрационного прессования наиболее эффективна при изготовлении облицовочных плитных изделий, для которых важнейшими свойствами являются высокая водонепроницаемость и морозостойкость [8].

Как известно, бетон на минеральных вяжущих является капиллярно-пористым телом, на структуру и свойства которого значительное влияние оказывают состав бетонной смеси и технология ее уплотнения [9]. В последние десятилетия широкое распространение получили так называемые бетоны с высокими эксплуатационными и технологическими свойствами (High Performance Concrete), особенностью которых является многокомпонентность, так как помимо традиционных составляющих бетона, в их состав входят также химические и минеральные добавки различного назначения [10]. Минеральные добавки-наполнители, используемые для создания более плотной структуры бетона, представляют собой порошки, получаемые путем помола природного и техногенного сырья (кварцевого песка, известняка и доломита, доменных шлаков), а также золуноса ТЭЦ и микрокремнезем. В литературе выделяются несколько основных факторов положительного влияния минеральных добавок на структуру и физико-механические свойства цементных композиций:

- снижение общей пористости цементного камня в бетоне при увеличении объемной концентрации и дисперсности наполнителя за счет заполнения ими промежутков между зернами мелкого заполнителя и создания более плотной упаковки инертных частиц [11];

- ускорение начальной стадии химического твердения цементных систем с частицами наполнителя, служащими центрами кристаллизации [12];

- образование кластеров вяжущее–наполнитель за счет высокой поверхностной энергии частиц наполнителя [13].

Положительный эффект от введения в бетонную смесь суперпластифицирующих добавок и наполнителей может быть успешно реализован при производстве бетонных изделий по технологии фильтрационного прессования. Наличие достаточного количества воды затворения позволяет обеспечить необходимое оводнение зерен вяжущего, требуемое для начала интенсивного процесса гидратации, а также обеспечивает хорошую удобоукладываемость смеси [6]. Далее в процессе фильтрационного прессования избыточная вода удаляется отжатием при давлении 10–15 МПа, при этом происходит значительное уплотнение бетонной смеси с удалением излишков воздуха и снижения до минимальных значений объема воздушных и капиллярных пор. Более того, давление прессования влияет не только на уплотнение бетонной смеси, но и на кинетику гидратации и структурообразования бетона. Ряд авторов [14, 15] отмечают, что при сжатии бетонных смесей происходит сближение гидратирующих частиц цемента, в результате чего процесс их гидратации и формирования контактов между ними протекает более активно, что позволяет получить более плотную структуру бетона.

Следует отметить, что исходя из опыта получения высокопрочных бетонов рациональным является совмещение двух видов добавок – суперпластифицирующих и минеральных [16]. В условиях фильтрационного прессования некоторое увеличение водопотребности смесей с использованием тонкодисперсных наполнителей не играет отрицательной роли, так как избыток воды затворения удаляется через фильтрующее оборудование. Наиболее высокая плотность структуры может быть достигнута за счет одновременного введения в систему 2–3 фракций минеральных наполнителей [17], которые занимают объем между зернами цемента и позволяют при высокой степени уплотнения структуры в процессе фильтр-прессования цементно-песчаных композиций получить практически водонепроницаемый бетон.

С целью оценки возможности изготовления цементно-песчаной черепицы по методу фильтрационного прессования (ФП) с использованием сырьевых материалов Республики Башкортостан авторами был проведен комплекс лабораторных исследований по подбору состава цементно-песчаной смеси и испы-

Таблица 1
Table 1

Составы цементно-песчаной смеси
The composition of the cement-sand mixture

№ п/п	Состав	Содержание компонентов в составе	Подвижность смеси по распылу конуса, мм	Плотность смеси, кг/м ³
1	Контрольный	Цемент–30% Песок–70% В/Ц=0,72 (В/Т=0,72)	Рк=200 мм	2064
2	С минеральным порошком (МП)	Цемент–30% МП–20% Песок–50% В/Ц=0,8 (В/Т=0,48)	Рк=210 мм	2062
3	С суперпластификатором ПФМ-НЛК	Цемент–30% Песок–70% ПФМ-НЛК – 0,4% от массы цемента В/Ц=0,65 (В/Т=0,6)	Рк=205 мм	2096
4	С минеральным порошком и суперпластификатором ПФМ-НЛК	Цемент–30% МП–20% Песок–50% ПФМ-НЛК – 0,4% от массы цемента В/Ц=0,75 (В/Т=0,45)	Рк=210 мм	2100
5	С минеральным порошком и суперпластификатором ПФМ-НЛК	Цемент–30% МП–20% Песок–50% ПФМ-НЛК – 0,6% от массы цемента В/Ц=0,75 (В/Т=0,45)	Рк=230мм	2115
6	С минеральным порошком и суперпластификатором ПФМ-НЛК	Цемент–30% МП–20% Песок–50% ПФМ-НЛК – 0,8% от массы цемента В/Ц=0,67 (В/Т=0,4)	Рк=260мм	2091
7	С минеральным порошком и суперпластификатором на основе поликарбоксилатов	Цемент–30% МП–20% Песок–50% СП ПК – 0,5% от массы цемента В/Ц=0,6 (В/Т=0,36)	Рк=280мм	2160

танию изготовленных методом фильтрационного прессования образцов в лабораторных условиях. В качестве исходных материалов для подбора состава цементно-песчаной смеси были выбраны:

– портландцемент ЦЕМ I 52,5 Н по ГОСТ 31108–2016 «Цементы общестроительные. Технические условия»;

– песок с максимальной крупностью зерен 1,25 мм, отсеянный из песчано-гравийной смеси, характеризуется модулем крупности 1,76 и относится к группе мелких песков. Зерновой состав является непрерывным, содержание илстых и глинистых частиц составляет 1%. По всем испытанным показателям песок соответствует требованиям ГОСТ 8736–2014 «Песок для строительных работ. Технические условия»;

– минеральный порошок МП-1 (неактивированный) по ГОСТ Р 52129–2003 «Порошок минеральный для асфальтобетонных и органоминеральных смесей. Технические условия» с удельной поверхностью 3500–4000 г/см²;

– суперпластифицирующая добавка на основе нафталинсульфонатов ПФМ-НЛК (ПФМ-НЛК);

– суперпластифицирующая добавка на основе поликарбоксилатов (СП ПК);

– полипропиленовая фибра.

С целью выбора оптимального состава цементно-песчаной смеси для изготовления изделий по технологии ФП было изготовлено несколько серий образцов различных составов, перечень которых представлен в табл. 1. При планировании эксперимента переменными величинами, влияющими на свойства фильтр-прессованных цементно-песчаных изделий, принимались (в соответствии с [18]):

– наличие в составе цементно-песчаной смеси суперпластифицирующей добавки;

– наличие в составе цементно-песчаной смеси тонкомолотого минерального наполнителя – минерального порошка МП-1;

– подвижность цементно-песчаной смеси;

– давление прессования.

Для оценки эффективности применения технологии ФП в сравнении с традиционной технологией из той же цементно-песчаной смеси изготавливались образцы-балочки размером 40×40×160 мм и образцы-кубы размером 70×70×70 мм, формуемые



Рис. 1. Замеры расплыва конуса цементно-песчаной смеси состава № 4 ($R_k=210$ мм)

Fig. 1. Measurements of the spread of the cone of the cement-sand mixture of composition No. 4 (spread of the cone =210 mm)



Рис. 2. Фильтрационное прессование цилиндрических образцов: *a* – процесс фильтрационного прессования; *b* – образец-цилиндр, изготовленный по технологии фильтрационного прессования

Fig. 2. Filtration pressing of cylindrical specimens: *a* – filtration pressing process; *b* – sample cylinder made using filter pressing technology



по вибролитьевой технологии с уплотнением на вибростоле.

За контрольный был принят бездобавочный состав, включающий только цемент и песок в соотношении 1:3 (состав № 1). В составе № 2 часть песка была заменена на минеральный порошок (МП). Состав № 3 отличается от состава № 1 наличием суперпластификатора ПФМ-НЛК в количестве 0,4% от массы цемента. Состав № 4 представляет собой состав № 2 с добавлением ПФМ-НЛК в количестве 0,4% от массы цемента. Составы № 5 и 6 отличаются от состава № 4 увеличенным расходом суперпластификатора ПФМ-НЛК (0,6 и 0,8% от массы цемента соответственно). В составе № 7 применен суперпластификатор на поликарбоксилатной основе в количестве 0,5% от массы цемента.

Расход воды (водоцементное отношение) при изготовлении составов подбирался исходя из равной подвижности смесей по расплыву конуса. В составах № 1–4 расплыв конуса был принят равным 200–210 мм (смесь средней подвижности). Для состава № 5 с увеличенным расходом ПФМ-НЛК расплыв конуса был равным 230 мм (высокоподвижная смесь); для состава № 6 с максимальной рекомендуемой дозировкой ПФМ-НЛК расплыв составил 260 мм; для состава № 7 с СП на поликарбоксилатной основе расплыв конуса составил 280 мм (текучая, или литая смесь).

Изготовление бетонных смесей производилось в лабораторном смесителе принудительного действия, перемешивание осуществлялось в течение 180–200 с. Определение подвижности цементно-песчаной смеси производилось по методике ГОСТ 310.4–81 «Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии» с использованием лабораторного встряхивающего столика,

количество ударов встряхивающего столика было принято равным 15. Фотографии замеров расплыва конуса цементно-песчаной смеси состава № 4 представлены на рис. 1.

Помимо подвижности контролировалась также плотность бетонной смеси, результаты представлены в табл. 1. Как видно из результатов испытаний, наименьшую плотность (2060–2065 кг/м³) имеет цементно-песчаная смесь составов № 1 и 2, изготовленная без применения суперпластифицирующих добавок. Самую большую плотность (2160 кг/м³) имеет состав № 7, изготовленный с применением СП на поликарбоксилатной основе.

Для получения цементно-песчаных образцов по технологии фильтрационного прессования были использованы гидравлические прессы П-50 и П-10. Режим прессования был принят следующим: набор давления со скоростью 10 МПа/мин, выдержка при рабочем давлении прессования в течение 3 мин, сброс давления. Также время прессования контролировалось по окончании выделения воды из бетонной смеси, которое составляло 2–2,5 мин. В качестве рабочего давления прессования были приняты значения в диапазоне от 5 до 20 МПа с шагом 5 МПа.

По технологии фильтрационного прессования изготавливались два типа образцов. Первый тип образцов – цилиндры диаметром $d=20$ мм и высотой h , равной от 1 до 1,4 d . Такие образцы изготавливались с применением стальной цилиндрической пресс-формы, состоящей из днища с отверстиями для отвода воды, матрицы и пуансона; фотография процесса прессования цилиндрических образцов и изготовленный образец-цилиндр представлены на рис. 2.

Второй тип образцов – пластины размером 100×100 мм толщиной 10–12 мм (аналогичные по



Рис. 3. Процесс фильтрационного прессования образцов-пластин размером 100×100 мм из цементно-песчаной смеси: а – общий вид пресс-формы; б – растворная смесь, уложенная в пресс-форму; с – удаление излишков воды в процессе фильтрационного прессования; д – образец после завершения прессования и извлечения из формы

Fig. 3. The process of filtration pressing of samples-plates with a size of 100×100 mm from a cement-sand mixture: a – general view of the mold; b – mortar mixture placed in a mold; c – removal of excess water in the process of filter pressing; d – sample after completion of pressing and removal from the mold

Таблица 2
Table 2

Плотность образцов цементно-песчаного раствора в естественном состоянии (в возрасте 28 сут н.т.)
Density of samples of cement-sand mortar in the natural state (at the age of 28 days of normal hardening)

Номер состава бетона	Плотность, кг/м ³				
	Бетонная смесь	Образцы по литейной технологии (балочки)	Образцы по литейной технологии (кубы)	Образцы по методу фильтр-прессования (цилиндры)	Образцы по методу фильтр-прессования (пластины)
1	2064	2096	2101	2191	2183
2	2062	2092	2092	2248	2234
3	2096	2130	2136	2226	2205
4	2100	2136	2130	2284	2269
5	2115	2133	2142	2290	2276
6	2091	2125	2139	2275	2267
7	2160	2167	2182	2316	2305

Таблица 3
Table 3

Прочность при сжатии цементно-песчаных образцов
Compressive strength of cement-sand samples

Номер состава	Прочность при сжатии, МПа		Изменение прочности по методу фильтр-прессования, %, в возрасте 28 сут н.т.
	Образцы по литейной технологии (балочки) в возрасте 28 сут н.т.	Образцы по методу фильтр-прессования (цилиндры) в возрасте 28 сут н.т.	
1	19,6	29,2	+48
2	29,8	47,5	+59
3	25,3	40,6	+60
4	32,1	54,7	+70
5	33,5	55,2	+65
6	32,8	54,4	+67
7	35,7	64,8	+82

толщине цементно-песчаной черепице). Такие образцы изготавливались с применением специальной стальной формы с полированной верхней поверхностью пуансона, на которой формируется лицевая поверхность образца; общий вид пресс-формы и поэтапный процесс прессования представлены на рис. 3.

Изготовленные образцы после распалубки выдерживались в камере нормального твердения в течение 7 и 28 сут.

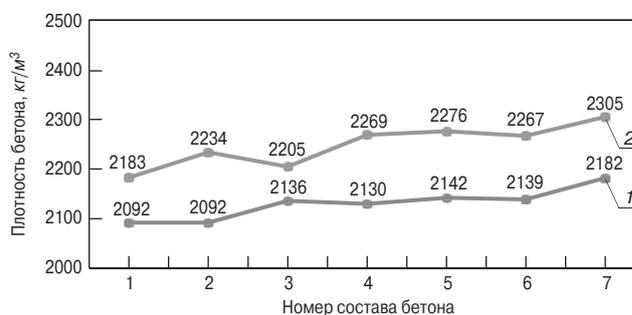


Рис. 4. Плотность цементно-песчаных образцов, изготовленных: 1 – по литейной технологии; 2 – по технологии фильтрационного прессования
Fig. 4. Density of cement-sand samples made according to: 1 – injection technology; 2 – filter pressing technologies

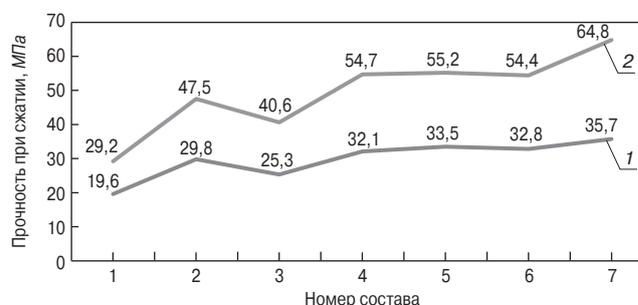


Рис. 5. Прочность при сжатии цементно-песчаных образцов, изготовленных: 1 – по литейной технологии; 2 – по технологии фильтрационного прессования
Fig. 5. Compressive strength of cement-sand samples made by: 1 – injection technology; 2 – filter pressing technologies

Таблица 4
Table 4

Водопоглощение цементно-песчаных образцов
Water absorption of cement-sand samples

Номер состава	Водопоглощение, мас. %		
	Образцы по литейной технологии (кубы)	Образцы по методу фильтр-прессования (цилиндры)	Образцы по методу фильтр-прессования (пластины)
1	12	5,1	6,3
2	11,7	4,6	5,4
3	9,4	4	5,1
4	7,7	3,7	4,6
5	7,8	3,6	4,4
6	7,5	3,6	4,5
7	6,1	2,9	3,9

Результаты определения плотности образцов цементно-песчаного раствора приведены в табл. 2 и на рис. 4, результаты определения прочности образцов раствора – в табл. 3 и на рис. 5, результаты определения водопоглощения образцов – в табл. 4 и на рис. 6.

Как видно из табл. 2 и рис. 4, образцы цементно-песчаного раствора, изготовленные по технологии фильтрационного прессования, имеют значительно большую плотность, чем образцы, изготовленные по стандартной технологии (в среднем на 100–130 кг/м³). Значительное влияние на плотность цементно-песчаного раствора оказывает наличие в составе растворной смеси минерального наполнителя. В частности, плотность бетона образцов состава № 2 (без СП, но с МП) выше, чем образцов состава № 3 (с СП, но без МП), а плотность образцов состава № 4 (с СП и МП) значительно выше плотности образцов состава № 3. Это можно объяснить тем, что по технологии фильтрационного прессования при удалении излишков воды важнейшим фактором, определяющим формирование плотной структуры, становится непрерывность гранулометрического состава заполнителей и наполнителей и в рассматриваемом случае (составы № 2, 4) зерна минерального порошка заполняют пространство между зернами песка, что позволяет получить более плотную структуру бетона [19].

Результаты испытаний, представленные в табл. 3 и на рис. 5, показывают, что наименьшую прочность при любой технологии изготовления имеют образцы состава № 1 (без СП и МП). Большую прочность имеют образцы состава № 3 (без МП, но с СП) и состава № 2 (без СП, но с МП). Образцы составов № 4–6 (с МП и СП ПФМ НЛК различаются расходом суперпластификатора и подвижностью смеси) имеют близкие значения прочности (32–34 МПа – для литейной технологии, 54–56 МПа – для фильтрационной технологии). Наибольшую прочность показывают образцы состава № 7 (35,7 и 64,8 МПа соответственно). Следует отметить, что прочность

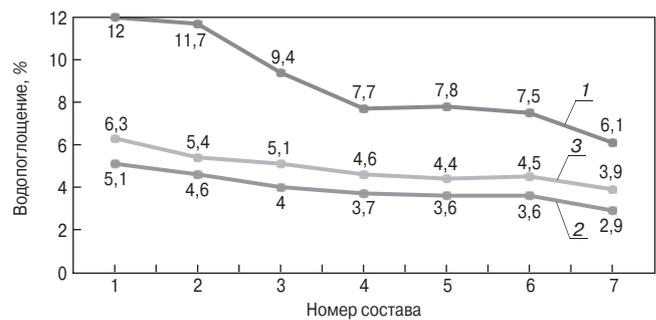


Рис. 6. Водопоглощение цементно-песчаных образцов, изготовленных: 1 – по литейной технологии (кубы); 2 – по технологии ФП (цилиндры); 3 – технологии ФП (пластины)

Fig. 6. Water absorption of cement-sand samples made according to: 1 – injection technology (cubes); 2 – filter pressing technologies (cylinders); 3 – filter pressing technologies (plates)

Таблица 5
Table 5

Качество лицевой поверхности образцов-пластин, изготовленных по технологии фильтрационного прессования
The quality of the front surface of specimens-plates made by filter pressing technology

Номер состава	Фотография поверхности	Описание поверхности
№ 1		На поверхности много мелких и крупных пор диаметром до 2–3 мм. Качество поверхности наихудшее из всех составов
№ 4		На поверхности имеется некоторое количество мелких пор диаметром до 1 мм. Качество поверхности лучше, чем у составов № 1, 2 и 3, но хуже, чем у остальных составов
№ 7		Поры на поверхности отсутствуют, поверхность гладкая, с глянцевым блеском. Качество поверхности наилучшее из всех составов

образцов, изготовленных по технологии ФП, в среднем на 60–80% выше, чем прочность образцов, изготовленных по литейной технологии.

Как видно из данных табл. 4 и рис. 6, водопоглощение образцов, изготовленных по технологии фильтрационного прессования, в 2–2,5 раза ниже водопоглощения образцов, изготовленных по литейной технологии.

Как уже было отмечено ранее, важнейшим свойством цементно-песчаной черепицы является качество ее лицевой поверхности, которое напрямую влияет на другие свойства изделий. При выполнении работы качество лицевой поверхности образцов-пластин из цементно-песчаного раствора, изготовленных по технологии ФП, оценивалось визуально и путем замеров имеющихся дефектов поверхности

Таблица 6
Table 6

Результаты испытаний образцов-цилиндров, изготовленных из цементно-песчаной смеси по технологии ФП при различных давлениях прессования
Test results of cylinder specimens made from a cement-sand mixture using the FP technology at various pressing pressures

Номер состава	Прочность при сжатии, МПа, образцов после 28 сут н.т.				
	По литевой технологии	По методу ФП (цилиндры) при давлении			
		5 МПа	10 МПа	15 МПа	20 МПа
4	32,5	45,2	50,3	54,3	56
7	35,2	49,4	57,6	65	67,1

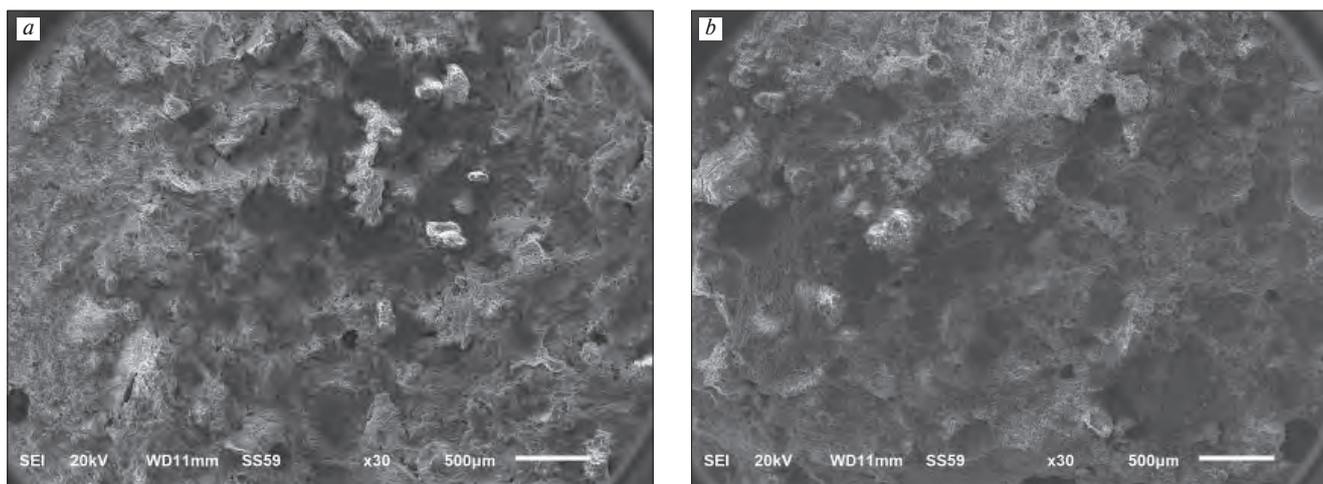


Рис. 7. Структура цементно-песчаного композита, полученная на электронном микроскопе при увеличении в 30 раз: *a* – плотная структура, полученная по технологии фильтрационного прессования; *b* – структура с крупными воздушными порами, полученная по литевой технологии
Fig. 7. The structure of the cement-sand composite, obtained on an electron microscope at a magnification of 30 times: *a* – a dense structure obtained by filter pressing technology; *b* – structure with large air pores, obtained by injection technology

штангенциркулем. Фотографии характерных образцов из цементно-песчаной смеси различного состава с описанием качества их поверхности представлены в табл. 5.

По результатам осмотра образцов-пластин было зафиксировано, что наихудшее качество поверхности имеют образцы составов № 1 и 3, изготовленные без применения минерального наполнителя. Несколько лучше по качеству лицевая поверхность образца состава № 2 (с минеральным порошком, но без суперпластификатора). Удовлетворительное качество имеет поверхность образцов составов № 4, 5 и 6, изготовленных из смеси с высокой подвижностью, имеющих в составе СП ПФМ-НЛК и минеральный наполнитель. Наилучшее качество лицевой поверхности (гладкая поверхность без пор, с глянцевым блеском) имеет образец состава № 7, изготовленный из высокопластичной (литой) цементно-песчаной смеси с применением суперпластификатора на поликарбонатной основе.

Определение водонепроницаемости образцов, изготовленных по технологии ФП, по стандартной для бетонов методике по ГОСТ 12730.5–2018 «Бетоны. Методы определения водонепроницаемости» в силу малой толщины цементно-песчаных изделий не представляется возможным. Косвенным методом оценки водонепроницаемости бетона (рас-

твора) по методике СНиП 2.03.01–85 (с Изменением № 1) может служить значение величины его водопоглощения, исходя из которого цементно-песчаный раствор составов № 4–6 можно отнести к марке по водонепроницаемости W6, а цементно-песчаный раствор состава № 7 – к марке по водонепроницаемости не менее W8.

Испытание образцов модифицированного цементно-песчаного раствора состава № 7 (квадратных пластин размером 100×100×10 мм) на морозостойкость, выполняемое в соответствии с ГОСТ 10060–2012 «Бетон. Методы определения морозостойкости» по первому базовому методу показало, что образцы выдержали без каких-либо признаков разрушения 300 циклов попеременного замораживания-оттаивания.

Еще одним значительным фактором, влияющим на физико-механические свойства материалов, получаемых различными способами прессования, является величина прессующего давления, обуславливающая степень уплотнения материала. Для оценки влияния уровня давления прессования на свойства цементно-песчаных композиций, получаемых по фильтр-прессовому методу, были проведены эксперименты на цементно-песчаных композициях двух составов (№ 4 и 7). В качестве рабочих давлений прессования были рассмотрены давления 5, 10, 15 и 20 МПа. Результаты испытания образцов-цилин-

дров, изготовленных при различных давлениях прессования, представлены в табл. 7.

На основании результатов исследований можно заключить, что оптимальным с точки зрения обеспечения плотной и прочной структуры цементно-песчаного композита является давление фильтрационного прессования, равное 15 МПа, дальнейшее увеличение давления не приводит к значительному приросту прочности материала, что полностью согласуется с литературными данными [6] и является экономически нецелесообразным.

Исследование структуры цементно-песчаных композитов, полученных по технологии фильтрационного прессования и по литейной технологии, выполнялись в Инновационном центре «Лаборатория нанотехнологий цементных систем им. профессоров А.Ф. Полака и Н.Х. Каримова» (ИНОЦ) с применением растрового электронного микроскопа JEOL JSM-6610LV. Исследовалась структура двух характерных образцов цементно-песчаного композита, один из которых был изготовлен по литейной технологии, второй – по технологии фильтрационного прессования; фотографии структуры при увеличении в 30 раз представлены на рис. 7.

Как видно на рис. 7, образцы, изготовленные по литейной технологии, имеют в своей структуре достаточно крупные воздушные поры, в то время как образцы из смеси того же состава, изготовленные по технологии фильтрационного прессования, имеют плотную структуру цементного камня без крупных воздушных пор.

Список литературы

1. Горчаков Г.И., Баженов Ю.М. Строительные материалы. М.: Стройиздат, 1986. 688 с.
2. Бондаренко И.Н., Нейман С.М., Созинов С.В. Современные кровельные материалы и конструкции кровель, используемые для жилых и промышленных зданий // *Вестник МГСУ*. 2010. № 4–5. С. 31–37.
3. Уманский Н.Л., Фальков И.А. Производство и применение цементно-песчаной черепицы. М.: Промстройиздат, 1957. 104 с.
4. Баженов Ю.М. Технология бетона, строительных изделий и конструкций. М.: АСВ, 2004. 236 с.
5. Ляшкевич И.М., Митрофанов А.А. Фильтр-прессовая технология производства гипсоволокнистых плит // *Строительные материалы*. 1987. № 1. С. 7–9.
6. Джакупов К.К., Ляшкевич И.М., Бабков В.В. и др. Технология фильтр-прессования в производстве облицовочных изделий. Самара: Изд-во СОС «Строительство» РИА, 1999. 256 с.
7. Ицкович С.М., Ляшкевич И.М. Теория процесса прессования изделий из порошков и суспензий // *Техника, технология, организация и экономика строительства*. 1987. Вып. 13. С. 17–25.

Выводы

Большим объемом проведенных экспериментальных исследований установлена возможность получения качественных цементно-песчаных кровельных и облицовочных изделий по технологии фильтрационного прессования на сырьевых материалах Республики Башкортостан. На процессы структурообразования пластичных цементно-песчаных смесей в условиях фильтрационного прессования и на свойства получаемых материалов наибольшее влияние оказывают исходное водотвердое отношение, пластичность смеси, дисперсность заполнителей и наполнителей и величина прессующего давления. Значительному снижению пористости цементно-песчаных систем, повышению их плотности и прочности при использовании технологии фильтрационного прессования содействует введение в цементно-песчаную смесь минеральных наполнителей (каменной муки) в сочетании с суперпластифицирующими добавками при давлении прессования 10–15 МПа, что позволяет получать цементно-песчаные кровельные изделия высокой плотности, прочности, непроницаемости и долговечности.

References

1. Gorchakov G.I., Bazhenov Yu.M. *Stroitel'nyye materialy* [Construction Materials]. Moscow: Stroyizdat. 1986. 688 p.
2. Bondarenko I.N., Neiman S.M., Sozinov S.V. Modern roofing materials and roof structures used for residential and industrial buildings. *Vestnik MGSU*. 2010. No. 4–5, pp. 31–37.
3. Umansky N.L., Falkov I.A. *Proizvodstvo i primeneniye cementno-peschanoy cherepicy* [Production and use of cement-sand tiles]. Moscow: Promstroyizdat. 1957. 104 p.
4. Bazhenov Yu.M. *Tekhnologiya betona, stroitel'nykh izdeliy i konstruksiy* [Technology of concrete, building products and structures]. Moscow: ASV. 2004. 236 p.
5. Lyashkevich I.M., Mitrofanov A.A. Filter-press technology for the production of gypsum fiber boards. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 1987. No. 1, pp. 7–9. (In Russian).
6. Dzhakupov K.K., Lyashkevich I.M., Babkov V.V. and other. *Tekhnologiya fil'trpressovaniya v proizvodstve oblitsovochnykh izdeliy* [Technology of filter pressing in the production of facing products]. Samara: Publishing house SOS "Construction" RIA, 1999. 256 p.
7. Itskovich S.M., Lyashkevich I.M. Theory of the pressing of products from powders and suspensions. *Tekhnika, tekhnologiya, organizatsiya i ekonomika stroitel'stva*. 1987. Iss. 13, pp. 17–25. (In Russian).
8. Ermilova E.Yu., Korenkova S.F. Simulation of the process of filtration pressing of microfilled thin-walled

8. Ермилова Е.Ю., Коренькова С.Ф. Моделирование процесса фильтрационного прессования микронаполненных тонкостенных изделий. [Электронный ресурс]. URL: <https://st-par.ru/info/stati-o-krovle/cementno-peschanaya-cherepica/>
9. Баженов Ю.М. Технология бетонов. М.: АСВ, 2007. 528 с.
10. Каприелов С.С., Травуш В.И., Карпенко Н.И. и др. Модифицированные бетоны нового поколения в сооружениях ММДЦ «Москва-Сити» // *Строительные материалы*. 2006. № 10. С. 13–17.
11. Каприелов С.С. Общие закономерности формирования структуры цементного камня и бетона с добавкой ультрадисперсных материалов // *Бетон и железобетон*. 1995. № 4. С. 16–20.
12. Бабков В.В., Комохов П.Г., Капитонов С.М., Мирсаев Р.Н. Механизм упрочнения цементных связок при использовании тонкодисперсных наполнителей // *Цемент*. 1991. № 9–10. С. 34–41.
13. Бабков В.В., Мохов В.Н., Капитонов С.М., Комохов П.Г. Структурообразование и разрушение цементных бетонов. Уфа: ГУП «Уфимский полиграфкомбинат», 2002. 376 с.
14. Баженов Ю.М., Алимов Л.А., Воронин В.В. Наномодифицированные цементные бетоны. М.: АСВ, 2017. 198 с.
15. Калашников В.И. Эволюция развития составов и изменение прочности бетонов. Бетоны настоящего и будущего. Ч. 1. Изменение составов и прочности бетонов // *Строительные материалы*. 2016. № 1–2. С. 96–103.
16. Каприелов С.С., Травуш В.И., Карпенко Н.И. и др. Модифицированные высокопрочные бетоны классов В80 и В90 в монолитных конструкциях // *Строительные материалы*. 2008. № 3. С. 9–13.
17. Гусев Б.В. Бетоны с наполнителями различной дисперсности и их наномодификация // *Нанотехнологии в строительстве*. 2019. Т. 11. № 4. С. 384–393.
18. Синицин Д.А., Халиков Р.М., Булатов Б.Г. и др. Технологические подходы направленного структурообразования нанокompозитов строительного назначения с повышенной коррозионной устойчивостью // *Нанотехнологии в строительстве*. 2019. Т. 11. № 2. С. 153–164. DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-2-153-164
19. Синицина Е.А., Недосеко И.В. Применение каменной муки в качестве инертного наполнителя в тяжелом бетоне. // *Проблемы строительного комплекса России: Материалы XXIII Международной научно-технической конференции, посвященной 50-летию Архитектурно-строительного института УГНТУ*. Уфа, 2019. С. 239–240.
20. Синицин Д.А., Латыпова Р.А., Синицина Е.А. Исследование возможности использования минерального порошка в качестве микронаполнителя в тяжелом бетоне. *Сборник XXII Международной конференции «Проблемы строительного комплекса России»*. Уфа, 2018. С. 157–158.
- products. [Electronic resource]. URL: <https://st-par.ru/info/stati-o-krovle/cementno-peschanaya-cherepica/>
9. Bazhenov Yu.M. *Tekhnologiya betonov* [Concrete technology]. Moscow: ASV. 2007. 528 p.
10. Kapriellov S.S., Travush V.I., Karpenko N.I. et al. Modified concretes of a new generation in the structures of the Moscow International Business Center “Moscow-City”. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2006. No. 10, pp. 13–17. (In Russian).
11. Kapriellov S.S. General patterns of 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).
12. Babkov V.V., Komokhov P.G., Kapitonov S.M., Mirsaev R.N. The mechanism of hardening of cement binders when using fine fillers. *Cement*. 1991. No. 9–10, pp. 34–41.
13. Babkov V.V., Mokhov V.N., Kapitonov S.M., Komokhov P.G. *Strukturoobrazovaniye i razrusheniye tsementnykh betonov* [Structure formation and destruction of cement concretes]. Ufa: State Unitary Enterprise “Ufimsky polygraph plant”. 2002. 376 p.
14. Bazhenov Yu.M., Alimov L.A., Voronin V.V. *Nanomodifitsirovannyye tsementnyye betony* [Nanomodified cement concretes]. Moscow: ASV. 2017. 198 p.
15. Kalashnikov V.I. Evolution of the development of compositions and changes in the strength of concrete. Concrete of the present and future. Part 1. Changing the composition and strength of concrete. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2016. No. 1-2, pp. 96–103. (In Russian).
16. Kapriellov S.S., Travush V.I., Karpenko N.I. and others. Modified high-strength concretes of classes B80 and B90 in monolithic structures. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2008. No. 3, pp. 9–13. (In Russian).
17. Gusev B.V. Concrete with fillers of various dispersion and their nanomodification. *Nanotekhnologii v stroitel'stve*. 2019. V. 11. No. 4, pp. 384–393. (In Russian).
18. Sinitsin D.A., Khalikov R.M., Bulatov B.G. Technological approaches to directed structure formation of building nanocomposites with increased corrosion resistance. *Nanotekhnologii v stroitel'stve*. 2019. Vol. 11. No. 2, pp. 153–164. DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-2-153-164
19. Sinitsina E.A., Nedoseko I.V. The use of stone flour as an inert filler in heavy concrete. *Problems of the building complex in Russia: Proceedings of the XXIII International Scientific and Technical Conference dedicated to the 50th anniversary of the Institute of Architecture and Civil Engineering of USPTU*. Ufa. 2019, pp. 239–240. (In Russian).
20. Sinitsin D.A., Latypova R.A., Sinitsina E.A. Study of the possibility of using mineral powder as a microfiller in heavy concrete. *Collection of the XXII International Conference “Problems of the Construction Complex of Russia”*. Ufa. 2018, pp. 157–158. (In Russian).