

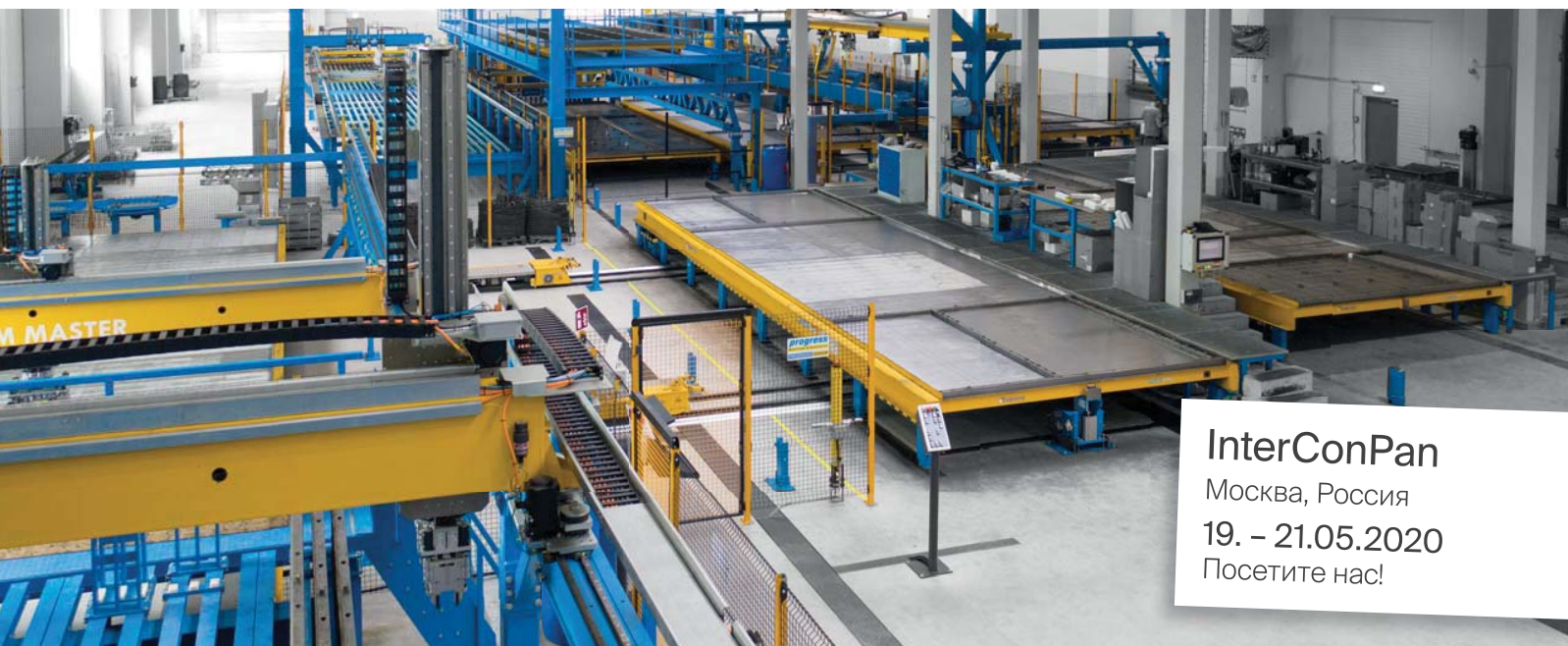
# СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ<sup>®</sup> №3

Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]

ISSN 0585-430X (Print)  
ISSN 2658-6991 (Online)



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ ИЗДАЕТСЯ С 1955 г. WWW.RIFSM.RU WWW.JOURNAL-CM.RU МАРТ 2020 г. (779)



InterConPan  
Москва, Россия  
19. – 21.05.2020  
Посетите нас!

## Комплексные решения из одних рук



[www.progress-group.info](http://www.progress-group.info)

- Комплексные заводы ДСК / КПД / ЖБИ
- Высокоавтоматизированные линии циркуляции паллет
- Индивидуальные решения
- Конечные продукты высшего качества

EBAWE, дочернее предприятие PROGRESS GROUP, разрабатывает, проектирует и поставляет оборудование для комплекных заводов ДСК / КПД / ЖБИ, а также отдельные линии по производству различных сборных железобетонных изделий. Мы – идеальный партнер для всех Ваших проектов, независимо от их объемов и типов!



## Производство

Технология БЭНПАН позволяет производить железобетонные конструкции и строить объекты гражданского строительства в любом климатическом районе.

Технология позволяет разрабатывать различные типы стеновых панелей в соответствии с архитектурными решениями, а также широкий перечень других ЖБ изделий. Каталог выпускаемых изделий по технологии БЭНПАН представлен в приложении 1 (см. Каталог выпускаемых изделий).

Оборудование для производства железобетонных изделий по технологии БЭНПАН\* производится на производственных площадях компании (см. приложение 2 Каталог оснастки).



## Технология БЭНПАН

БЭНПАН - это инновационная и запатентованная технология строительства, в основе которой использование утепленных ребристых железобетонных стеновых панелей и плит перекрытия повышенной заводской готовности из фибробетона.

На основе технологии БЭНПАН производится стеновые панели трех типов - БЭНПАН, БЭНПАН+, БЭНПАН Премиум, плиты перекрытия, несущие перегородки, лестничные марши и площадки, балки, колонны, блоки для коммуникаций и др. Вся продукция производится в рамках системы менеджмента качества ГОСТ 9001-2015, в соответствии со строительными нормами, ГОСТ и Техническими условиями.



## Франшиза

Технология БЭНПАН на сегодняшний день является уникальной, а её продукция высоко конкурентно способна на рынке технологий строительных материалов.

Нами разработан пакет предложений франшизы. Подробнее узнать об условиях франшизы и получить пакет договоров для ознакомления можно у наших менеджеров



## Что вы приобретаете?

- Право использования торговых знаков
- Право использования запатентованной технологии БЭНПАН
- Оборудование для производства
- Право использования типовых архитектурных проектов
- Право использования программного обеспечения
- Централизованное проектирование конструктивной части
- Обучение персонала
- Техническая поддержка
- Поставка основных комплектующих
- Строительство производственных помещений
- Разработанные технические условия
- Сертификация на продукцию

### Индустриальное домостроение

Л.И. КАСТОРНЫХ, А.В. КАКЛЮГИН, М.А. ГИКАЛО, И.В. ТРИЩЕНКО

**Особенности состава бетонных смесей для бетононасосной технологии** ..... 4

**SANSIRI инвестирует в высокотехнологичные кассетные формы компании TECNOCOM** ..... 12

**Масштабная модернизация производственных площадок Первого ДСК  
обеспечивает уникальность индустриальных домов** ..... 14

Л.Н. ТАЛИПОВ, Е.Г. ВЕЛИЧКО, С.И. ТЕМБУЛАТОВ

**Влияние полимерных поверхностно-активных веществ на коррозию стальной арматуры в бетоне  
в составе комплексной антикоррозионной добавки** ..... 16

**В Узбекистане введена новая производственная линия преднапряженных плит перекрытий  
от NORDIMPIANTI** ..... 22

Н.Г. ГОЛОВИН, Ю.Н. ФЁДОРОВ, А.С. КОЗЛОВ

**БЭНПАН – инновационная технология сборного малоэтажного домостроения** ..... 24

**Стендовая технология производства плоских элементов КПД: ключ к достижению новых возможностей** .... 28

Ю.М. БАЖЕНОВ, О.В. АЛЕКСАНДРОВА, НГУЕН ДЫК ВИНЬ КУАНГ,  
Б.И. БУЛГАКОВ, О.А. ЛАРСЕН, Н.А. ГАЛЬЦЕВА, Д.С. ГОЛОТЕНКО

**Высокопрочный бетон из материалов Вьетнама** ..... 32

Ю.В. ПУХАРЕНКО, В.И. МОРОЗОВ, Д.А. ПАНТЕЛЕЕВ, М.И. ЖАВОРОНКОВ

**Определение прочности сцепления армирующих волокон с матрицей в фибробетоне** ..... 39

**Автоматические сварочные центры** ..... 45

**Новая автоматическая сварочная линия для производства сеток с проемами для ДСК** ..... 46

А.А. БАТЮШЕНКО, Н.С. СОКОЛОВ

**Сокращение сроков строительства зданий из монолитного бетона** ..... 49

### Результаты научных исследований

А.А. РЯЗАНОВ, Р.З. РАХИМОВ, В.И. ВИННИЧЕНКО, А.Н. РЯЗАНОВ, Г.Ю. ШАГИГАЛИН, И.В. НЕДОСЕКО

**Особенности диссоциации карбоната кальция в составе органоминеральной смеси** ..... 54

**КНАУФ в России: успешное завершение 2019 г., оптимистичный прогноз на 2020 г. (Информация)** ..... 62

В.А. ГУРЬЕВА, А.В. ДОРОШИН, А.А. ИЛЬИНА

**Математическая оптимизация составов шихт при производстве керамического кирпича** ..... 64

С.Ю. АНДРОНОВ, А.Ф. ИВАНОВ, А.В. КОЧЕТКОВ

**Технология производства и применения дисперсно-армированных асфальтобетонных смесей  
с базальтовой фиброй** ..... 70

Т.А. АХВЕРДИЕВА, Р. ДЖАФАРОВ

**Современные технологии в производстве гидротехнического бетона** ..... 76

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

**Editorial address:**  
9/3 Dmitrovskoye Highway,  
127434, Moscow, Russian Federation

Monthly scientific-technical and industrial journal

# STROITEL'NYE MATERIALY®

**№ 3**

Founded in 1955

(779) March 2020

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

## Industrial Construction

L.I. KASTORNYKH, A.V. KAKLYUGIN, M.A. GIKALO, I.V. TRISHCHENKO

**Features of the Composition of Concrete Mixes for Concrete Pumping Technology** ..... 4

**SANSIRI Invests in Sophisticated Battery Mould Technology by TECNOCOM** ..... 12

**Large-scale Modernization of the Production Sites of the DSK-1 Ensures the Uniqueness of Industrial Houses** ..... 14

L.N. TALIPOV, E.G. VELICHKO, S.I. TEMBULATOV

**Influence of Polymer Surfactants on the Corrosion of Steel Reinforcement in Concrete as Part of a Complex Anti-Corrosion Additive** ..... 16

**A New Production Line of Prestressed Floor Slabs from NORDIMPIANTI Has Been Put Into Operation in Uzbekistan** ..... 22

N.G. GOLOVIN, Yu.N. FEDOROV, A.S. KOZLOV

**BENPAN – Innovation Technology of Prefabricated Low-Rise Housing Construction** ..... 24

**Stand Technology of Production of Flat Elements for Large Panel Buildings (LPB): the Key to Achieving New Opportunities** ..... 28

Yu.M. BAZHENOV, O.V. ALEKSANDROVNA, NGUYEN DUC VINH QUANG,  
B.I. BULGAKOV, O.A. LARSEN, N.A. GALTSEVA, D.S. GOLOTENKO

**High-Performance Concrete Produced With Locally Available Materials of Vietnam** ..... 32

Yu.V. PUHARENKO, V.I. MOROZOV, D.A. PANTELEEV, M.I. ZHAVORONKOV

**Determination of the Adhesion Strength of Reinforcing Fibers to the Matrix in Fiber Concrete** ..... 39

**Automatic Welding Centers** ..... 45

**New Automatic Welding Line for Production of Meshes with Openings for HBF-LPHC** ..... 46

A.A. BATYUSHENKO, N.S. SOKOLOV

**Reducing the Construction Time of Buildings Made of Monolithic Concrete** ..... 49

## Results of scientific research

A.A. RIAZANOV, R.Z. RAKHIMOV, V.I. VINNICHENKO, A.N. RIAZANOV, G.Yu. SHAGIGALIN, I.V. NEDOSECO

**Features of Dissociation of Calcium Carbonate in the Composition of an Organo-Mineral Mixture** ..... 54

**Knauf in Russia: Successful Completion of 2019, Optimistic Forecast for 2020 (Information)** ..... 62

V.A. GURYEVA, A.V. DOROSHIN, A.A. ILYINA

**Mathematical Optimization of Charge Compositions in the Production of Ceramic Bricks** ..... 64

S.Yu. ANDRONOV, A.F. IVANOV, A.V. KOCHETKOV

**Technology of Production and Application of Dispersed-Reinforced Asphalt Concrete Mixes with Basalt Fiber** ..... 70

T.A. AHVERDIEVA, R. JAFAROV

**Modern Technologies in the Production of Hydrotechnical Concrete** ..... 76

# Редакционный совет

## 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)

**ВАЙСБЕРГ Л.А.,**

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

**ВЕРЕЩАГИН В.И.,**

д-р техн. наук, профессор (Томск)

**ГОРИН В.М.,**

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

**ЕРОФЕЕВ В.Т.,**

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

**КОРОЛЕВ Е.В.,**

д-р техн. наук, профессор (Москва)

**КРИВЕНКО П.В.,**

д-р техн. наук, профессор (Украина)

**ЛЕОНОВИЧ С.Н.,**

д-р техн. наук, профессор (Беларусь)

**ЛЕСОВИК В.С.,**

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

**МУРТАЗАЕВ С.-А.Ю.,**

д-р техн. наук, профессор (Грозный)

**НЕДОСЕКО И.В.,**

д-р техн. наук (Уфа)

**ПИЧУГИН А.П.,**

д-р техн. наук, профессор (Новосибирск)

**ПУХАРЕНКО Ю.В.,**

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

**ТРАВУШ В.И.,**

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

**ФЕДОСОВ С.В.,**

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

**ФИШЕР Х.-Б.,**

доктор-инженер (Германия)

**ХОЗИН В.Г.,**

д-р техн. наук, профессор (Казань)

**ЧЕРНЫШОВ Е.М.,**

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

**ШЕБЛ С.М.,**

д-р наук, профессор (Египет)

**ШЛЕГЕЛЬ И.Ф.,**

канд. техн. наук (Омск)

**ШТАКЕЛЬБЕРГ Д.И.,**

д-р техн. наук, профессор (Израиль)

**ЯКОВЛЕВ Г.И.,**

д-р техн. наук, профессор (Ижевск)

**Ю ЖЯНГМЯО,**

д-р философии (Китай, Гуанчжоу)

# Editorial Board

## 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)

**BUR'YANOV A.,**

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

**VAYSBERG L.,**

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

**VERESHCHAGIN V.,**

Doctor of Science (Engineering), Professor (Tomsk)

**GORIN V.,**

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

**EROFEEV V.,**

Doctor of Science (Engineering), Professor, Academician of RAACS (Saratov)

**KOROLEV E.,**

Doctor of Science (Engineering), Professor (Moscow)

**KRIVENKO P.,**

Doctor of Science (Engineering), Professor (Ukraine)

**LEONOVICH S.,**

Doctor of Science (Engineering), Professor (Belarus, Minsk)

**LESOVIK V.,**

Doctor of Science (Engineering), Corresponding Member of RAACS (Belgorod)

**MURTAZAEV S.-A.,**

Doctor of Science (Engineering), Professor (Grozniy)

**NEDOSEKO I.,**

Doctor of Science (Engineering) (Ufa, Bashkortostan)

**PICHUGIN A.,**

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

**PUKHARENKO Yu.,**

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

**TRAVUSH V.,**

Doctor of Science (Engineering), academician of RAACS (Moscow)

**FEDOSOV S.,**

Doctor of Science (Engineering), Professor, Academician of RAACS (Ivanovo)

**FISHER H.-B.,**

Doctor-Engineer (Germany, Weimar)

**KHOZIN V.,**

Doctor of Science (Engineering), Professor (Kazan)

**CHERNYSHOV E.,**

Doctor of Science (Engineering), Professor, Academician of RAACS (Voronezh)

**SHEBL S.M.,**

Doctor of Science, Professor (Egypt)

**SHLEGEL I.,**

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

**SHTACKELBERG D.,**

Doctor of Science (Engineering), Professor (Israel)

**YAKOVLEV G.,**

Doctor of Science (Engineering), Professor (Izhevsk)

**YU JIANGMIAO,**

PhD / Associate Professor (China, Guangzhou)

Л.И. КАСТОРНЫХ<sup>1</sup>, канд. техн. наук (likas9@mail.ru),  
А.В. КАКЛЮГИН<sup>1</sup>, канд. техн. наук (kaklugin@gmail.com);  
М.А. ГИКАЛО<sup>2</sup>, главный инженер проекта (gikalo\_max@mail.ru);  
И.В. ТРИЩЕНКО<sup>3</sup>, канд. техн. наук (ivt523w@gmail.com)

<sup>1</sup> Донской государственный технический университет (344002, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1)

<sup>2</sup> ООО «Научно-технический центр «Академстрой» (344016, г. Ростов-на-Дону, ул. Таганрогская, 144)

<sup>3</sup> ООО «Ростовская Строительная Лаборатория» (344065, г. Ростов-на-Дону, ул. 50-летия Ростсельмаша, 8А, литер Л, офис 30)

## Особенности состава бетонных смесей для бетононасосной технологии

Бетононасосный принцип транспортирования и укладки бетонной смеси является перспективным для применения в монолитном строительстве и заводском производстве сборных железобетонных изделий. Его реализация позволяет механизировать наиболее трудоемкие процессы бетонирования, снизить трудозатраты, повысить качество работ. Технический эффект бетононасосной технологии достигается при использовании бетонных смесей специально подобранный состава. Они должны удовлетворять ряду технологических требований, в числе которых: высокая подвижность, повышенная связность и нерасплаиваемость смеси. Сложность определения и учета производственных факторов, влияющих на свойства перекачиваемых бетонных смесей и показатели назначения бетона, обуславливают невозможность проектирования их состава по ГОСТ 27006–2019 «Бетоны. Правила подбора состава» и требуют индивидуального подхода. Выполнена экспериментальная оценка влияния суперпластификаторов различной химической природы на перекачиваемость смесей и физико-механические свойства бетона. Рассмотрена возможность получения самоуплотняющихся смесей. Исследования выполнены с использованием суперпластификаторов на основе полинафталинметилсульфоната натрия и на основе эфира поликарбоксилата. В качестве минерального наполнителя применялась зола-уноса Новочеркасской ГРЭС. Использование выбранных суперпластификаторов обеспечило получение перекачиваемых смесей. Самоуплотняющиеся смеси (с требуемой растекаемостью) были получены только в составах с добавкой на основе эфира поликарбоксилата. Установлено влияние расхода составляющих бетонных смесей на их свойства и свойства бетонов.

**Ключевые слова:** бетононасосная технология, перекачиваемость смеси, суперпластификаторы, высокоподвижные бетонные смеси, самоуплотняющиеся бетонные смеси.

**Для цитирования:** Касторных Л.И., Каклюгин А.В., Гикало М.А., Трищенко И.В. Особенности состава бетонных смесей для бетононасосной технологии // *Строительные материалы*. 2020. № 3. С. 4–11. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-779-3-4-11>

L.I. KASTORNYKH<sup>1</sup>, Candidate of Sciences (Engineering), A.V. KAKLYUGIN<sup>1</sup>, Candidate of Sciences (Engineering);

M.A. GIKALO<sup>2</sup>, Project Chief Engineer; I.V. TRISHCHENKO<sup>3</sup>, Candidate of Sciences (Engineering)

<sup>1</sup> Don State Technical University (1 Gagarin Square, Rostov-on-Don, 344002, Russian Federation)

<sup>2</sup> "Scientific-Technical Center "Academstroy" LLC (144 Taganrogskaya Street, Rostov-on-Don, 344016, Russian Federation)

<sup>3</sup> "Rostovskaya Stroitel'naya Laboratoriya" LLC (8A, Liter L, Off. 30, 50-letiya Rostselmash Street, Rostov-on-Don, 344065, Russian Federation)

### Features of the Composition of Concrete Mixes for Concrete Pumping Technology

The concrete pumping principle of transporting and laying concrete mix is promising for implementing in monolithic construction and factory production of precast concrete products. Its implementation makes it possible to mechanize the most labor-intensive concreting processes, reduce labor costs, and improve the quality of work. The technical effect of concrete pumping technology is achieved when using concrete mixes of a specially selected composition. They must meet a number of technological requirements, including: high fluidity, increased concrete mix cohesion, and non-segregation of the mixture. The complexity of determining and accounting for production factors that affect the properties of the concrete mixtures pumped and the indicators of the purpose of concrete, makes it impossible to design their composition according to GOST 27006–2019 and requires an individual approach. An experimental evaluation of the effect of superplasticizers of different chemical nature on the pumpability of mixtures and the physical-mechanical properties of concrete was performed. The possibility of obtaining self-compacting mixtures is considered. The studies were performed using superplasticizers of the TECHNOCOL brands (based on sodium polynaphthalene methylene sulfonate) and BASF (based on polycarboxylate ether). Fly ash from Novocherkasskaya GRES was used as a mineral filler. The use of superplasticizers of both brands ensured the production of pumped mixtures. Self-compacting mixtures (with the required spreadability) were obtained only in compositions with the addition of the BASF trademark. The influence of the consumption of the components of concrete mixtures on their properties and the properties of concretes is established.

**Keywords:** concrete pumping technology, mix pumpability, superplasticizers, high fluidity concrete mixes, self-compacting concrete mixes.

**For citation:** Kastornykh L.I., Kaklyugin A.V., Gikalo M.A., Trishchenko I.V. Features of the composition of concrete mixes for concrete pumping technology. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2020. No. 3, pp. 4–11. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-779-3-4-11>

Бетононасосный принцип транспортирования и укладки бетонной смеси, являясь прогрессивным способом механизации процессов подачи и распределения смесей, успешно применяется как в монолитном строительстве, так и в условиях заводского производства сборных железобетонных изделий [1].

Использование бетононасосов, бетоноводов и складывающихся распределительных стрел позволяет полностью механизировать наиболее трудоемкие процессы бетонирования, снизить трудозатраты до минимума, повысить качество и эффективность работ при возведении монолитных и сборно-монолитных кон-

струкций [2, 3]. Бетононасосная технология целесообразна при бетонировании сооружений, находящихся в стесненных условиях, а также внутренних и густоармированных конструкций зданий, когда затруднена подача бетонной смеси другими способами [4].

В монолитном строительстве при возведении высотных зданий и уникальных сооружений подача бетонных смесей бетононасосами часто является единственным возможным способом бетонирования [5, 6]. А в ближайшей перспективе бетононасосный способ транспортирования и укладки смесей планируется реализовать в инновационной технологии строительства с применением трехмерной 3D-печати [7, 8]. Следует отметить, что имеется положительный опыт применения бетононасосной технологии и при изготовлении сборных железобетонных изделий (элементов трибун), используемых при строительстве стадиона «Ростов-Арена». Авторами статьи разработан комплект технологической документации для производства этих изделий в условиях открытого полигона по стендовой технологии.

Ранее выполненными исследованиями авторами установлено, что железобетонные конструкции, формируемые при помощи бетононасосов (их называли конструкциями из бетона напорного формования), в сравнении с бетонами традиционных способов формования отличаются повышенным качеством [9, 10].

Внедрению и широкому применению бетононасосной технологии способствует появление на строительном рынке высокопроизводительного оборудования: Liebherr, Putzmeister, SIFA, Schwing, Atabey и др. Бетононасосы в сочетании с инновационными системами распределения бетонной смеси позволяют осуществлять бетонирование на больших стройплощадках, а самоподъемная мачта и круговой бетононасос обеспечивают выполнение бетонных работ в самых сложноступенных местах (рис. 1, 2).

Бетононасосы, являясь высокотехнологичным оборудованием, требуют высокой квалификации бетонщиков, тщательного соблюдения технологического регламента, а также применения специально подобранных составов бетонных смесей (в зависимости от диаметра бетонопроводов, дальности, условий подачи смеси и других факторов) [11]. Сложность определения и учета производственных факторов, влияющих на свойства перекачиваемых смесей и показатели назначения бетона, обуславливают невозможность проектирования их состава по ГОСТ 27006–2019 и требуют индивидуального подбора.

Бетонные смеси, перекачиваемые бетононасосами, одновременно должны быть высокоподвижными и иметь повышенную связность и нерасслаиваемость. С целью обеспечения этого требования в составе бетонных смесей следует увеличивать долю тонкодисперсных частиц, а повышение водопотребности, обусловленное повышением их содержания, компенсировать введением высокоэффективных суперпластификаторов [12–14].

Современный рынок строительной химии широко представлен новыми группами добавок для бетонных смесей (суперпластификаторы, стабилизаторы, модификаторы вязкости, микроармирующие компоненты и др.). Их применению должны предшествовать всесторонние исследования влияния добавок на свойства смесей и бетона [15–17].

Цель настоящих исследований – оценить влияние суперпластификаторов на перекачиваемость бетонных смесей, в том числе и самоуплотняющихся, и физико-механические свойства бетона.

При выборе добавок для высокоподвижных и самоуплотняющихся смесей учитывались необходимость обеспечения высокой пластификации и доступность на строительном рынке Донского региона.

Для оценки влияния суперпластификаторов на основные характеристики бетонных смесей и бетонов использованы следующие добавки:

**торговой марки ТЕХНОНИКОЛЬ (1-я группа):**

Ready-Mix 103 (далее RM-103) – пластифицирующая добавка на основе химически модифицированных полиароматических спиртов;

Ready-Mix 221 (далее RM-221) – суперпластифицирующая добавка на основе полинафталинметилсульфоната натрия (ПНС) с уменьшенной дозировкой по сравнению с другими добавками на основе ПНС и увеличенным сроком сохранения подвижности бетонной смеси;

Ready-Mix 305 (далее RM-305) и Ready-Mix 325 (далее RM-325) – суперпластифицирующие добавки на основе композиции поликарбоксилатных эфиров для высокой пластификации смесей и быстрого набора прочности бетона;

**торговой марки BASF:**

MasterGlenium ACE430 (далее MG ACE430) – суперпластификатор на основе эфира поликарбоксилата с эффектом быстрого набора прочности бетона.

Бетонные смеси готовились с использованием бездобавочного портландцемента класса ЦЕМ I 42,5Н (АО «Бахчисарайский комбинат «Стройиндустрия») по ГОСТ 31108. Основные характеристики цемента представлены в табл. 1.

Таблица 1

Table 1

Основные характеристики цемента класса ЦЕМ I 42,5Н  
Main characteristics of cement of class CEM I 42.5N

Показатель, единица измерения	Величина
Прочность при сжатии в возрасте 28 сут, МПа	50,2
Прочность при сжатии в возрасте 2 сут, МПа	15,8
Истинная плотность, г/см <sup>3</sup>	3,15
Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	1120
Нормальная густота цементного теста, %	25
Удельная поверхность, см <sup>2</sup> /г	3510
Сроки схватывания, мин:	
– начало	170
– конец	260

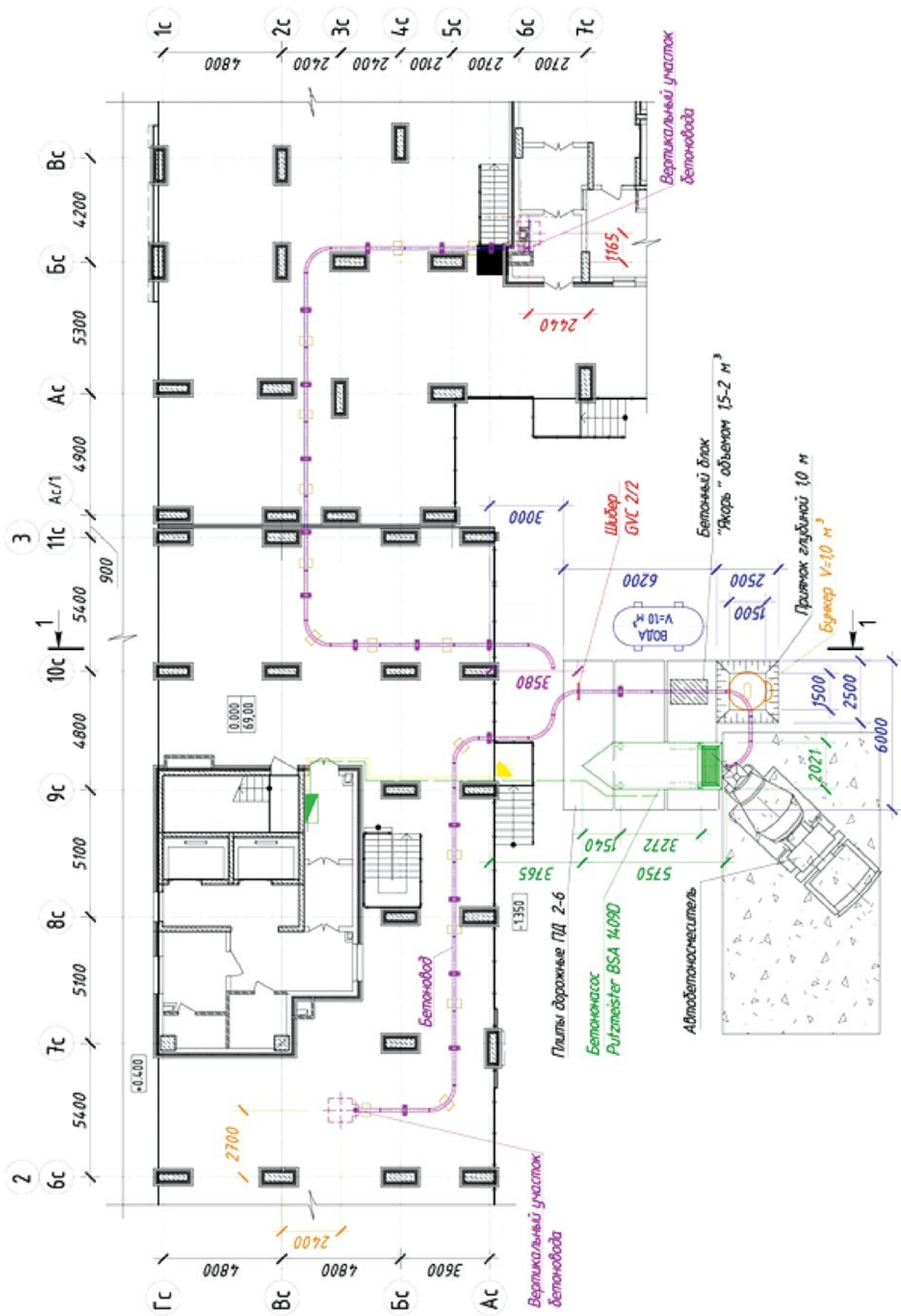


Рис. 1. Схема расположения бетононасоса и бетоноводов на 1-м этаже  
 Fig. 1. The layout of the concrete pump and concrete piping on the 1<sup>st</sup> floor



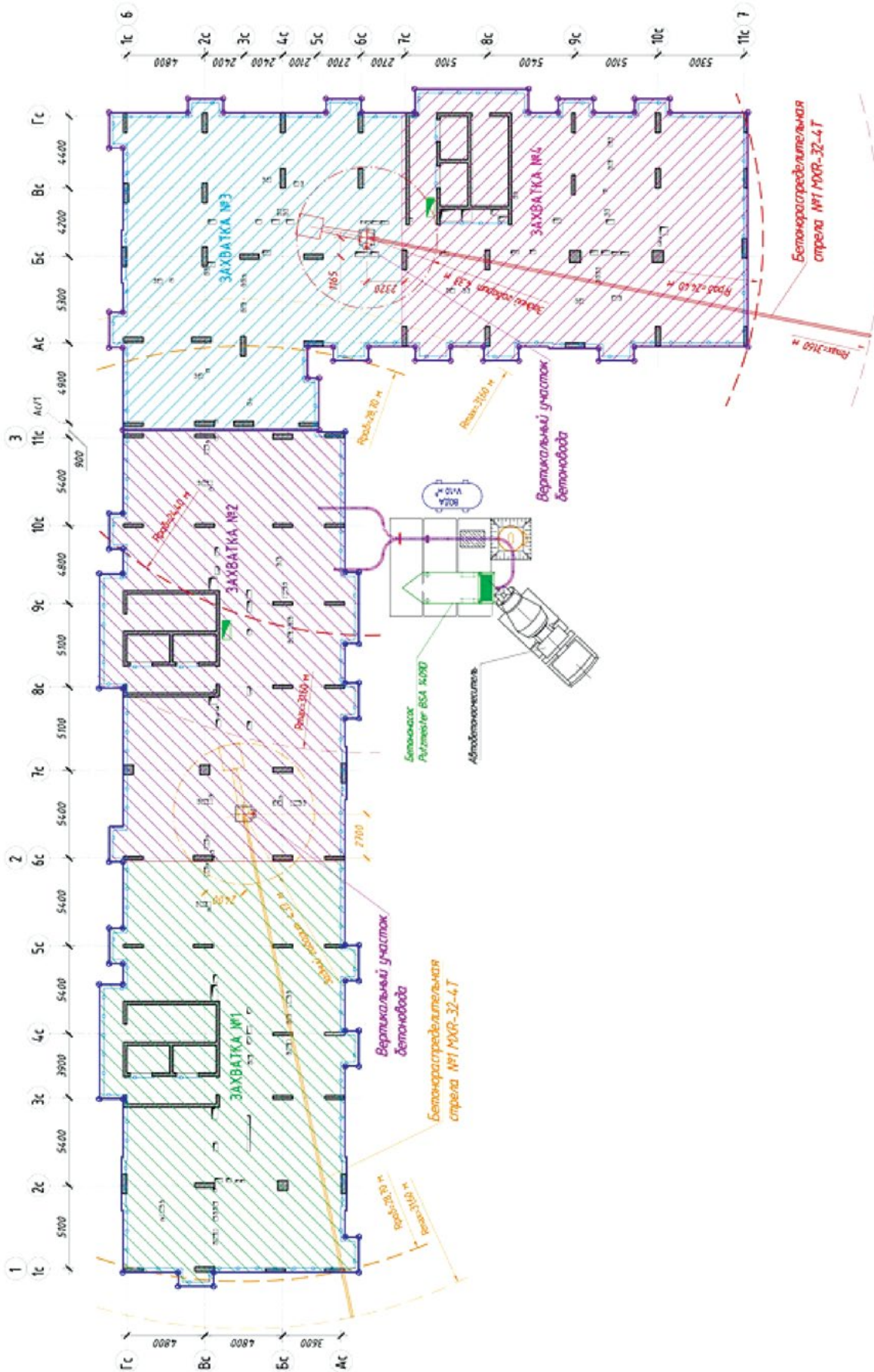


Рис. 2. Схема размещения бетонораспределительных стрел на монтажном горизонте  
 Fig. 2. Layout of concrete placement boom on the installation horizon

Таблица 2  
Table 2

Требования к материалам для перекачиваемой бетонной смеси  
Material requirements for the pumped concrete mixture

Наименование показателей, ед. измерения	Величина
Относительное водосодержание теста вяжущего $X_{\text{вяж}}$	1,2–2,4
Степень заполнения пустот в песке тестом вяжущего $X_{\text{п}}$	1,1–1,9
Степень заполнения пустот в крупном заполнителе раствором $X_{\text{щ}}$	1,2–1,9
Объем тонкодисперсных фракций, л/м <sup>3</sup>	170–200
Минимально допустимый расход вяжущего $\text{Вяз}_{\text{мин}}$ , кг/м <sup>3</sup>	300
Наибольшая крупность заполнителя НК, мм	20
Расход крупного заполнителя Щ, л/м <sup>3</sup>	≤340
Содержание мелкого заполнителя в смеси заполнителей П/(П+Щ)	0,4–0,7
Водовязующее отношение В/Вяз	0,5–0,55

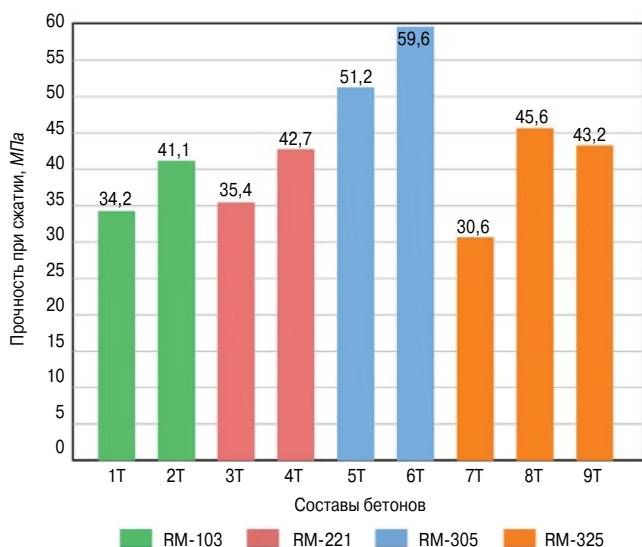


Рис. 3. Предел прочности при сжатии бетонов с добавками 1-й группы  
Fig. 3. The compressive strength of concrete with additives of the first group

В качестве минерального наполнителя для бетонных смесей применялась зола-уноса Новочеркасской ГРЭС. Химический состав золы, %: SiO<sub>2</sub> – 50,4; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 20,2, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 9,3, CaO – 6,7. По коэффициенту основности зола-уноса относится к ультракислым материалам ( $K_{\text{осн}} = -0,07$ ).

Для приготовления бетонных смесей в качестве заполнителей использованы:

- песок кварцевый природный карьера Красюковский, относящийся к группе очень мелких: модуль крупности 1,42, содержание пылевидных и глинистых частиц 1,1%, насыпная плотность 1445 кг/м<sup>3</sup>, межзерновая пустотность 46%;

- песок кварцевый природный карьера Самарский, относящийся к группе мелких: модуль крупности 1,61, насыпная плотность 1420 кг/м<sup>3</sup>, содержание пылевидных и глинистых частиц 1,3%, межзерновая пустотность 47%;

- щебень из гравия карьера Мостовской: наибольшая крупность 20 мм, насыпная плотность 1490 кг/м<sup>3</sup>, марка по дробимости 1000, содержание пылевидных и глинистых частиц 0,15%, межзерновая пустотность 44,6%;

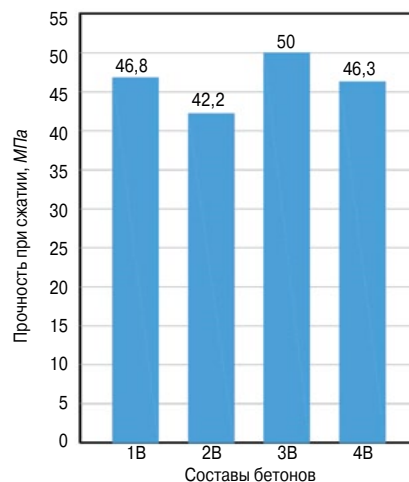


Рис. 4. Предел прочности при сжатии бетонов с добавкой MasterGlenium ACE430  
Fig. 4. The compressive strength of concrete with the addition of MasterGlenium ACE430

- щебень дробленый из гравия карьера Мостовской: наибольшая крупность 10 мм, марка по дробимости 1000, насыпная плотность 1470 кг/м<sup>3</sup>, содержание пылевидных и глинистых частиц 0,1%, межзерновая пустотность 45,3%.

Для обеспечения показателей перекачиваемости бетонных смесей используемые материалы должны отвечать ряду технических требований (табл. 2).

Показатели перекачиваемости – показатели концентрации составляющих материалов –  $X_{\text{вяж}}$ ,  $X_{\text{п}}$ ,  $X_{\text{щ}}$ :

$$X_{\text{вяж}} = \frac{В/Вяз}{K_{\text{НГ}}}; \quad (1)$$

$$X_{\text{п}} = \frac{V_m}{V_p \cdot \Pi_{\text{п}}}; \quad (2)$$

$$X_{\text{щ}} = \frac{V_p}{V_6 \cdot \Pi_{\text{щ}}}; \quad (3)$$

где В/Вяз – водовязующее отношение;  $K_{\text{НГ}}$  – коэффициент нормальной густоты цементного теста, относительные единицы;  $V_m$ ,  $V_p$ ,  $V_6$  – объемы теста вяжущего, растворной составляющей и бетонной смеси соответственно, л;  $\Pi_{\text{п}}$ ,  $\Pi_{\text{щ}}$  – межзерновая пустотность песка и щебня соответственно, отн. ед.

На первом этапе исследований установлено влияние суперпластификаторов 1-й группы на перекачиваемость бетонных смесей.

Равноподвижные смеси марки по удобоукладываемости П5 (осадка конуса 21–25 см) были приготовлены на песке карьера Красюковский и щебне из гравия смеси фракций 5–20 мм. Основные характеристики исследованных бетонных смесей приведены в табл. 3, а предел прочности при сжатии бетонов – на рис. 3.

Выполненные исследования показали, что суперпластификаторы RM-103 и RM-221 на основе полинафталинметилсульфоната натрия обеспечивают получение связных, нерасслаивающихся, высокоподвижных смесей. При увеличении их дозировки отмечены традиционные зависимости: снижение во-

Таблица 3  
Table 3Характеристики бетонных смесей с добавками 1-й группы  
Characteristics of concrete mixtures with additives of the first group

Состав	Вид добавки	Дозировка добавки, % Вяж	Расход вяжущего, кг/м <sup>3</sup>		В/Вяж	П/(П+Щ)	Показатели перекачиваемости		
			Цемент	Зола			Х <sub>вяж</sub>	Х <sub>п</sub>	Х <sub>щ</sub>
1Т	RM-103	1	343	–	0,66	0,39	2,64	1,19	1,34
2Т	RM-103	1,2	375	–	0,53	0,32	2,12	1,25	1,22
3Т	RM-221	1,2	352	–	0,61	0,39	2,42	1,16	1,34
4Т	RM-221	1,2	368	–	0,58	0,32	2,36	1,28	1,24
5Т	RM-305	1,1	408	–	0,46	0,35	1,84	1,22	1,25
6Т	RM-305	1,2	429	36	0,42	0,36	1,68	1,26	1,32
7Т	RM-325	1,2	345	–	0,66	0,39	2,64	1,19	1,36
8Т	RM-325	1,2	369	–	0,54	0,32	2,16	1,25	1,21
9Т	RM-325	1,4	363	36	0,52	0,36	2,08	1,23	1,31

Таблица 4  
Table 4Характеристики бетонных смесей с добавкой MG ACE430  
Characteristics of concrete mixes with the addition of MG ACE430

Состав	Дозировка добавки, % В	Дозировка наполнителя, % Вяж	Расход вяжущего, кг/м <sup>3</sup>		В/Вяж	П/(П+Щ)	Показатели перекачиваемости		
			Цемент	Зола			Х <sub>вяж</sub>	Х <sub>п</sub>	Х <sub>щ</sub>
1В	1,5	10	349	38	0,49	0,38	1,98	1,19	1,3
2В	1,4	13	355	54	0,52	0,50	2,08	1,09	1,53
3В	1,3	16	363	70	0,43	0,38	1,72	1,21	1,34
4В	1,2	16	367	71	0,46	0,38	1,84	1,23	1,38

допотребности смесей и повышение предела прочности при сжатии бетона.

Суперпластификаторы RM-305 и RM-325 на основе полимеров поликарбоксилатных эфиров также являются эффективными водоредуцирующими добавками. Их использование обеспечивает получение бетонных смесей, удовлетворяющих требованиям перекачиваемости бетононасосами. При оптимальной дозировке суперпластификатора даже увеличение объема тонкодисперсных фракций не приводит к увеличению водопотребности и позволяет получить бетон высокой прочности (состав 6Т).

Также установлено, что суперпластификаторы 1-й группы не обеспечивают растекаемости, необходимой для самоуплотняющихся смесей. Поэтому на втором этапе исследований использовался апробированный авторами суперпластификатор MasterGlenium ACE430 [16].

Оценка влияния суперпластификатора MG ACE430 на перекачиваемость бетонных смесей и основные свойства бетонов выполнена на самоуплотняющихся смесях марки по удобоукладываемости СУ1 (диаметр расплыва бетонного конуса 55–65 см) по СТО НОСТРОЙ 2.6.54–2011 (табл. 4). Бетонные смеси приготовлены на песке карьера Самарский и дробленом щебне фракции 5–10 мм. Дозировка суперпластификатора варьировалась от 1,2 до 1,5%, расход наполнителя – от 10 до 16%, доля песка в смеси заполнителей – от 0,38 до 0,5.

Характеристики бетонных смесей с добавкой MG ACE430 приведены в табл. 4, предел прочности при сжатии бетонов – на рис. 4.

Анализ полученных результатов показывает, что при увеличении объема теста вяжущего, достигнутого за счет увеличения степени наполнения цемента золой-уноса, обеспечивается высокая связность смеси и гарантируется ее способность к перекачиванию бетононасосом.

Для составов с одинаковой долей песка в смеси заполнителей повышение дозировки суперпластификатора MG ACE430 от 1,2 до 1,5% массы вяжущего незначительно влияет на изменение водопотребности бетонных смесей (составы 1В, 3В и 4В). В большей степени на изменение показателей перекачиваемости и характеристик бетона влияет увеличение содержания песка в смеси заполнителей. Повышение расхода мелкого заполнителя, обеспечивая высокую слитность и нерасслаиваемость смеси, неизбежно приводит к росту водопотребности и потере прочности бетона (состав 2В).

Результаты проведенных и ранее выполненных авторами исследований [11, 13, 14, 16] показывают, что при проектировании состава смесей, перекачиваемых с помощью бетононасоса, дополнительно необходимо:

- выбирать вид пластифицирующей добавки индивидуально для цемента конкретного вида;
- учитывать совместимость пластифицирующих добавок с минеральными составляющими бетонной смеси;
- подбирать оптимальный гранулометрический состав минеральной части смеси;
- определять оптимальный расход всех компонентов бетонной смеси.

**Список литературы**

1. Касторных Л.И. Прогрессивная технология изготовления сборного бетона и железобетона. *Строительные материалы, изделия и конструкции на рубеже веков: Межкафедральный сборник научных трудов*. Ростов н/Д: РГСУ, 1999. С. 18–20.
2. Колчеданцев Л.М., Волков С.В. Организационно-технологические решения по транспортированию бетонной смеси к месту бетонирования конструкций высотных зданий // *Жилищное строительство*. 2015. № 11. С. 21–26.
3. Османов С.Г., Манойленко А.Ю., Литовка В.В. Выбор вариантов механизации бетонных работ в монолитно-каркасном строительстве // *Инженерный вестник Дона*. 2019. № 1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5507](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5507).
4. Комаринский М.В., Онисковец Р.В., Остаркова О.А. Бетонирование густоармированных конструкций литыми смесями // *Строительство уникальных зданий и сооружений*. 2017. № 2 (53). С. 29–41.
5. Комаринский М.В., Червова Н.А. Транспорт бетонной смеси при строительстве уникальных зданий и сооружений // *Строительство уникальных зданий и сооружений*. 2015. № 1 (28). С. 6–31.
6. Колчеданцев Л.М., Осипенкова И.Г. Особенности организационно-технологических решений при возведении высотных зданий // *Жилищное строительство*. 2013. № 11. С. 17–19.
7. Мешерин В.С. Трехмерная печать с использованием бетона – научные разработки Дрезденского технического университета // *Промышленное и гражданское строительство*. 2018. № 8. С. 40–47. (На англ. яз.).
8. Славчева Г.С., Шведова М.А., Бабенко Д.С. Анализ и критериальная оценка реологического поведения смесей для строительной 3D-печати // *Строительные материалы*. 2018. № 12. С. 34–40. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-766-12-34-40>
9. Подуровский Н.И., Касторных Л.И. Трещиностойкость (вязкость разрушения) бетонов напорного формования на многокомпонентном вяжущем. *Прочность и долговечность строительных материалов: Сборник научных трудов аспирантов*. Ростов-н/Д: РГАС, 1994. С. 4–10.
10. Каклюгин А.В. Сравнительная оценка коррозии бетонов напорного формования. *Безвибрационные методы формования железобетонных изделий: Сборник научных трудов*. Ростов-н/Д: РГАС, 1992. С. 51–57.
11. Трищенко И.В., Касторных Л.И. Особенности проектирования состава дорожного бетона, укладываемого бетононасосами. *Железобетон, строительные материалы и технологии в третьем тысячелетии: Межкафедральный сборник научных трудов*. Ростов н/Д: РГСУ, 2001. С. 50–52.
12. Касторных Л.И., Трищенко И.В. Эффективность применения наполнителей и химических добавок в

**References**

1. Kastornykh L.I. Progressive production technology of precast concrete and reinforced concrete. *Building materials, products and structures at the turn of the century: Interdepartmental collection of scientific works*. Rostov-on-Don: RSUCE. 1999. pp. 18–20. (In Russian).
2. Kolchedancev L.M., Volkov S.V. Organizational-technological solutions for transporting concrete mix to place of concreting of high-rise buildings structures. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2015. No. 11, pp. 21–26. (In Russian).
3. Osmanov S.G., Manojlenko A.YU., Litovka V.V. Choice of options for mechanization of concrete works in monolithic-frame construction. *Inzhenernyi vestnik Dona*. 2019. No. 1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5507/](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5507/). (In Russian).
4. Komarinskij M.V., Oniskovec R.V., Ostarkova O.A. Concreting of densely reinforced structures with cast mixtures. *Stroitel'stvo unikal'nyh zdaniy i sooruzheniy*. 2017. No. 2 (53), pp. 29–41. (In Russian).
5. Komarinskiy M.V., Chervova N.A. Transportation of concrete mix in the construction of unique buildings and structures. *Stroitel'stvo unikal'nyh zdaniy i sooruzheniy*. 2015. No. 1 (28), pp. 6–31. (In Russian).
6. Kolchedancev L.M., Osipenkova I.G. Features of organizational and technological decisions in the course of construction of high-rise buildings. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2013. No. 11, pp. 17–19. (In Russian).
7. Meshcherin V.S. Three-dimensional printing using concrete-scientific developments of the Dresden technical University. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2018. No. 8, pp. 40–47.
8. Slavcheva G.S., Shvedova M.A., Babenko D.S. Analysis and criteria assessment of rheological behavior of mixes for construction 3-D printing. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 12, pp. 34–40. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-766-12-34-40> (In Russian).
9. Podurovskiy N.I., Kastornykh L.I. Crack resistance (fracture toughness) of pressure-formed concretes on a multicomponent binder. *Strength and durability of building materials: a Collection of scientific papers of graduate students*. Rostov-on-Don: RSAC. 1994, pp. 4–10. (In Russian).
10. Kaklyugin A.V. Comparative assessment of pressure-forming concrete corrosion. *Vibration-free methods of forming reinforced concrete products: a Collection of scientific papers*. Rostov-on-Don: RSAC. 1992. pp. 51–57. (In Russian).
11. Trishchenko I.V., Kastornykh L.I. Design features of road concrete composition laid by concrete pumps. *Reinforced concrete, building materials and technologies in the third Millennium: an Interdepartmental collection of scientific papers*. Rostov-on-Don: RSUCE. 2001, pp. 50–52. (In Russian).
12. Kastornykh L.I., Trishchenko I.V. Efficiency of application of fillers and chemical additives in concrete of

- бетоны напорного формования. *Безвибрационные методы формования железобетонных изделий: Сборник научных трудов*. Ростов-н/Д: РГАС, 1992. С. 43–51.
13. Касторных Л.И., Ткаченко Г.А., Редько А.С., Форопонов К.С. Бетонные смеси для укладки бетононасосами. *Строительство-2008: Материалы международной научно-практической конференции*. Ростов н/Д: РГСУ, 2008. С. 24–25.
  14. Касторных Л.И., Гикало М.А. Роль добавок в бетонных смесях, укладываемых бетононасосами. *Строительство-2009: Материалы юбилейной Международной научно-практической конференции*. Ростов н/Д: РГСУ, 2009. С. 31.
  15. Ватин Н.И., Барабаншиков Ю.Г., Комаринский М.В., Смирнов С.И. Модификация литой бетонной смеси воздухововлекающей добавкой // *Инженерно-строительный журнал*. 2015. № 4 (56). С. 3–10. DOI: 10.5862/MCE.56.1
  16. Касторных Л.И., Скиба В.П., Елсуфьев А.Е. Об эффективности использования модификатора вязкости в самоуплотняющихся бетонах // *Инженерный вестник Дона*. 2017. № 3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2017/4346](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2017/4346).
  17. Касторных Л.И., Измалков Д.В. Микроармирование высокоподвижных смесей для бетононасосной технологии. *Перспективы развития строительного материаловедения: Материалы международной научно-практической конференции*. Челябинск, 2013. С. 134–137.
- pressure forming. *Vibration-free methods of forming reinforced concrete products: a Collection of scientific papers*. Rostov-on-Don: RSAC. 1992. pp. 43–51. (In Russian).
13. Kastornykh L.I., Tkachenko G.A., Red'ko A.S., Foroponov K.S. Concrete mixes for laying by concrete pumps. *Construction-2008: Proceedings of the international scientific and practical conference*. Rostov-on-Don: RSUCE. 2008. pp. 24–25. (In Russian).
  14. Kastornykh L.I., Gikalo M.A. The role of additives in concrete mixtures laid by concrete pumps. *Construction-2009: Materials of the jubilee international scientific and practical conference*. Rostov-on-Don: RSUCE. 2009. p. 31. (In Russian).
  15. Vatin N.I., Barabanshchikov Yu.G., Komarinский M.V., Smirnov S.I. Modification of the cast concrete mixture by airentaining agents. *Magazine of Civil Engineering*. 2015. No. 4 (56), pp. 3–10. DOI: 10.5862/MCE.56.1. (In Russian).
  16. Kastornykh L.I., Skiba V.P., Elsuf'ev A.E. The effectiveness of the use of the viscosity modifier in selfcompacting concrete. *Inzhenernyi vestnik Dona*. 2017. No. 3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2017/4346/](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2017/4346/). (In Russian).
  17. Kastornykh L.I., Izmailkov D.V. Microreinforcement of highly mobile mixtures for concrete pumping technology. *Prospects of development of building materials science: materials of the international scientific and practical conference*. Chelyabinsk. 2013, pp. 134–137. (In Russian).



**FORUM  
& EXPO**

Международный форум  
и выставка высотного  
и уникального строительства

6-8 октября 2020 | Екатеринбург | [forum-100.ru](http://forum-100.ru)

# SANSIRI инвестирует в высокотехнологичные кассетные формы компании TECNOCOM

## SANSIRI invests in sophisticated battery mould technology by TECNOCOM

Компания **Sansiri Public Co. Ltd** (г. Бангкок, Таиланд) более тридцати лет занимается строительством нежилых и жилых объектов и успешно осуществила сотни проектов в Таиланде. Благодаря этому опыту **Sansiri** приобрела в этой стране репутацию одного из ведущих застройщиков, который возводит жилые дома малой, средней этажности и высотные здания высокого качества. Для строительства и реализации высококачественных проектов жилищного строительства в оптимизированные сроки в сочетании с минимальным использованием ресурсов **Sansiri** использует современную технологию сборного железобетона на заводе в Лам-Лук-Ка (провинция, Патхум Тани, Таиланд). Инвестируя в новые кассетные формы, **Sansiri** повышает эффективность и производительность завода, а также расширяет ассортимент продукции и универсальность конструкции.



Г-н Phusak Yuthayanont, заместитель вице-президента по проектированию и логистике завода сборного железобетона, очень доволен производством изделий в новых кассетных формах

**Sansiri Public Co. Ltd, based in Bangkok, Thailand, can look back on more than three decades of experience in the field of construction projects and real estate development and has successfully delivered hundreds of projects all over Thailand. With this experience, Sansiri has gained a reputation as one of the leading real estate developers in Thailand for quality housing, offering single houses, attached houses and high-rise buildings. To construct and deliver high-end quality housing projects and keeping focused continuously on optimized time schedules in combination with minimized usage of resources Sansiri is using state of the art precast concrete technology in their precast concrete factory in Lam Lukka. By investing in the new battery mould Technology Sansiri is increasing the efficiency and productivity of the factory and also widening the range of products and design flexibility.**

Кассетные формы были спроектированы, изготовлены и введены в эксплуатацию компанией **tecnocom**, одной из семи компаний группы **PROGRESS**, ведущей группы поставщиков сборных технологий в мире.

**Sansiri** инвестировала в две индивидуально разработанные кассетные формы компании **tecnocom**. Каждая кассетная форма оснащена двадцатью формовочными отсеками (10+10). Одна форма размером 6×2,85 м предназначена для производства перегородок, а вторая форма размером 4×1,5 м – для производства элементов ограждений. Благодаря универсальности базовой системы опалубки **Sansiri** может изготавливать сборные железобетонные элементы разных размеров, толщины, а также разных моделей.

Кассетные формы фирмы **tecnocom** обеспечивают высочайшую производительность и качество благодаря использованию специальных высокочастотных вибраторов, уста-

новленных на каждом формовочном отсеке для оптимального уплотнения бетона. Эта технология уплотнения позволяет изготавливать сборные железобетонные элементы с очень высокой степенью качества поверхности.

Производство элементов в кассетных формах компании **tecnocom** поддерживается сеткосварочной установкой **BlueMesh M-System** компании **Progress Maschinen & Automation AG** (одной из семи компаний группы **PROGRESS**), которая изготавливает арматурную сетку по индивидуальному заказу для каждого сборного элемента, произведенного в кассетной форме, а также линией циркуляции паллет, поставленной компанией **EBAWE Anlagentechnik GmbH** (одной из семи компаний группы **PROGRESS**). Сварочная установка спроектирована как универсальная производственная единица для изготовления на заказ арматурной сетки из бухтовой арматуры. Комбинация этих машин и оборудования привела к значительной экономии трудовых ресурсов и сырья.



Благодаря успешной реализации сотен проектов в сфере недвижимости компания Sansiri стала одним из ведущих застройщиков Таиланда

Для повышения уже существующих высококачественных производственных стандартов компания **Sansiri** дополнительно инвестировала в индивидуальную магнитную опалубочную систему, разработанную фирмой **tecnocom** специально для кассетных форм компании **Sansiri**. Эта настраиваемая магнитная система позволяет **Sansiri** выполнять опалубочные работы с высочайшей точностью в минимальные сроки.

Ежедневно с завода в Лам-Лук-Ка отправляются грузовые автомобили, загруженные сборными железобетонными элементами для строящихся объектов компании **Sansiri** в большей части Бангкока. Изготовленные в кассетных формах элементы используются как перегородки в различных специализированных проектах кондоминиумов, а элементы ограждения можно найти во всех проектах компании **Sansiri**.

Эта история успеха основана на профессиональном и доверительном партнерстве между компанией **Sansiri** и группой **PROGRESS**. Фирма **tecnocom** предоставила услуги для беспрепятственного и профессионального внедрения кассетных



Благодаря новым кассетным формам компания Sansiri производит перегородки и ограждения

форм, начиная с консультации экспертов на этапе проектирования и принятия решений, заканчивая очень прозрачной деятельностью по производству, доставке и установке форм и, наконец, предоставив команду из трех специалистов на завод компании **Sansiri** для обучения персонала работе с кассетными формами на рабочем месте.



Sansiri Public Company Limited  
16th Fl. Siripinyo Bldg.  
475 Sri Ayutthaya Rd.,  
Rajthevi, Bangkok 10400 Thailand  
Tel.: + 66(0)2 201 3999  
Fax: + 66(0)2 201 3905



Tecnocom S.p.A.  
Via Antonio Zanussi 305  
I-33100 Udine



## Масштабная модернизация производственных площадок Первого ДСК обеспечивает уникальность индустриальных домов

**Large-scale modernization of the production sites of the DSK-1 ensures the uniqueness of industrial houses**

Уже более 50 лет Первый ДСК выпускает индустриальные дома. Самые первые серии комбината — К7, а в настоящее время — усовершенствованные серии домов, в том числе, по индивидуальным проектам с разнообразной квартирографией по желанию заказчика. Это стало возможным благодаря масштабной модернизации производственных площадок, одной из которых является Ростокинский завод ЖБК.

For over 50 years, the DSK-1 produces industrial houses. The very first series of the plant — K7, and now — improved series of houses, including individual projects with a variety of apartment layouts at the request of the customer. This was made possible by the large-scale modernization of production sites, one of which is the Rostokinsky ZHBK plant.

В рамках программы развития производства Первый ДСК приступил к внедрению на Ростокинском заводе ЖБК новой линии компании EBAWE – ведущего мирового поставщика технологий и оборудования для производства изделий из сборного железобетона. Первые автомашины с оборудованием прибыли из Германии на Ростокинский завод ЖБК в декабре 2019 г. Укомплектованы все линии формовочного цеха № 2 и полным ходом ведется монтаж. Также в марте 2020 г. стартовали поставки оборудования для формовочного цеха № 1. Арматурное оборудование прибудет на завод в апреле 2020 г.

С запуском новых линий Ростокинский завод ЖБК начнет производить индивидуальные сборные железобетонные кон-

струкции. Применение таких панелей в индустриальном домостроении позволит Первому ДСК увеличить не только скорость строительства, но и сократить трудозатраты.

Ростокинский завод ЖБК должен стать одним из самых современных предприятий по выпуску железобетонных изделий в Москве. По словам зам. генерального директора по перспективному развитию Комбината Д.А. Капырина, высокотехнологичное оборудование и современные гибкие технологии позволят существенно расширить ассортимент выпускаемой продукции и реализовать в индустриальном домостроении индивидуальные архитектурно-планировочные решения жилых домов.





Одним из значимых событий в 2019 г. стало успешное сотрудничество с Правительством Москвы, благодаря которому проекту модернизации «ДСК1-Ростокино» присвоен особый статус и заключен Специальный инвестиционный контракт (СПИК). Компания, как активно развивающееся предприятие столицы, получит дополнительные льготы и преференции в обмен на инвестиции.

Дома «ДСК-1» всегда отличались новаторскими решениями. В недавнем прошлом возводились дома 44-й серии с облицовкой под кирпич, новыми эркерами и черепичными крышами. Они были яркими и необычными. Но рынок стремительно развивался, появился спрос на другую продукцию. Проектировщики Первого ДСК начали разработку новых серий, но успевать за спросом становилось все сложнее. Рынок стал формироваться за счет городских программ и заказов инвестиционных компаний, которые хотели за свои деньги, на своей земле строить жилые комплексы с заданными параметрами.

В данный момент строительный бизнес нуждается в проектах домов, которые будут востребованы рынком. Наступил переломный момент, выведший Первый ДСК на новый уровень. Это привело к реорганизации и модернизации. Подход к ним был тщательно продуман с первых шагов. На начальной стадии определили завод, который необходимо модернизировать с учетом его месторасположения и площади. Позже произошло перераспределение номенклатуры по предприятиям для равномерной загрузки.

Возводимые Первым ДСК дома – это продукты внутренней кооперации и еще более глубокой специализации каждого предприятия. Например, Хорошевский завод традиционно занимается производством сантехкабин – готовых облицованных гипсобетонных конструкций, с ванными, туалетами, сантехниккой и электропроводкой, которые остается только установить в строящемся доме. Другой завод, Тушинский, производит плиты перекрытия, внутренние стеновые панели, лестничные марши. У него узкая специализация, но зато он выпускает изделия высочайшего качества. За внешние стеновые панели, которые являются лицом любого дома, отвечает Краснопресненский завод, имеющий свои технологии производства.

Модернизируемый в настоящее время Ростокинский завод ЖБК стал базой для создания нового предприятия, работающего по индивидуальным проектам с использованием гибких технологий. Образно говоря, речь идет о возможности выпустить индивидуальный дом в виде элементов, которые остается просто собрать на строительной площадке. Такие задачи в настоящее время решает Новохоловский завод («ДСК Прогресс»), который обладает современными технологическими линиями.

Модернизация Ростокинского завода ЖБК позволит уйти от серийного производства и прийти к гибкому проектированию. Любой индустриальный дом выигрывает в сравнении с монолитным за счет сроков возведения, высокой заводской готовности и прозрачной себестоимости. Все дома строятся по индивидуальному проекту, но есть типичные или повторяющиеся узлы и изделия. Готовые стеновые конструкции, так же как и упомянутые объемные сантехкабины, существенно сокращают время строительства. Для монтажа «коробки» дома стандартной этажности – 17 этажей и 3 секции – требуется менее трех месяцев, после чего начинаются внутренние и фасадные работы. Всего же для возведения такого дома необходимо менее 12 месяцев вместо 18 для возведения аналогичного монолита. При этом внешне их отличить невозможно.

Другой плюс: на строителей не оказывают существенного влияния погодные факторы, если сравнивать с возведением монолитного дома. Благодаря этому строительство дома укладывается в календарный год, снижается себестоимость строительства не менее чем на 10%.

Первый удачный опыт замены монолитного дома на современный индустриальный реализован в UP-квартале «Сколковский». В будущем специалисты Первого ДСК собираются изменить образ панельных домов устаревших серий, оставив при этом высокую степень заводской готовности. Для этого необходимо решить ряд задач, связанных с архитектурой, конструктивными решениями, долговечностью отделки. Эти и многие другие проблемы по созданию новых современных домов стоят сейчас перед коллективом Первого ДСК.



Л.Н. ТАЛИПОВ, инженер (аспирант) (nakifulu@mail.ru), Е.Г. ВЕЛИЧКО, д-р техн. наук (pct44@yandex.ru), С.И. ТЕМБУЛАТОВ, магистр

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

## Влияние полимерных поверхностно-активных веществ на коррозию стальной арматуры в бетоне в составе комплексной антикоррозионной добавки

Коррозия стальной арматуры в бетоне под воздействием агрессивных сред приносит колоссальные убытки во всем мире, в связи с чем разработка методов пассивации арматурной стали – достаточно актуальная задача. Один из таких методов – это применение комплексных антикоррозионных добавок в составе бетонной смеси. Как компонент таких добавок особый интерес представляют полимерные поверхностно-активные вещества из-за программируемости их свойств, тем более что география и спектр их применения расширяются. Для оценки возможности применения полимерных ПАВ как компонентов комплексной антикоррозионной добавки для стального стержня моделировались образцы бетона с хлоридной коррозионной средой. Чтобы полимер дольше оставался в жидкой фазе, добавляли более активный по своим адсорбирующим характеристикам нафталинформальдегидный ПАВ. В итоге 6 из 13 исследованных полимеров в составе комплексной антикоррозионной добавки показали защитную способность 100%, остальные 7 – от 96,46 до 99,9%. На основании полученных результатов выдвинуто предположение, что полимеры поликарбоксилатов оказывают пассивирующее действие в условиях агрессивных сред, вероятнее всего по адсорбционно-пленочному механизму. Таким образом, созданы предпосылки для дальнейшего изучения принципа защитного действия комплексных антикоррозионных добавок на основе полимерных поверхностно-активных веществ и пассиватора.

**Ключевые слова:** железобетон, коррозия, арматура, полимер, пассивация, пластификаторы.

**Для цитирования:** Талипов Л.Н., Величко Е.Г., Тембулатов С.И. Влияние полимерных поверхностно-активных веществ на коррозию стальной арматуры в бетоне в составе комплексной антикоррозионной добавки // *Строительные материалы*. 2020. № 3. С. 16–21. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-779-3-16-21>

L.N. TALIPOV, Engineer (nakifulu@mail.ru), E.G. VELICHKO, Doctor of Sciences (Engineering) (pct44@yandex.ru), S.I. TEMBULATOV, Master National Research Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslavskoe Highway, Moscow, 129337, Russian Federation)

### Influence of Polymer Surfactants on the Corrosion of Steel Reinforcement in Concrete as Part of a Complex Anti-Corrosion Additive

Corrosion of steel reinforcement in concrete under the influence of aggressive environments brings huge losses all over the world. In this connection the development of methods for passivation of reinforcing steel is quite an urgent task. One of these methods is the use of complex anti-corrosion additives in the concrete mix. As a component of such additives, polymer surfactants are of particular interest because of their programmable properties, especially since the geography and range of their application are expanding. To assess the possibility of using polymer surfactants as components of a complex anti corrosion additive for a steel rod, samples of concrete with a chloride corrosion medium were modeled. To keep the polymer in the liquid phase longer, a naphthalene formaldehyde surfactant was added that was more active in its adsorbing characteristics. The result was that 6 of the 13 studied polymers in the complex anticorrosion additive showed a protective ability of 100%, the remaining 7 – from 96.46 to 99.9%. Based on the results obtained, it was found that polycarboxylate polymers have a passivating effect under aggressive medium-term probability by the adsorption-film mechanism. Thus, the prerequisites were created for further study of the principle of the protective effect of complex anti-corrosion additives based on polymer surfactants and a passivator.

**Keywords:** corrosion, fittings, polymer, passivation, plasticizers.

**For citation:** Talipov L.N., Velichko E.G., Tembulatov S.I. Influence of polymer surfactants on the corrosion of steel reinforcement in concrete as part of a complex anti-corrosion additive. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2020. No. 3, pp. 16–21. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-779-3-16-21>

Железобетонные конструкции эксплуатируются в различных климатических регионах: это – районы, подверженные периодическим перепадам температуры; морские районы, в атмосфере которых содержатся соли – активаторы коррозии металлов; промышленные районы с повышенной влажностью и агрессивными по отношению к бетону и арматурной стали ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$  и др.) компонентами воздуха; районы с продолжительным периодом снежного покрова, где применяются химические антигололедные материалы. В таких условиях стальная арматура железобетонных конструкций подвергается агрессивному воздей-

ствию среды и начинает интенсивно корродировать интенсивно, что приводит в лучшем случае к дорогостоящему ремонту или реконструкции, в худшем же может привести к локальному или прогрессирующему разрушению. Например, лишь в 1993 г. в США на ремонт железобетонных мостов только от воздействия хлоридов было затрачено 20 млрд дол. [1]. В Российской Федерации ущерб оценивается порядка 20–25 млрд р. ежегодно [2]. Основной причиной обрушения автомобильного моста в Генуе (Италия) в августе 2018 г. называют коррозию стальной арматуры железобетонного ванта. Поэтому отсрочка момента активации кор-

Таблица 1  
Table 1Минеральный состав клинкера, %  
Mineral composition of clinker, %

C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF
62,7±3	12,6±2,2	8,2±1,3	12,7±0,6

розии стальной арматуры в бетонных конструкциях от воздействия агрессивных сред является одной из приоритетных задач.

Комплексные антикоррозионные добавки в составе бетонной смеси способны сохранять арматурную сталь в пассивном состоянии внутри бетона в присутствии активирующих коррозию ионов. Существует множество таких добавок, но лучший эффект достигается при комбинировании в составе комплекса пассивирующих и поверхностно-активных веществ [3–5]. Спектр поверхностно-активных веществ достаточно широк; особый интерес вызывают добавки, основанные на эфирах поликарбоксилатов и полиакрилатов. У таких полимерных добавок можно регулировать свойства. Внутри группы отличая и зависят от сырьевой основы; метода синтеза молекул; структуры молекул, включающую отношение карбоксилата к сложному эфиру; длины боковых и главных цепей, конформацию, форму, полидисперсность и другие характеристики [6, 7].

Была исследована возможность применения полимерных поверхностно-активных веществ в составе комплексной антикоррозионной добавки (КАД) с нитритом натрия. В качестве образцов использовали 13 разных коммерческих суперпластификаторов для бетонной смеси. По качественным признакам было сделано предположение о формировании пассивирующей пленки на поверхности арматуры и, следовательно, о наличии синергического эффекта.

### Методы

По данным исследований [3, 8, 9], защитная способность от влияния нитрита натрия оценивается в среднем до 80%. Вводя дополнительно к нитриту натрия полимерное ПАВ, необходимо достичь полного отсутствия коррозии и соответственно синергического эффекта. Это возможно, если достаточное количество полимера будет адсорбироваться на поверхности арматуры. Ставилась задача минимизировать поглощение молекул полимера гидратирующим цементом. Для этого в состав для всех КАД дополнительно вводили нафталинсульфонатный суперпластификатор (С-3) российского производства. Молекулы С-3 имеют в структуре анионоактивные сульфитные группы  $SO_3^{2-}$ , электроотрицательность которых выше, чем у карбоксильных групп  $COO^-$ , соответственно адсорбция С-3 на гидратных новообразованиях бетонной смеси происходит активнее. Адсорбционная

способность обусловлена хемосорбцией молекул, вступающих во взаимодействие с минералами клинкера, образуя прочные органоминеральные фазы с ковалентными связями. Энергия связи одной функциональной группы С-3 с минералами клинкера выше энергии связи полимерных суперпластификаторов [10]. По результатам исследований [8, 11], десорбция С-3, находящегося в такой связи с поверхностными минералами частиц клинкера, не превышает 5%. Исследования адсорбции С-3 на различных материалах показывают, что поглощение цементом возрастает до определенного предела пропорционально его содержанию. Содержание нафталинсульфоната в количестве 0,9–1% от массы вяжущего соответствует образованию на поверхности частиц цемента и гидратных фаз мономолекулярного адсорбционного слоя, значительно зависящего от минерального состава клинкерного компонента. Дальнейшее увеличение содержания суперпластификатора ведет к образованию полимолекулярного адсорбционного слоя и снижению скорости адсорбции [8]. С целью образования на поверхности частиц цемента относительно стабильного полимолекулярного слоя наиболее активного суперпластификатора его содержание в исследованиях было принято равным 2,1% массы цемента, при котором очевидно обеспечивалось полное вытеснение в жидкую фазу менее активного полимерного ПАВ.

Для определения возможности применения полимерных компонентов совместно с нитритом натрия в составе КАД моделировались условия, приближенные к условиям хлоридной коррозии. Проектировался бетон класса В25 по прочности при сжатии в соответствии с ГОСТ 25192–2012 «Бетоны. Классификация и общие технические требования» и маркой по удобоукладываемости П4 по ГОСТ 7473–2010 «Смеси бетонные. Технические условия». Приготовленные бетонные смеси укладывали и уплотняли в формах размерами 4×4×16 см с установкой гладкой стальной арматуры, отполированной до металлического блеска с обезжириванием, диаметром 5 мм класса А240 Ст3сп. Твердение образцов осуществлялось в нормальных условиях в течение 28 сут. Затем в

Таблица 2  
Table 2Химический состав клинкера, %.  
The chemical composition of clinker, %.

Оксид кальция	Оксид кремния	Оксид алюминия	Оксид железа (III)	Оксид магния	Оксид серы (IV)	Щелочные оксиды (в пересчете на Na <sub>2</sub> O)
65,46±0,34	20,87±0,55	5,81±0,47	4,26±0,28	1,78±0,36	0,76±0,53	0,66±0,06

Таблица 3  
Table 3

Состав бетонных смесей  
Composition of concrete mixes

№	Наименование	Содержание							
		добавка, % от массы цемента				количество материалов на 1 м <sup>3</sup> бетона, кг			
		PCE	суперпластификатор C-3 сух	нитрит натрия (NaNO <sub>2</sub> )	хлорид кальция (CaCl <sub>2</sub> )	цемент	песок	щебень	вода
1	–	–	–	–	2,35	382	516	1265	215
2	–	–	–	2	2,35				
3	–	–	2,1	2	2,35	276	585	1265	155
4A	PCE <sub>1(ж)</sub>	0,5	2,1	2	2,35				
4B		1,1	2,1	2	2,35				
5A	PCE <sub>2(ж)</sub>	0,5	2,1	2	2,35				
5B		1	2,1	2	2,35				
6A	PCE <sub>3(ж)</sub>	0,6	2,1	2	2,35				
6B		1,1	2,1	2	2,35				
7A	PCE <sub>4(ж)</sub>	0,4	2,1	2	2,35				
7B		1,1	2,1	2	2,35				
8A	PCE <sub>5(ж)</sub>	0,3	2,1	2	2,35				
8B		0,8	2,1	2	2,35				
9A	PCE <sub>6(ж)</sub>	0,5	2,1	2	2,35				
9B		1,3	2,1	2	2,35				
10A	PCE <sub>7(ж)</sub>	0,5	2,1	2	2,35				
10B		1,3	2,1	2	2,35				
11A	PA <sub>(ж)</sub>	0,8	2,1	2	2,35				
11B		1,1	2,1	2	2,35				
12	PCE <sub>8(с)</sub>	0,2	2,1	2	2,35				
13	PCE <sub>9(с)</sub>	0,3	2,1	2	2,35				
14	PCE <sub>10(ж)</sub>	1,5	2,1	2	2,35				
15	PCE <sub>11(ж)</sub>	1,5	2,1	2	2,35				
16	PCE <sub>12(ж)</sub>	1,5	2,1	2	2,35				

Примечание: (ж) и (с) – полимеры в жидком и сухом виде соответственно.

течение шести месяцев образцы подвергали попеременному увлажнению в питьевой воде и высушиванию, вскрывали и визуально оценивали площадь арматуры, пораженной коррозией, а также ее характер. Для каждого состава и комбинации добавок изготавливали по три серии образцов.

Для приготовления бетона в качестве вяжущего применяли портландцемент марки ПЦ400 (ЦЕМ II А-Ш 32.5Б) «Михайловцемент», минеральный и химический состав цементного клинкера которого представлен соответственно в табл. 1 и 2. Крупный заполнитель для бетона – щебень фракции 5–20 мм, промытый проточной водой и высушенный перед замесом, мелкий – песок строительный средней крупности, вода водопроводная.

Активация коррозии осуществлялась применением CaCl<sub>2</sub>, вводимого в бетонную смесь с водой

затворения в процессе ее приготовления. При введении хлорида кальция с водой затворения ионы хлора частично связываются, поэтому ставилась задача по определению такого его содержания, при котором арматура в бетоне при использовании вышеозначенных материалов будет корродировать. В работах [12–14] указывается на различные факторы возникновения хлоридной коррозии, в том числе в зависимости от минерального и химического состава клинкера, от количества введенных хлоридов, от физически и химически связанных хлоридов, процесса перехода хлоридов от одной формы связи к другой, от условия твердения и др. В работе [13] отмечается также, что для алитового высокоалюминатного портландцемента при В/Ц=0,5 максимальное содержание ионов Cl<sup>-</sup>, при котором стальная арматура не будет подвергаться

Таблица 4  
Table 4

Результаты оценки защитной способности добавок  
Additive protective performance assessment results

№	Состав добавки	Относительная площадь корродирующих участков, %	Защитная способность Z, %
1	Без добавок	27,71	72,29
2	(NaNO <sub>2</sub> )	27,02	72,98
3	(C-3)+(NaNO <sub>2</sub> )	5	95
4A	(C-3)+(NaNO <sub>2</sub> )+(PCE <sub>1</sub> )	0,1	99,9
4B	(C-3)+(NaNO <sub>2</sub> )+(PCE <sub>1</sub> )	3,45	96,55
5A	(C-3)+(NaNO <sub>2</sub> )+(PCE <sub>2</sub> )	0	100
5B	(C-3)+(NaNO <sub>2</sub> )+(PCE <sub>2</sub> )	0	100
6A	(C-3)+(NaNO <sub>2</sub> )+(PCE <sub>3</sub> )	0	100
6B	(C-3)+(NaNO <sub>2</sub> )+(PCE <sub>3</sub> )	0	100
7A	(C-3)+(NaNO <sub>2</sub> )+(PCE <sub>4</sub> )	0	100
7B	(C-3)+(NaNO <sub>2</sub> )+(PCE <sub>4</sub> )	2,05	97,95
8A	(C-3)+(NaNO <sub>2</sub> )+(PCE <sub>5</sub> )	0,23	99,77
8B	(C-3)+(NaNO <sub>2</sub> )+(PCE <sub>5</sub> )	0	100
9A	(C-3)+(NaNO <sub>2</sub> )+(PCE <sub>6</sub> )	0	100
9B	(C-3)+(NaNO <sub>2</sub> )+(PCE <sub>6</sub> )	0	100
10A	(C-3)+(NaNO <sub>2</sub> )+(PCE <sub>7</sub> )	0	100
10B	(C-3)+(NaNO <sub>2</sub> )+(PCE <sub>7</sub> )	0	100
11A	(C-3)+(NaNO <sub>2</sub> )+(PCE <sub>8</sub> )	0	100
11B	(C-3)+(NaNO <sub>2</sub> )+(PCE <sub>8</sub> )	0,1	99,9
12	(C-3)+(NaNO <sub>2</sub> )+(PCE <sub>9</sub> )	0,1	99,9
13	(C-3)+(NaNO <sub>2</sub> )+(PCE <sub>10</sub> )	1,86	98,14
14	(C-3)+(NaNO <sub>2</sub> )+(PCE <sub>11</sub> )	3,54	96,46
15	(C-3)+(NaNO <sub>2</sub> )+(PCE <sub>12</sub> )	2,48	97,52
16	(C-3)+(NaNO <sub>2</sub> )+(PCE <sub>13</sub> )	0	100

коррозии, составляет 1,29%, а при В/Ц=0,6–0,64% массы цемента.

Для исследованных составов (В/Ц≈0,56, табл. 3) и интерполируя между значениями В/Ц=0,5 и 0,6, установлено, что для алитового высокоалюминатного портландцемента максимальное содержание ионов Cl<sup>-</sup>, при котором не наблюдается коррозии стальной арматуры, составляет 0,9% от массы цемента. Количество вводимых ионов Cl<sup>-</sup> принималось равным 1,504%, что соответствует 2,35% массы цемента в пересчете на хлорид кальция. При таком его содержании должна наблюдаться коррозия арматуры, если одновременно не применять ингибирующие ее компоненты.

Ингибитор – нитрит натрия (NaNO<sub>2</sub>) имеет свойство сохранять сталь в пассивном состоянии в присутствии ионов хлора [3, 9, 15]. Помимо основного назначения, заключающегося в непосредственной защите стальной арматуры от кор-

розии, нитрит натрия имеет и дополнительные эффекты действия в виде повышения защитных свойств бетона при сильной карбонизации, уменьшения его проницаемости; также необходимо отметить его доступность и экономическую рентабельность. Механизм его защитного действия и значение критической концентрации ионов хлора, при котором нитрит-ионы не способны сохранять или переводить арматурную сталь в пассивное состояние, составляющее 0,3 моль/л, приводятся в работе [3].

Для проведения исследований были смоделированы заведомо жесткие условия с концентрацией Cl<sup>-</sup>≈0,75 моль/л в воде затворения. С учетом результатов исследований [9] было сделано предположение, что пассивация стали нитрит-ионами, наблюдается в том случае, если содержание NaNO<sub>2</sub> является равным или превышает содержание CaCl<sub>2</sub>. Для ограничения влияния ингибитора в составе исследованной системы содержание нитрита натрия в долях принято равным 0,85 от содержания хлорида кальция, что составило 2% от массы цемента.

В качестве менее активных ПАВ были отобраны 13 различных суперпластификаторов на основе эфиров поликарбоксилатов (PCE) и полиакрилатов (PA). Концентрация ПАВ назначалась индивидуально для каждого из них в соответствии с рекомендациями производителя. Для составов с 4-го по 11-й включительно (табл. 3) использовались две дозировки добавки – минимальная и максимальная, рекомендуемые производителем. В составах с 12-го по 16-й (табл. 3) применялись максимальные рекомендуемые производителем концентрации.

#### Результаты и обсуждение

В табл. 4 отражена защитная способность КАД. Оценка производилась по относительной площади пораженных коррозией участков арматуры. Показатель водорода оценивался методом кислотно-основной индикации фенолфталеина и индикатора кармина, значение которого было одинаковым для всех образцов и равнялось 12.

6 из 13 исследованных полимеров с принятыми концентрациями показали защитную способность 100%, остальные 7 – от 96,46 до 99,9% в составе КАД. Индивидуально нитрит натрия, как и ожидалось, не дал какого-либо положительного результата, однако совместно с ПАВ наблюдается синергитический эффект и в ряде случаев полное ингибирование коррозии стальной арматуры в тяжелом бетоне.

Защитное действие КАД обуславливается хемосорбцией нитрит-иона на положительно заряженную поверхность стали с дальнейшим образованием оксидной пленки за счет сложной системы процессов. Одновременно введенный нафталинсульфонатный пластификатор конкурентно адсорбируется преимущественно на алюминатных фазах цементного клинкера, в том числе из-за увеличения удельной поверхности адсорбента за счет

образования высокодисперсных гидроалюминатов, обуславливающих интенсивное поглощение добавки из раствора, оставляя полимерные молекулы в жидкой фазе, карбоксильные группы которых адсорбируются на поверхности арматуры.

Таким образом, можно предположить, что молекулы полимеров поликарбоксилатов способны вытеснять ионы хлора, адсорбируясь на стали и укрепляя защитную пленку, образовавшуюся от нитрита натрия, и соответственно полимерные поверхностно-активные вещества имеют перспективу применения в составе комплексной антикоррозионной добавки.

Далее необходимо определить их компоновку по структурным характеристикам молекул и уточнить концентрации в составе КАД, одновременно исключив комбинацию разнородных ПАВ, так как определяющим фактором комплексного применения пластифицирующих добавок различной природы и адсорбционной способности является их совместимость по пластифицирующему эффекту; желательным сокращать расход нитрита натрия и установить границу показателя водорода, при которой добавка будет эффективной.

**Список литературы**

1. Раупач М., Элсенер Б., Полдер Р., Митц Д. Мониторинг коррозии арматуры в бетоне: профилактика и технологии восстановления. Кембридж: Ограниченное издание Вудхед, 2006. 336 с.
2. Никитин С.Е., Белов В.В. Прогнозирование срока службы железобетонных конструкций транспортных сооружений // *Науковедение: Интернет-журнал*. 2014. № 5 (24). № 05KO514. <https://naukovedenie.ru/PDF/05KO514.pdf> (дата обращения: 04.12.2018).
3. Тупикин Е.И., Платонова Е.Е. Повышение способности металлов к пассивации применением комплексных добавок. М.: Издательство АСВ, 2009. 128 с.
4. Wang X., Du R., Zhu Y., Guo Y., Chen W., Yang Z., Dong S., Lin C. Sodium nitrite-based corrosion inhibitor for reinforcing steel in simulated polluted concrete pore solutions // *The Electrochemical Society. ECS Transactions*. Vol. 50. DOI: 10.1149/05050.0043ecst.
5. Li J., Zhao B., Hu J., Zhang H., Dong S., Du R., Lin C. Corrosion inhibition effect of d-sodium gluconate on reinforcing steel in chloride-contaminated simulated concrete pore solution // *International Journal of Electrochemical Science*. 2015. No. 10. pp. 956–968. <http://www.electrochemsci.org/papers/vol10/100100956.pdf>
6. Talipov L., Velichko E. Polymer additives for cement systems based on polycarboxylate ethers. In: *Murgul V., Pasetti M. (eds) International Scientific Conference Energy Management of Municipal Facilities and Sustainable Energy Technologies EMMFT 2018. EMMFT-2018 2018. Advances in Intelligent Systems and Computing, Vol 983*. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-19868-8\\_93](https://doi.org/10.1007/978-3-030-19868-8_93)
7. Wang Z., Zi-Chen L., Liu X. Optimization of the structural parameters and properties of PCE based on the length of grafted side chain. *Proc. 11 Int. Conf. Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete*. Ottawa. 2015. Vol. 302 (20). pp. 265–278
8. Батраков. В.Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика. 2-е изд., перераб. и доп. М.: 1998. 768 с.
9. Ратинов. В.Б., Розенберг Т.И. Добавки в бетон. М.: Стройиздат, 1989. 188 с.

**References**

1. Raupach M., Elsener B., Polder R., Mietz J. Raupach M., Elsener B., Polder R., Mitts D. Corrosion of reinforcement in concrete monitoring, prevention and rehabilitation techniques. Cambridge: Woodhead publishing limited. 2006. 336 p.
2. Nikitin S.E. Belov V.V. Forecasting of service life of reinforced concrete structures of transport facilities. *Naukovedenie*. 2014. No. 5(24). 05KO514. <https://naukovedenie.ru/PDF/05KO514.pdf> (date of access 19.03.14). (In Russian).
3. Tupikin E.I., Platonova E.E. Povyshenie sposobnosti metallov k passivacii primeneniem kompleksnyh dobavok [Increasing the ability of metals to passivation using complex additives]. Moscow: ASV. 2009. 128 p.
4. Wang X., Du R., Zhu Y., Guo Y., Chen W., Yang Z., Dong S., Lin C. Sodium nitrite-based corrosion inhibitor for reinforcing steel in simulated polluted concrete pore solutions. *The Electrochemical Society. ECS Transactions*. Vol. 50. DOI: 10.1149/05050.0043ecst.
5. Li J., Zhao B., Hu J., Zhang H., Dong S., Du R., Lin C. Corrosion inhibition effect of d-sodium gluconate on reinforcing steel in chloride-contaminated simulated concrete pore solution. *International Journal of Electrochemical Science*. 2015. No. 10. pp. 956–968. <http://www.electrochemsci.org/papers/vol10/100100956.pdf>
6. Talipov L., Velichko E. Polymer additives for cement systems based on polycarboxylate ethers. In: *Murgul V., Pasetti M. (eds) International Scientific Conference Energy Management of Municipal Facilities and Sustainable Energy Technologies EMMFT 2018. EMMFT-2018 2018. Advances in Intelligent Systems and Computing. Vol 983*. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-19868-8\\_93](https://doi.org/10.1007/978-3-030-19868-8_93)
7. Wang Z., Zi-Chen L., Liu X. Optimization of the structural parameters and properties of PCE based on the length of grafted side chain. *Proc. 11 Int. Conf. Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete*. Ottawa. 2015. Vol. 302 (20), pp. 265–278.
8. Batrakov. V.G. Modificirovannye betony. Teoriya i praktika. 2-e izd., pererab. i dop. [Modified concrete. Theory and practice]. Moscow. 1998. 768 p.
9. Ratinov. V.B., Rozenberg T.I. Dobavki v beton [Concrete additives] Moscow: Stroyizdat. 1989. 188 p.

10. Юхневский П.И. О механизме пластификации цементных композиций добавками // *Строительная наука и техника*. 2010. № 1–2. С. 64–69.
11. Вовк А.И. О некоторых особенностях применения гиперпластификаторов // *Технологии бетонов*. 2007. № 5. С. 18–19.
12. Розенталь Н.К., Степанова В.Ф., Чехний Г.В. О максимально допустимом содержании хлоридов в бетоне // *Строительные материалы*. 2017. № 1–2. С. 82–85. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2017-745-1-2-82-85>
13. Розенталь Н.К., Степанова В.Ф., Чехний Г.В. Хлориды в бетоне и их влияние на развитие коррозии стальной арматуры // *Промышленное и гражданское строительство*. 2017. № 1. С. 92–96.
14. Kumar V., Singh R., Quraishi M.A. Study on corrosion of reinforcement in concrete and effect of inhibitor on service life of RCC // *Journal of Materials and Environmental Science*. 2013. No. 4 (5), pp. 726–731.
15. Song H. W., Saraswathy V., Muralidharan S., Lee C. H., Thangavel K. Role of alkaline nitrites in the corrosion performance of steel in composite cements // *Journal of Applied Electrochemistry*. Vol. 39(1), pp. 5–22. DOI: 10.1007/s10800-008-9632-1
10. Yuhnevskiy P.I. On the mechanism of plasticizing cement compositions with additives. *Stroitel'naya nauka i tekhnika: nauchno-tekhnicheskiiy zhurnal*. 2010. No. 1–2. pp. 64–69. (In Russian).
11. Vovk A.I. Some features of the use of hyper plasticizerstopov. *Tekhnologii betonov*. 2007. No. 5. pp. 18–19. (In Russian).
12. Rozental' N.K., Stepanova V.F., Chekhniy G.V. About maximum admissible content of chlorides in concrete. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 1–2, pp. 82–85. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2017-745-1-2-82-85>
13. Rozental' N.K., Stepanova V.F., Chekhniy G.V. Chlorides in concrete and their impact on development of corrosion of steel reinforcement. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2017. No. 1, pp. 92–96. (In Russian).
14. Kumar V., Singh R., Quraishi M.A. Study on corrosion of reinforcement in concrete and effect of inhibitor on service life of RCC. *Journal of Materials and Environmental Science*. 2013. No. 4 (5), pp. 726–731.
15. Song H. W., Saraswathy V., Muralidharan S., Lee C. H., Thangavel K. Role of alkaline nitrites in the corrosion performance of steel in composite cements. *Journal of Applied Electrochemistry*. Vol. 39(1), pp. 5–22. DOI: 10.1007/s10800-008-9632-1



**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
**Российская академия архитектуры и строительных наук**  
**Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва**  
**Научно-исследовательский институт строительной физики**  
**Министерство строительства, транспорта и дорожного хозяйства Республики Мордовия**

**XI Академические чтения РААСН – Международная научно-техническая конференция и заседание Научного совета РААСН**  
**«Механика разрушения бетона, железобетона и других строительных материалов»**

**ДОЛГОВЕЧНОСТЬ, ПРОЧНОСТЬ И МЕХАНИКА РАЗРУШЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ**  
**27–29 мая 2020 г. г. Саранск**

**НАУЧНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ КОНФЕРЕНЦИИ**

- Моделирование деформирования разрушения твердых тел
- Поведение материалов в условиях агрессивных сред, натурального климатического воздействия, низких и высоких температур
- Математические модели неупругого деформирования сред
- Экспериментальная механика бетона и железобетона
- Механика наноматериалов, композитных материалов и конструкций

**НАУЧНЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ**

Председатель комитета: академик РААСН Травуш В.И.

Сопредседатели комитета: ректор МГУ им. Н.П. Огарёва Вдовин С.М., председатель Научного совета РААСН «Механика разрушения бетона, железобетона и других строительных материалов» академик РААСН Селяев В.П., академик РААСН Акимов П.А.

**Заявки на участие в конференции**, а также аннотации объемом 500–700 знаков на русском и английском языках необходимо направить до 10 апреля 2020 г. по электронной почте: [ntorm@mail.ru](mailto:ntorm@mail.ru), [nizinata@yandex.ru](mailto:nizinata@yandex.ru).

Сумма организационного взноса (с учетом НДС):

- для участников из России – 2000 р.
- для иностранных участников (из стран СНГ) – 4000 р.

Тексты докладов в объеме 4–7 полных страниц на русском или английском языках в электронном виде просим направлять в оргкомитет по электронной почте: [ntorm@mail.ru](mailto:ntorm@mail.ru), [nizinata@yandex.ru](mailto:nizinata@yandex.ru) до 15 апреля 2020 г.

**Организационный комитет:**

+7 (834) 247-71-56 Селяев Владимир Павлович

+7 (917) 99-36-389 Низина Татьяна Анатольевна

e-mail: [ntorm@mail.ru](mailto:ntorm@mail.ru), [nizinata@yandex.ru](mailto:nizinata@yandex.ru)

# В УЗБЕКИСТАНЕ ВВЕДЕНА НОВАЯ ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ЛИНИЯ ПРЕДНАПРЯЖЕННЫХ ПЛИТ ПЕРЕКРЫТИЙ ОТ **NORDIMPIANTI**

## A NEW PRODUCTION LINE OF PRESTRESSED FLOOR SLABS FROM **NORDIMPIANTI** HAS BEEN PUT INTO OPERATION IN UZBEKISTAN

Компания Nordimpianti (Италия) осуществила успешный ввод в эксплуатацию производственной линии по выпуску пустотных плит перекрытий из предварительно напряженного железобетона на предприятии «Grand Road Tashkent» в г. Ташкент (Республика Узбекистан).

Nordimpianti Co. (Italy) has successfully commissioned a production line for the production of hollow floor slabs made of pre-stressed reinforced concrete at the “Grand Road Tashkent” enterprise in Tashkent city (Republic of Uzbekistan).

В настоящее время в Республике Узбекистан наблюдается значительный экономический рост. Так в сообщении Европейского банка реконструкции и развития отмечается, что рост экономики самой густонаселенной страны Центральной Азии (Узбекистан) в 2019 г. составил 5,5%, а в 2020 г. предполагается 5,8%. Рост обеспечивался и будет обеспечиваться за счет развития промышленности и строительного сектора.

Безусловно, наиболее динамично развивающимся городом в Узбекистане является столица республики – город Ташкент. Одной из остро стоящих проблем в городе на сегодняшний день является проблема жилья. И решение ее требует комплексного подхода – не только прямого увеличения количества площади жилых помещений, но и модернизации и реорганизации городской инфраструктуры.

Строительство новых дорог, развязок, благоустройство придорожных зон, строительство объектов социально-культурного и бытового назначения – все это требует наличия на рынке строительных материалов, отвечающих самым современным требованиям нормативов и произведенных с помощью современных технологий.

Для обеспечения рынка такими материалами компанией СП ООО «Grand Road Tashkent» – одним из флагманов производителей строительных материалов для инфраструктурного строительства, строительства зданий и сооружений различного назначения – было принято решение о расширении видов своей продукции и услуг, которые она оказывает на строительном рынке своего региона, и об организации фабрики по производству сборного железобетона. Одной из производственных линий модернизированной фабрики стала линия по производству пустотных плит. В качестве поставщика оборудования для нового участка компания СП ООО «Grand Road Tashkent» выбрала одного из лидеров мирового рынка машин и оборудования – итальянскую компанию Nordimpianti System SRL.

СП ООО «Grand Road Tashkent» – завод по производству инертных материалов, ЖБИ, асфальта и дорожной брусчатки. Весь комплекс, созданный компанией «Grand Road Tashkent», является высокотехнологичным предприятием. В процессе возведения зданий и модернизации оборудования были использованы уникальные, не имеющие аналогов технологии.







На территории свыше 17 га, помимо карьера площадью 130 га, расположены:

- дробильно-сортировочный комплекс;
- асфальтовый завод;
- участок производства бетонной смеси;
- участок производства ЖБИ;
- участок производства брусчатки и бордюров;
- дорожно-строительное управление;
- лаборатория;
- участки сервисного обслуживания;
- автозаправочная станция и другие вспомогательные объекты.

Производственная продукция реализуется на внутреннем рынке, в перспективе будет экспортироваться в зарубежные страны.

Компания Nordimpianti System SRL является одним из ключевых игроков на международном рынке оборудования для производства железобетонных изделий с более чем 45-летним опытом работы. Компания Nordimpianti была основана в 1974 г., а уже в 1980-х гг. начала ставить перед собой более высокие цели и приступила к созданию сети местных коммерческих представительств для организации экспорта своей продукции на территории Европы и по всему миру. В настоящее время компания активно представлена на рынках многих стран Европы, в России, Украине, Казахстане, Саудовской Аравии, Иране, Ливии, ОАЭ, Бразилии, Мексике, Южной Корее, Японии, Индии, Буркина-Фасо и в странах Юго-Восточной Азии.

На оборудовании Nordimpianti (слипформеры, экструдеры, машины вибротитья), можно организовать производство широкого спектра изделий из сборного железобетона, таких как стойки для виноградников, балки I- и T-профиля, перемычки, панели с U-профилем, панели ТТ высотой до 1 м и пустотные плиты (высотой также до 1 м), которые используются при решении широкого ряда конструкторских задач.

СП ООО «Grand Road Tashkent» приняло решение иметь широкий ассортимент пустотных плит, поэтому была поставлена задача –



изготовить машины и оборудование для производства плит пустотных шириной 1200 и 1500 мм на одних и тех же станках. Такая задача не нова и потребность в подобных машинах имеется на рынке производства пустотных плит давно. Для производства пустотных плит заказчик выбрал именно экструдер как машину, с помощью которой можно выпускать продукцию с наилучшими технико-экономическими показателями. Для машины были изготовлены специализированные формовочные вставки для изготовления более узких плит (шириной 1200 мм) на станках большей ширины (шириной 1500 мм), без нанесения ущерба производственной поверхности станка в процессе формовки изделия. Данные вставки оснащены системой «скользящая фаска» (ноу-хау Nordimpianti), которая предотвращает попадание цементного молочка между станком и колеблющейся частью машины (боковым бортом) и предохраняет поверхность станка от повышенного износа.

Компания Nordimpianti с успехом реализовала поставленную задачу, что позволит при том же количественном составе вспомогательных машин, оборудования и штата сотрудников производить два типа наиболее востребованной на строительном рынке продукции – пустотных плит высотой 220 мм, шириной 1200 мм и 1500 мм. Это дает несомненное преимущество компании СП ООО «Grand Road Tashkent» при работе с различными проектными организациями, так как завод в данном случае сможет помочь реализовать широкий спектр амбициозных проектных задач. Стоит заметить, что это первая линия в Ташкенте, способная производить плиты шириной 1200 и 1500 мм с помощью технологии экструдирования!

При производстве машин учтены также геофизические особенности расположения Ташкента – нахождение в сейсмической области Узбекистана: на формовочную машину были установлены специальные механизмы, обеспечивающие организацию антисейсмичной шпонки на боковой поверхности плиты.

Линия введена в эксплуатацию в октябре 2019 г. Она состоит из формовочных станков длиной по 92 м каждый с реакционными упорами. Кроме того, в комплект поставки входил базовый набор вспомогательных машин: машина для предварительного напряжения арматуры, машина для поперечной распиловки готовых изделий, траверсы с комплектами захватов для изделий различной ширины и бункер подачи бетонной смеси. В данный момент суммарная мощность линии может достигать 280 м<sup>2</sup> пустотного настила при работе в одну смену, однако планируется расширение количества производственных станков и увеличение производственной мощности до 700 м<sup>2</sup> пустотного настила.

После запуска первой производственной линии в Узбекистане Nordimpianti получила возможность работать с компаниями Республики Узбекистан и готова оказать помощь в модернизации производства и реализации самых смелых строительных проектов!

Н.Г. ГОЛОВИН, канд. техн. наук, советник по научно-производственным вопросам (golovinng@yandex.ru),  
Ю.Н. ФЁДОРОВ, директор по развитию (fedorovyn@benpan.ru),  
А.С. КОЗЛОВ, магистр, инженер-конструктор (ql-alex-lp@yandex.ru)

ООО «БЭНПАН» (775101, г. Москва, пос. Марушкинское, п. с-з Крёкшино)

## БЭНПАН — инновационная технология сборного малоэтажного домостроения

Производство сборного железобетона требует модернизации технологических процессов, разработки и внедрения новых технологических и конструктивных решений повышения качества выпускаемой продукции. С ростом объемов малоэтажного строительства наиболее востребованы индустриальные технологии возведения энергоэффективного полносборного малоэтажного стандартного жилья, доступного семьям со средним достатком. Предлагаемая технология ориентирована на строительство малоэтажных индивидуальных и многоквартирных жилых домов и объектов инфраструктуры. Технология в короткие сроки может быть адаптирована для использования на существующих заводах ЖБИ с относительно небольшими капитальными вложениями в технологическую оснастку. Конструкции и применяемые для их изготовления материалы, а также технологические процессы сертифицированы, отвечают требованиям безопасности.

**Ключевые слова:** инновации, технология БЭНПАН, малоэтажное домостроение, стеновые панели, плиты перекрытий.

**Для цитирования:** Головин Н.Г., Фёдоров Ю.Н., Козлов А.С. БЭНПАН – инновационная технология сборного малоэтажного домостроения // *Строительные материалы*. 2020. № 3. С. 24–26. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-779-3-24-26>

N.G. GOLOVIN, Candidate of Sciences (Engineering), Adviser on scientific and industrial issues (golovinng@yandex.ru),  
Yu.N. FEDOROV, Director for development (fedorovyn@benpan.ru), A.S. KOZLOV, Magister, Engineer-Designer (ql-alex-lp@yandex.ru)  
ООО "BENPAN" (Krekshino State Farm, Marushkinskoye Settlement, Moscow, 775101, Russian Federation)

### BENPAN — Innovation Technology of Prefabricated Low-Rise Housing Construction

Production of precast reinforced concrete requires modernization of technological processes, development and implementation of new technological and structural solutions to improve the quality of products. With the growth of low-rise construction, industrial technologies for the construction of energy-efficient, fully-assembled low-rise standard housing that is affordable to middle-income families are most in demand. The proposed technology is focused on the construction of low-rise individual and multi-apartment residential buildings and infrastructure facilities. The technology can be adapted in a short time for use at existing precast concrete plants with relatively small capital investments in technological equipment. The structures and materials used for their manufacture, as well as technological processes, are certified and meet the safety requirements.

**Keywords:** innovations, BENPAN technology, low-rise housing construction, wall panels, floor slabs.

**For citation:** Golovin N.G., Fedorov Yu.N., Kozlov A.S. BENPAN – innovation technology of prefabricated low-rise housing construction. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2020. No. 3, pp. 24–26. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-779-3-24-26>

Указом Президента РФ от 07.05.2018 № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» предусмотрено решение задач по модернизации строительной отрасли и повышению качества индустриального жилищного строительства, в том числе посредством установления ограничений на использование устаревших технологий и стимулирование внедрения передовых технологий в проектировании и строительстве, совершенствование механизмов государственной поддержки строительства стандартного жилья [1–5].

Более полувека назад в бывшем СССР была создана и до начала перестройки успешно функционировала отрасль по производству сборных железобетонных конструкций для промышленного и гражданского строительства. В каждом регионе страны работало от пяти до пятнадцати заводов по выпуску сборного железобетона. К настоящему времени ситуация с производством сборного железобетона претерпела серьезные изменения. Только небольшому количеству предприятий удалось провести модернизацию технологического оборудования и перейти к выпуску востребованной продукции. Часть предприятий обанкротилась, производственные здания сне-

сены, территории, занимаемые заводами, переданы под другие цели. Однако достаточно большое количество заводов ЖБИ по-прежнему существует, занимается выпуском товарного бетона и небольшого ассортимента сборных железобетонных изделий. При этом производственные площади недозагружены, часто используются не по назначению [6–10].

В настоящее время разработана и апробирована инновационная технология полносборного быстровозводимого малоэтажного домостроения БЭНПАН, ориентированная на строительство индивидуальных и многоквартирных жилых домов, объектов инфраструктуры (Патент РФ на полезную модель 104212. *Стеновая панель* / Зиммерман М.М. (US), Харе Р.В. (US), Мартин С.Л. (US). Заявл. 10.05.2011; Патент РФ на полезную модель 104580. *Стеновая панель* / Зиммерман М.М. (US), Харе Р.В. (US), Мартин С.Л. (US). Заявл. 20.05.2011; Патент РФ на полезную модель 105922. *Стеновая панель* / Зиммерман М.М. (US), Харе Р.В. (US), Мартин С.Л. (US). Заявл. 27.06.2011; Патент РФ на полезную модель 119366. *Панель перекрытия* / Топр М.А. Заявл. 20.08.2012; Патент РФ на полезную модель 119771. *Панель перекрытия* / Топр М.А. Заявл. 27.08.2012; Патент РФ

2616311. *Стеновая панель (Варианты)* / Топр М.А. Заявл. 14.04.2017; Патент РФ 2642745. *Стеновая панель с установленным оконным блоком* / Топр М.А. Заявл. 14.04.2017; Патент РФ 2670791. *Стеновая панель (Варианты)* / Евдокимов Д.В. Заявл. 14.04.2017; Патент РФ на полезную модель 186417. *Стеновая панель* / Зиммерман М.М. (US), Харе Р.В. (US), Мартин С.Л. (US). Заявл. 21.01.2019).

Сборные железобетонные ребристые стеновые системы и конструкции перекрытий из фибробетона с использованием эффективных теплоизоляционных материалов обеспечивают снижение материалоемкости и массы конструкций до 30% при выполнении всех нормативных требований по безопасности.

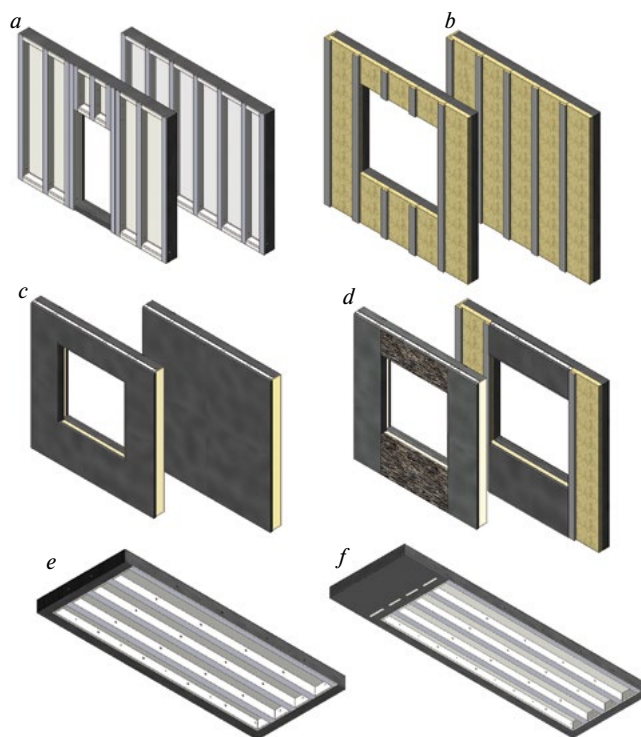
В 2010 г. приобретено право на использование технологии Supereg (США). В России продукция выпускается под торговой маркой БЭНПАН, которая представляет собой многофункциональный интегрированный комплекс, включающий проектирование в системе BIM, производство полного комплекта изделий и строительство. Используются программные продукты REVIT и 1С, доработанные специально под задачи проектирования и производства по технологии БЭНПАН. Основу технологии составляют инновационные решения сборных железобетонных стеновых панелей и плит перекрытий.

Стеновые панели представляют собой ребристые железобетонные конструкции, изготовленные из фибробетона класса по прочности на сжатие В30, армированные стержневой арматурой класса А500 и арматурными сетками. Горизонтальные ребра расположены по нижней и верхней граням панелей. Шаг вертикальных ребер составляет, как правило, 600 мм, легко изменяется в соответствии с требованиями размещения оконных и дверных проемов. Стеновые панели выпускаются нескольких типов: БЭНПАН; БЭНПАН+; БЭНПАН Премиум; БЭНПАН Комби.

*Стеновая панель БЭНПАН* двухслойная, применяется для устройства наружных и внутренних несущих стен (рисунок *a*). При формовании панели на вертикальных ребрах, выходящих внутри помещения, устанавливаются гнутые оцинкованные профили, к которым впоследствии крепятся листы гипсокартона. В панели имеются технологические отверстия для прокладки инженерных коммуникаций. Наружные стены требуют дополнительного утепления.

*Стеновая панель БЭНПАН+* двухслойная, предназначена для устройства наружных несущих стен в зданиях с вентилируемым фасадом (рисунок *b*). С этой целью на стадии изготовления к вертикальным ребрам панели крепятся гнутые П-образные профили из оцинкованной стали толщиной 1,5 мм. Они выполняют функции несущей подсистемы для крепления облицовочных панелей из любых материалов, применяемых для устройства вентилируемых фасадов.

Эти панели могут также эффективно применяться в качестве ограждающих конструкций многоэтажных зданий с вентилируемым фасадом, возводимых из монолитного, сборного и сборно-монолитного же-



Общий вид конструкций, выпускаемых по технологии БЭНПАН: *a* – стеновая панель БЭНПАН; *b* – стеновая панель БЭНПАН+; *c* – стеновая панель БЭНПАН Премиум; *d* – стеновая панель БЭНПАН Комби; *e* – плита перекрытия; *f* – плита перекрытия с балконом

General view of the structures produced by the BENPAN technology: *a* – wall panel BENPAN; *b* – wall panel BENPAN+; *c* – wall panel BENPAN Premium; *d* – wall panel BENPAN Kombi; *e* – floor slab; *f* – floor slab with balcony

лестобетона (системы «КУБ», «Белорусский каркас» и др.). По сравнению с существующей практикой устройства в этих зданиях наружных стен из штучных материалов с последующим утеплением и монтажом несущей подсистемы фасада стеновые панели БЭНПАН+ кратно снижают трудоемкость работ по устройству стен и сокращают сроки строительства.

*Стеновая панель БЭНПАН Премиум* трехслойная, применяется для устройства наружных несущих стен (рисунок *c*). Внешние поверхности панели образованы фибробетонными слоями, между которыми размещается слой утеплителя. Применяются различные варианты отделки фасада: гладкий под покраску, под «дикий камень», под «кирпич».

*Стеновая панель БЭНПАН Комби* (рисунок *d*) представляет возможность комбинации вариантов фасада.

#### Основные характеристики стеновых панелей:

- высота, мм ..... 2720/3050
- длина, мм ..... 600–4800
- толщина, мм ..... 260
- вес, кН/м<sup>2</sup> ..... 2–3
- несущая способность, кН/м ..... 200
- предел огнестойкости ..... REI90
- класс пожарной безопасности ..... КМ0 (НГ)
- коэффициент сопротивления теплопередаче, м<sup>2</sup>·°С/Вт ..... не менее 3,13
- морозостойкость ..... F200

Плиты перекрытия, выпускаемые по технологии БЭНПАН, представляют собой ребристую конструкцию с полкой толщиной 50 мм в сжатой зоне, продольными и торцевыми ребрами. Плита изготавливается в несъемной опалубке из пенополистирола или минплиты толщиной 40 мм. На нижней поверхности продольных ребер, расположенных, как правило, с шагом 600 мм, при формовании изделия устанавливаются П-образные профили из оцинкованной стали. При необходимости устройства проемов в перекрытиях шаг продольных ребер допускается изменять. В ребрах плиты предусмотрены технологические отверстия для прокладки инженерных коммуникаций. После монтажа конструкций дома и прокладки инженерных коммуникаций к установленным профилям крепятся листы гипсокартона.

Плиты перекрытий имеют модификации:

- плита перекрытия в стандартном исполнении (рисунок е);
- плита цокольного перекрытия и покрытия трехслойная с утеплителем;
- плита перекрытия с консольным вылетом балкона до 1,8 м (рисунок f).

**Основные характеристики плит перекрытий:**

- длина плиты, мм . . . . . 3000–6600
- ширина плиты, мм . . . . . 1200–2400
- толщина, мм . . . . . 305
- расчетная нагрузка (без учета собственного веса), кПа . . . . . 4–8
- собственный вес плиты, кПа . . . . . 2,8–3,2
- класс бетона по прочности при сжатии . . . . . В20
- предел огнестойкости . . . . . REI150
- класс пожарной безопасности . . . . . K0(45)
- морозостойкость . . . . . F200

Технология БЭНПАН может быть адаптирована на существующих заводах сборного железобетона с использованием части действующего технологического оборудования и с относительно небольшими капитальными вложениями в приобретение технологической оснастки. Это позволит реанимировать предприятия и в сжатые сроки обеспечить выпуск востребованной продукции для малоэтажного строительства.

**Список литературы**

1. Усманов Ш.И. Формирование экономической стратегии развития индустриального домостроения в России // *Политика, государство и право*. 2015. № 1 (37). С. 76–79.
2. Давидюк А.Н., Несветаев Г.В. Крупнопанельное домостроение – важный резерв для решения жилищной проблемы в России // *Строительные материалы*. 2013. № 3. С. 24–26.
3. Казин А.С. Индустриальное домостроение: вчера, сегодня, завтра // *Жилищное строительство*. 2018. № 10. С. 22–26.

4. Николаев С.В. Панельные и каркасные здания нового поколения // *Жилищное строительство*. 2013. № 8. С. 2–9.
5. Николаев С.В. Инновационная замена КПД на панельно-монолитное домостроение (ПМД) // *Жилищное строительство*. 2019. № 3. С. 3–10. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2019-3-3-10>
6. Николаев С.В. Обновление жилищного фонда страны на базе крупнопанельного домостроения // *Жилищное строительство*. 2018. № 3. С. 3–7.
7. Алоян Р.М., Подживотов В.П., Ставрова М.В. Организация реконструкции жилья с учетом фактора комфортности проживания // *Инвестиции в Россию*. 2011. № 3. С. 32–38.
8. Николаев С.В. Устройство балконов с помощью многоспустотных плит перекрытий // *Жилищное строительство*. 2018. № 10. С. 17–21.
9. Антипов Д.Н. Стратегии развития предприятий индустриального домостроения // *Проблемы современной экономики*. 2012. № 1. С. 267–270.

**References**

1. Usmanov Sh.I. Formation of economic strategy of development of industrial housing construction in Russia. *Politika, gosudarstvo i pravo*. 2015. No. 1 (37), pp. 76–79. (In Russian).
2. Davidyuk A.N., Nesvetaev G.V. Large-panel housing construction – an important provision for solving the housing problem in Russia. *Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]*. 2013. No. 3, pp. 24–26. (In Russian).
3. Kazin A.S. Industrial housing construction: yesterday, today, tomorrow. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo [Housing Construction]*. 2018. No. 10, pp. 22–26. (In Russian).
4. Nikolaev S.V. Panel and Frame Buildings of New Generation. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo [Housing Construction]*. 2013. No. 8, pp. 2–9. (In Russian).
5. Nikolaev S.V. Innovative Replacement of Large-Panel Housing Construction by Panel-Monolithic Housing Construction (PMHC). *Zhilishchnoe Stroitel'stvo [Housing Construction]*. 2019. No. 3, pp. 3–10. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2019-3-3-10> (In Russian).
6. Nikolaev S.V. Renovation of housing stock of the country on the basis of large-panel housing construction. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo [Housing Construction]*. 2018. No. 3, pp. 3–7. (In Russian).
7. Aloyan R.M., Podzhivotov V.P., Stavrova M.V. Organization of reconstruction of housing, taking into account the factor of comfort of residence. *Investitsii v Rossii*. 2011. No. 3, pp. 32–38. (In Russian).
8. Nikolaev S.V. Arrangement of balconies with the help of hollow core floorslabs. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo [Housing Construction]*. 2018. No. 10, pp. 17–21. (In Russian).
9. Antipov D.N. Strategy of development of the enterprises of industrial housing construction. *Problemy sovremennoi ekonomiki*. 2012. No. 1, pp. 267–270. (In Russian).



# РИТЕНТ


СЕРДЦЕ БЕТОНА


6 ЛЕТ НА РЫНКЕ  
ХИМИЧЕСКИХ ДОБАВОК


- ПРОИЗВОДСТВО
- ИНЖИНИРИНГ
- ПРОДАЖИ



 8 (495) 792-12-13

 INFO@RETENTIVE.RU

 RETENTIVE.RU

 OOORETENT

# Стендовая технология производства плоских элементов КПД: КЛЮЧ К ДОСТИЖЕНИЮ НОВЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ

## STAND TECHNOLOGY OF PRODUCTION OF FLAT ELEMENTS FOR LARGE PANEL BUILDINGS (LPB): THE KEY TO ACHIEVING NEW OPPORTUNITIES

Одним из важнейших преимуществ стендовой технологии производства элементов КПД является возможность увеличения производительности по мере необходимости при растущих объемах выпускаемой продукции, а также возможность поэтапного внедрения нового оборудования с распределением общего капиталовложения на несколько этапов в соответствии с планируемыми сроками развития производства.

One of the most important advantages of stand technology for the production of LPB elements is the ability to increase productivity as necessary at growing production volumes, as well as the possibility of stage-by-stage introduction of new equipment with the distribution of total investment in several stages in accordance with the planned terms of production development.

Чтобы не сдавать позиции на рынке жилья и иметь возможность выполнять любые заказы клиентов, в последнее время многие предприятия определили для себя основные приоритеты и перспективы развития, наметив конкретный план развития производственных мощностей и приступив к выполнению четких и последовательных шагов.

Примером одного из таких предприятий является компания ОАО «МАПИД» (Республика Беларусь), которая с 2015 г. поэтапно проводит модернизацию производства. Первым шагом в данном направлении стал ввод в эксплуатацию универсальной технологической

линии «карусельного» типа от компании PLAN (Италия) для производства плоских элементов КПД. А 19 февраля 2020 г. состоялся торжественный запуск современной стендовой технологической линии по производству железобетонных изделий, поставленной компанией СООО «ИталПланТэк» (Беларусь) – дочерним предприятием компании PLAN, которая уже не первый год успешно реализует аналогичные проекты на территории стран ЕЭС и СНГ.

Основной целью заказчика на данном этапе было не наращивание мощности, а производство продукта принципиально другого качества и уход от массового произ-



Стендовая линия для производства панелей. Общий вид



Машина для подготовки стенов

водства, а это означало существенно более высокие требования к качеству оборудования и инновационный подход к поиску технических решений. В процессе проектирования линии поставщиком были полностью учтены требования заказчика по составу, техническим характеристикам и производительности. Это стало залогом успешного результата еще на ранних стадиях взаимодействия с заказчиком. Другой ключевой фактор – использование наиболее передовых технических решений последнего поколения, разработанных компанией PLAN в области производства железобетонных элементов и отлично зарекомендовавших себя при эксплуатации. Линия состоит из десяти поворотных столов размерами 8×4,2 м с регулируемой по высоте оснасткой, позволяющей формировать изделия толщиной до 500 мм, укомплектованные программируемой системой обогрева формовочной поверхности. В комплект поставки также вошли: бетоноукладчик с системой уплотнения бетонной смеси напрямую, без вибрации формы; машина заглаживания верхней поверхности изделия с системой распределения цементно-песчаной порошковой смеси для улучшения качества поверхности; машина для подготовки стенов с функцией разворачивания и сворачивания термопокрывала.

Стеновую технологию с применением поворотных столов в формате крупного ДСК на сегодняшний день следует рассматривать как неотъемлемое дополнение к основному производству панелей, поскольку она обеспечивает стройку «нестандартными» изделиями, как по их размерам и конструкции, так и по типу архитектурных решений наружной поверхности. Кроме того, универсальность поворотных столов позволяет формировать на них не только различные виды плоских изделий, но и некоторые объемные изделия, как, например, колонны или сваи. В конкретном случае, выбранные размеры стенов дают возможность варьировать планировкой и высотой помещения. Иными словами, получить чистовые потолки в квартире выше 3 м и панорамные окна в панельном здании стали реальностью. В свою очередь,



Бетоноукладчик

надлежащая система гидравлики и жесткая конструкция обеспечивают равномерный подъем стенов, без изгиба и образования трещин на поверхности элементов. Безупречная геометрическая точность стола обеспечивает максимальное соблюдение геометрических размеров изделий, что дает возможность качественно стыковать панели и делать швы практически незаметными. Формовочные стенов устанавливаются на ровный промышленный пол без подготовки дополнительных прямых и фундаментов.

Процесс укладки и уплотнения бетона, осуществляемый с помощью бетоноукладчика PLAN, пользуется все большим признанием среди производителей железобетонных панелей. Его основное преимущество в том, что бетоноукладчик позволяет полностью отказаться от вибрации форм или стенов во время уплотнения бетонной смеси. Бетоноукладчик PLAN укладывает и уплотняет бетонную смесь напрямую, без вибрации стенов с помощью встроенных глубинных (игольчатых) вибраторов и вибрационного трамбователя. Бетон из бетоноукладчика поступает на стенов уже предуплотненным и равномерно распределяется по всей формовочной поверхности, даже при укладке тонким слоем любой заданной толщины. Смесь полностью заполняет углубления между облицовочными плитками. В противном случае неизбежно протекание цементного молочка и, как следствие нарушение качества фасадной поверхности. Таким образом, обеспечивается высокая адгезия бетона с плиткой, а также надежное сцепление бетона с арматурой и различными закладными. Данное техническое решение является наиболее рациональным для укладки первого слоя бетона, если для отделки использованы облицовочная плитка, декоративные и цветные бетоны. Бетоноукладчик полностью исключает риск смещения или повреждения облицовочного материала, бортов, закладных, арматуры, кабельных каналов, часто возникающий при вибрации стенов, а также расслоение бетона. Данное решение позволяет получить панели с готовым оформлением фасада в различных вариациях и отка-



Машина для финишной доводки

заться от его покраски, зависящей от погодных условий и требующей дополнительных трудозатрат на строящемся объекте. Кроме того, бетоноукладчик позволяет качественно уплотнить верхний (внутренний) слой наружной стеновой панели даже при использовании изоляционного материала значительной толщины. В том числе машина оснащена заглаживающей рейкой для первичной доводки верхнего (внутреннего) слоя бетона.

Другим важным звеном технологической цепочки, непосредственно влияющей на качество готовой продукции, является машина для финишной доводки верхней (внутренней) поверхности панели, поскольку именно от качества затирки зависит качество категории получаемой поверхности. Данная машина в техническом решении PLAN имеет два варианта исполнения – с одним или тремя заглаживающими устройствами с лопастями или дисками. Для обоих вариантов доступна возможность регулирования высоты и силы прижатия затирочного органа, числа оборотов и плавной регулировки угла наклона лопастей. Заглаживающие устройства оснащены форсунками для орошения водой затираемой поверхности изделия. Важной опцией затирочной машины, способствующей значительному улучшению качества поверхности, является группа распределения цементно-песчаной порошковой смеси, устанавливаемая на машину. Этот механизм позволяет равномерно распределить порошковую смесь в необходимом количестве по всей обрабатываемой поверхности для поглощения избыточного количества влаги и эффективнее добиться желаемого качества затираемой поверхности.

Для оптимизации технологических процессов путем их механизации используется машина для подготовки стенов. Эта машина осуществляет чистку формовочных поверхностей с помощью гибкого скребка и приводных щеток. Процесс нанесения разделительной смазки может быть выполнен путем добавления опциональной



Формовочный стенд

группы, состоящей из форсунок для нанесения масла путем его распыления на поверхности и вытяжного колпака с фильтром для устранения масляного тумана. Эта опция также дает возможность нанесения замедлителя твердения бетона (лака) на формовочную поверхность при производстве изделий со вскрытой фактурой. Данная машина выполняет функции укрывания термопокрывалом каждого стенда по отдельности с его последующим удалением с помощью специального разматывающего механизма, установленного на данную машину.

В дальнейшем технологическая линия стандового типа может быть укомплектована плоттером для нанесения разметки положения бортоснастки в автоматическом режиме. Перемещение всех машин по цеху осуществляется по путям, установленным в полу, а электропитание – с помощью шинопровода.

Важнейшее преимущество стандовой линии – возможность увеличения производительности по мере необходимости при растущих объемах выпускаемой продукции, а также возможность поэтапного внедрения нового оборудования с распределением общего капиталовложения на несколько этапов в соответствии с планируемыми сроками развития производства.



**PLAN S.r.l.**  
Via delle Nebbie, 7  
53043 Chiusi (SIENA) – ITALY  
Tel./fax: +39 057821296  
Mob.: +39 3357857353  
E-mail: info@planitalia.it  
Web site: www.planitalia.it



**СООО «ИталПланТэк»**  
224014, Республика Беларусь,  
г. Брест  
Ул. Писателя Смирнова, 180  
Тел.: +375 (162) 24-58-61  
Факс: +375 (162) 24-73-57  
E-mail: italplantek@mail.ru



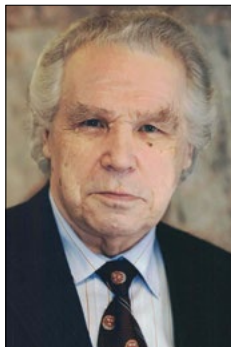


# СОВРЕМЕННЫЕ РЕШЕНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНЫЙ ПОДХОД НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ



В условиях быстро развивающегося рынка железобетонной индустрии, компания «PLAN» предлагает широкий спектр современного технологического оборудования «под ключ» для производства сборного железобетона любой степени сложности, в том числе - комплексные решения для заводов ДСК и ЖБИ, работающих в системе крупнопанельного, каркасного и каркасно-панельного домостроения. Мы всегда готовы помочь в решении производственных задач в рамках модернизации существующих и создания новых производств.





## К 90-летию Юрия Михайловича БАЗЕНОВА

25 марта 2020 г. известному советскому и российскому ученому в области строительного материаловедения, заведующему кафедрой «Технологии вяжущих и бетонов» Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, академику РААСН и РИА, заслуженному деятелю науки РФ, доктору технических наук, профессору исполнилось 90 лет.

Юрий Михайлович Баженов родился 25 марта 1930 г. В 1954 г. окончил инженерно-строительный факультет Военно-инженерной академии им. В.В. Куйбышева и был направлен на строительство оборонных объектов Северного флота. В 1960–1970-е гг. служил в Военно-инженерной академии им. В.В. Куйбышева на различных научных и педагогических должностях.

В 1960 г. защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата, в 1965 г. — доктора технических наук. С 1975 г. Ю.М. Баженов заведует кафедрой «Технологии вяжущих веществ и бетонов» НИУ МГСУ (МИСИ). Работая в Московском государственном строительном университете, Юрий Михайлович активно исследует новые виды бетонов, развивает теорию их прогнозирования и проектирования. Он один из авторов технологии вяжущих веществ низкой водопотребности. Широкое признание имеют разработанные им современные методы испытания бетонов и получения новых уникальных свойств этих материалов. При его участии были разработаны технологии бетонов для сухого и жаркого климата, в том числе с использованием гелиотехнологии.

Большое внимание Ю.М. Баженов уделяет повышению качества бетона и строительных композитов гидратационного твердения, разработке новых технологических приемов их получения. Опубликованные Юрием Михайловичем свыше 250 научных трудов, 60 изобретений, 28 монографий и учебных пособий, шесть учебников, среди которых: «Строительные материалы», «Технология бетонных и железобетонных изделий», «Технология производства строительных материалов», «Технология бетона, строительных изделий и конструкций», «Бетонovedение», «Способы определения состава бетона различных видов», «Бетон при динамическом нагружении», «Перспективы применения математических методов в технологии сборного железобетона», широко используются как в учебном процессе строительных вузов, так и в среде специалистов строительной индустрии. Он активно участвовал в становлении системы послевузовского профессионального образования строительных кадров.

В то же время Ю.М. Баженов проводит большую работу по подготовке преподавательских и научных кадров. За прошедшие годы им подготовлено 12 докторов и 65 кандидатов технических наук. Созданная Юрием Михайловичем научная школа современных проблем бетонovedения, объединяющая ученых различных регионов России, подготовила большое количество высококвалифицированных специалистов, успешно работающих в настоящее время во многих ведущих организациях строительной отрасли. Результаты научно-исследовательских работ, выполненных под его руководством, широко внедрены в строительстве и получили признание на многих международных и российских научных конгрессах и конференциях.

Юрий Михайлович Баженов — академик РААСН, действительный член Российской инженерной академии, заместитель академика-секретаря секции «Материаловедение», президент Международной ассоциации ученых и специалистов в области строительного материаловедения, почетный профессор Белгородского технологического университета им. В.Г. Шухова, почетный доктор Веймарской высшей школы по архитектуре и строительству (Германия), председатель специализированного диссертационного Совета НИУ МГСУ по строительным материалам, изделиям и строительному материаловедению, член редколлегии ведущих журналов по строительству и строительному материаловедению. Юрий Михайлович Баженов награжден орденами «Знак Почета» и «Инженерная слава», одиннадцатью медалями, многими почетными грамотами и знаками, является лауреатом премий Совета Министров СССР и Правительства Российской Федерации, ему присвоены почетные звания: заслуженный деятель науки Российской Федерации, почетный строитель России, почетный строитель Москвы, почетный строитель Московской области.

Коллеги и ученики, а также редакция журнала «Строительные материалы»® сердечно поздравляют Юрия Михайловича Баженова с 90-летием, желают доброго здоровья, благополучия и благодарят за многие годы сотрудничества.

УДК 666.972.55

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-779-3-32-38>

Ю.М. БАЗЕНОВ, д-р техн. наук (tvvib@mgsu.ru), О.В. АЛЕКСАНДРОВА, канд. техн. наук (aleks\_olvl@mail.ru), НГУЕН ДЫК ВИНЬ КУАНГ, аспирант (tvvib@mgsu.ru), Б.И. БУЛГАКОВ, канд. техн. наук (fakultetst@mail.ru), О.А. ЛАРСЕН, канд. техн. наук (larsen.oksana@mail.ru), Н.А. ГАЛЬЦЕВА, канд. техн. наук (galcevanadezda@mail.ru), Д.С. ГОЛОТЕНКО, студент (golotenco.darya@yandex.ru)

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

## Высокопрочный бетон из материалов Вьетнама

Социалистическая Республика Вьетнам — современное развивающееся государство Юго-Восточной Азии, в котором при строительстве объектов различного назначения широкое применение получили бетонные изделия и конструкции. В то же время Вьетнам является одной из стран, наиболее серьезно страдающей от изменения климата и повышения уровня Мирового океана. Воздействие морской воды в сочетании с техногенными отходами усложняет развитие необходимой инфраструктуры, особенно в прибрежных районах на юге страны; в этих условиях возникает необходимость использовать высокопрочные бетоны (ВПБ), обладающие как требуемой прочностью, так и стойкостью в агрессивных средах эксплуатации. Основной целью данного исследования было получение высокопрочного бетона, обладающего прочностью при сжатии более 80 МПа, с использованием преимущественно местных вьетнамских материалов. Были использованы следующие сырьевые материалы: сульфатостойкий портландцемент PCRS40, гранитный щебень двух фракций 5–10 и 10–20 мм в соотношении 40:60, речной

кварцевый песок с модулем крупности 3, карбоксилатный суперпластификатор Sika®ViscoCrete®-151, кварцевая мука (КМ), топливная зола-уноса (ЗУ), микрокремнезем (МК) и вода. Бетонные смеси приготавливались и испытывались в соответствии с ГОСТ 7473–2010 и ГОСТ 10181–2014. Были получены бетоны с прочностью при сжатии в 56-сут возрасте, равной 109 МПа, из смесей, содержащих 10–12,5% МК, 20–40% ЗУ и 20% КМ. Результаты проведенных исследований показали возможность получения высокопрочного бетона из местных вьетнамских материалов, обладающего высокими прочностными свойствами, при условии оптимального гранулометрического состава сырьевых компонентов, обеспечивающего наиболее плотную упаковку зерен, что открывает широкие перспективы его использования в строительстве в климатических условиях Вьетнама.

**Ключевые слова:** высокопрочный бетон, сульфатостойкий портландцемент, суперпластификатор, зола-уноса, микрокремнезем, кварцевая мука.

**Для цитирования:** Баженов Ю.М., Александрова О.В., Нгуен Дык Винь Куанг, Булгаков Б.И., Ларсен О.А., Гальцева Н.А., Голотенко Д.С. Высокопрочный бетон из материалов Вьетнама // *Строительные материалы*. 2020. № 3. С. 32–38. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-779-3-32-38>

Yu.M. BAZHENOV, Doctor of Sciences (Engineering) (tvvib@mgsu.ru), O.V. ALEKSANDROVNA, Candidate of Sciences (Engineering) (aleks\_olvi@mail.ru), NGUYEN DUC VINH QUANG, Postgraduate student (tvvib@mgsu.ru), B.I. BULGAKOV, Candidate of Sciences (Engineering) (fakultetst@mail.ru), O.A. LARSEN, Candidate of Sciences (Engineering) (larsen.oksana@mail.ru), N.A. GALTSEVA, Candidate of Sciences (Engineering) (galcevanadezda@mail.ru), D.S. GOLOTENKO, Student (golotenco.darya@yandex.ru) National Research Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslavl'skoe Highway, Moscow, 129337, Russian Federation)

### High-Performance Concrete Produced With Locally Available Materials of Vietnam

Vietnam is a developing country. In recent years concrete has been widely used in most construction projects. However, Vietnam is one of the most severely affected country by climate change and sea level rise, especially in southern part of the country. The impact of seawater combined with technogenic waste impedes the development of necessary infrastructure, especially in coastal areas in the South of Vietnam. In such conditions, it is necessary to use high-performance concretes which have both the required strength and resistance in aggressive environments. The main objective of the study was design of high-performance concrete with compressive strength more than 80 MPa with mainly use of local materials of Vietnam. In this study was used locally available materials of Vietnam, which includes the following components: sulfate-resisting Portland cement – PCRS40; crushed granite as coarse aggregate with size of 5–10 and 10–20 mm; fine river sand with fineness modulus of 3; superplasticizer Sika®ViscoCrete®-151; fly ash as mineral admixture with class F (FA), silica flour (Qp) and silica fume (SF), and water. All concrete mixtures were designed according to Russian standard GOST 7473–2010 and GOST 10181–2014. The highest compressive strengths obtained at the age of 56 days was 109 MPa with mixes content: 10–12.5%SF+20–40%FA+20%Qp. This study has shown that HPC can be produced by using local materials of Vietnam. Concrete with high strength properties and optimal granulometric composition of raw materials was obtained to ensures high density packing of the grains. It makes possible to use high-strength concrete as constructional material in climate of Vietnam.

**Keywords:** high-performance concrete, sulfate-resisting Portland cement, superplasticizer, fly ash, silica fume, silica flour.

**For citation:** Bazhenov Yu. M., Aleksandrova O.V., Quang Duc Vinh Nguyen Bulgakov B.I., Larseh O.A., Golotenko D.S. High-performance concrete produced with locally available materials in Vietnam. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2020. No. 3, pp. 32–38. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-779-3-32-38>

В конце 80-х гг. XX в. в ряде стран приступили к осуществлению крупных специальных исследовательских программ, направленных на разработку высокопрочных бетонов (ВПБ), среди которых США [1], Норвегия [2], Канада [3], Франция [4], Швейцария [5], Австралия [6], Германия [7], Япония [8], Корея [9], Китай [10], Тайвань [11] и т. д. В Российской Федерации в последние годы также проводятся интенсивные исследования, направленные на создание высокопрочных бетонов путем использования низких водовяжущих отношений, суперпластификаторов и микронаполнителей. Во Вьетнаме исследование ВПБ является относительно новой темой, но в последние годы началось применение высокопрочных бетонов с водоцементным отношением 0,35–0,4 за счет использования поликарбоксилатных суперпластификаторов, главным образом при строительстве высотных зданий, мостов, туннелей и гидротехнических сооружений.

Побережье Вьетнама, протяженность которого составляет более 3200 км, и примыкающее к нему шельфовая зона в настоящее время интенсивно осваиваются. Это обстоятельство в сочетании с влажным тропическим климатом требует от бетонных конструкций возводимых в прибрежной зоне зданий и сооружений с целью обеспечения их проектной долговечности и продления сроков безремонтной экс-

плуатации не только высокой прочности, но и необходимой коррозионной стойкости.

В работе [12] приводятся результаты исследований прочностных и долговечных характеристик ВПБ путем изменения содержания метаксаолина и микрокремнезема. Основой служили бетонные смеси с фиксированным водовяжущим отношением 0,28, содержащие в 1 м<sup>3</sup> до 630 кг цемента, 1150 кг крупного заполнителя, 510 кг песка и суперпластификатор ViscoCrete 20 HE в количестве 1% от массы вяжущего, а также микрокремнезем и метаксаолин, заменяющие до 15% цемента. Авторы пришли к выводу, что оптимальное содержание метаксаолина или микрокремнезема, используемых для частичной замены цемента, составляет 15%, что позволяет получить бетон с прочностью при сжатии 80,3–85 МПа.

В исследовании [13] рассматривается возможность получения высокоэффективного мелкозернистого пластифицированного бетона с прочностью при сжатии от 120 до 170 МПа путем использования трехкомпонентного связующего, состоящего из цемента, метаксаолина, золы-уноса и известковой муки в соотношении 650:75:40:35.

В работе [14] исследовано влияние различных дозировок золы-уноса класса F и микрокремнезема на реологические и механические свойства самоуплотняющихся растворов смесей (СУР), содержащих

640 кг/м<sup>3</sup> связующего, с заменой цемента на 25–40% золой-уноса и на 5–20% диоксидом кремния при водовязущем отношении от 0,43 до 0,5. Результаты показали, что СУР, включающие МК, имеют предел прочности при сжатии и изгибе выше, чем контрольная смесь без минеральных добавок и СУР с ЗУ в возрасте твердения 28 и 91 сут.

В исследованиях [15, 16] изучено влияние ВПБ на устойчивость конструкций в условиях изменения климата, дрейфа континентов, вулканической и сейсмической активности и антропогенных воздействий. В процессе анализа и оценки полученных результатов авторы отметили, что ВПБ является строительным материалом, который обладает технологическими свойствами, необходимыми для изготовления бетонных конструкций, обладающих высокой устойчивостью к воздействию агрессивных факторов окружающей среды.

Авторы работы [17] исследовали возможность получения ВПБ с использованием золы-уноса и конденсированного диоксида кремния. ВПБ был получен из бетонных смесей путем замены обычного поргланцементов соответственно на 20 и 40% ЗУ и 10 и 20% МК при водовязущем отношении от 0,14 до 0,3. Результаты показали, что смесь, содержащая 20% микрокремнезема при В/В=0,16, достигает в возрасте 28 сут прочности при сжатии 159 МПа. При В/В=0,3 и содержании 20% ЗУ и 10% МК прочность бетона в том же возрасте составила 105 МПа. На основе полученных результатов авторами исследования сделан вывод, что за счет добавления в бетонную смесь микрокремнезема и золы-уноса можно значительно повысить плотность бетона и в результате этого увеличить его прочность.

В исследовании [18] приводятся результаты влияния дополнительных центрирующих материалов, частично замещающих цемент, таких как гранулированный доменный шлак (ГДШ) до 70%, МК до 15% и ЗУ до 40%, в составе двух- и трехкомпонентных связующих при постоянном водовязущем отношении, равном 0,3, на прочностные свойства бетонов и сопротивляемость их структуры диффузии ионов хлора. В результате авторами работы установлено, что бетоны на основе трехкомпонентных связующих, содержащих до 50% ЗУ или ГДШ и 7,5% МК, показали лучшие результаты по прочности и сопротивляемости ионной хлорной диффузии.

**Материалы и методы**

В исследованиях использовался сульфатостойкий поргланцемент РС<sub>SR</sub>40 (тип V) производства компании «Luks Cement Limited» (Вьетнам), который соответствовал требованиям ГОСТ 22266–2013 «Цементы сульфатостойкие. Технические условия». Содержание С<sub>3</sub>A – 2,49% и С<sub>4</sub>AF + 2С<sub>3</sub>A – 21,23%, плотностью 3,15 г/см<sup>3</sup>, удельной поверхностью 3350 см<sup>2</sup>/г, временем начала и конца схватывания соответственно, 170 и 213 мин, прочностью при сжатии в возрасте 3 и 28 сут нормального твердения соответственно 25,7 и

**Таблица 1  
Table 1**

**Химический состав цемента и тонкодисперсных минеральных добавок  
Chemical composition of cement and fine mineral additives**

Содержание компонентов, %	Кварцевый порошок	Микрокремнезем	Зола-уноса	Сульфатостойкий цемент
SiO <sub>2</sub>	99,714	92,48	57,53	20,84
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,044	0,86	24,05	3,77
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,04	1,91	6,06	5,31
CaO	0,052	0,32	0,68	62,37
MgO	0,036	0,85	0,96	1,97
K <sub>2</sub> O	0,008	1,22	3,6	0,63
Na <sub>2</sub> O	0,02	0,38	0,27	0,14
TiO <sub>2</sub>	0,044	–	0,7	0,37
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	–	–	0,11	–
ZrO <sub>2</sub>	–	–	0,03	–
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	–	–	0,02	–
CuO	–	–	0,02	–
ZnO	–	–	0,03	–
BaO	–	–	–	2,24
SO <sub>3</sub>	–	0,30	0,3	2,36
ППП	0,042	1,68	5,64	–

**Таблица 2  
Table 2**

**Свойства тонкодисперсных минеральных добавок  
Properties of fine mineral additives**

Свойство	Микрокремнезем	Зола-уноса
Содержание SiO <sub>2</sub> , %	92,48	57,43
Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /г	15–30	10–12
Плотность, г/см <sup>3</sup>	2,15	2,72
Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	245	990
Размер частиц, мкм	<0,1	1–8

46,5 МПа и увеличением объема после 14-сут испытания на сульфатостойкость – 0,016%. Химический состав цемента приведен в табл. 1.

Ультрадисперсный микрокремнезем марки SikaCrete® PP1 производства фирмы «Sika Limited» (Вьетнам) с размером частиц <0,1 мм и плотностью 2,15 г/см<sup>3</sup> соответствовал требованиям ГОСТ Р 56592–2015 «Добавки минеральные для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия». Его свойства приведены в табл. 1 и 2.

Низкокальциевая (кислая) зола-уноса теплоэлектростанции «Фа Лай» (Вьетнам), обладающая пуццоланическими свойствами, соответствовала ГОСТ 25818–2017 «Золы-уноса тепловых электростанций для бетонов. Технические условия». Свойства использованной золы также приведены в табл. 1 и 2.

В качестве крупного заполнителя использовался гранитный щебень из карьера Га Лой, расположенного в Центральном регионе Вьетнама, в виде смеси двух фракций 5–10 и 10–20 мм в соотношении 40:60, с плотностью 2,68 г/см<sup>3</sup>, водопотребностью 0,5% и средней прочностью 105,6 МПа.

Таблица 3  
Table 3Составы бетонных смесей  
Compositions of concrete mixes

Обозначение составов бетонной смеси	Вязущее вещество (В), кг/м <sup>3</sup>					Заполнители и наполнители, кг/м <sup>3</sup>					Вода (В) л	Суперпластификатор		В/В	Осадка конуса, см
	Сульфато-стойкий цемент (Ц), кг	Микрокремнезем		Зола-уноса		Щебень (Щ)		Песок (П), кг	Кварцевая мука						
		%	кг	%	кг	кг	Щ/(П+КМ)		%	кг					
C1	550	0	–	0	–	1088	1,75	621,7	0	–	156	1,8	9,9	0,3	11
C2	550	0	–	0	–	1088	1,75	497,4	20	124,4	156	1,8	9,9	0,3	19
C3	412,5	5	27,5	20	110	1088	1,75	621,7	0	–	156	1,8	9,9	0,3	25
C4	412,5	5	27,5	20	110	1088	1,75	497,4	20	124,4	152	1,8	9,9	0,3	22
C5	357,5	5	27,5	30	165	1088	1,75	497,4	20	124,4	156	1,8	9,9	0,3	26
C6	302,5	5	27,5	40	220	1088	1,75	497,4	20	124,4	156	1,8	9,9	0,3	27
C7	398,8	7,5	41,3	20	110	1088	1,75	497,4	20	124,4	156	1,8	9,9	0,3	26
C8	343,8	7,5	41,3	30	165	1088	1,75	497,4	20	124,4	156	1,8	9,9	0,3	26
C9	288,8	7,5	41,3	40	220	1088	1,75	497,4	20	124,4	156	1,8	9,9	0,3	27
C10	385	10	55	20	110	1088	1,75	497,4	20	124,4	156	1,8	9,9	0,3	25
C11	330	10	55	30	165	1088	1,75	497,4	20	124,4	156	1,8	9,9	0,3	27
C12	275	10	55	40	220	1088	1,75	497,4	20	124,4	156	1,8	9,9	0,3	27
C13	371,3	12,5	68,8	20	110	1088	1,75	497,4	20	124,4	156	1,8	9,9	0,3	24
C14	316,3	12,5	68,8	30	165	1088	1,75	497,4	20	124,4	156	1,8	9,9	0,3	23
C15	261,3	12,5	68,8	40	220	1088	1,75	497,4	20	124,4	156	1,8	9,9	0,3	27

В качестве мелкого заполнителя использовали природный кварцевый песок реки Хьонг в центральной части Вьетнама с модулем крупности, равным 3, плотностью 2,65 г/см<sup>3</sup> и водопотребностью 5%.

Использованные щебень и песок соответствовали требованиям ГОСТ 8736–2014 «Песок для строительных работ. Технические условия» и ГОСТ 8267–93 «Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия».

Тонкодисперсный кварцевый порошок представлял собой кварцевую муку белого цвета с размером частиц от 5 до 10 мкм и плотностью 2,56 г/см<sup>3</sup>, которой частично заменяли мелкий заполнитель.

Поликарбоксилатный суперпластификатор Sika®ViscoCrete®-151 производства фирмы «Sika Limited» (Вьетнам) с плотностью 1,075–0,095 кг/л и значением pH=4–6 соответствовал требованиям ГОСТ 24211–2008 «Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия».

Вода, использованная для приготовления бетонных смесей, соответствовала требованиям ГОСТ 23732–2011 «Вода для бетонов и строительных растворов. Технические условия».

Подвижность свежеприготовленных бетонных смесей определяли с помощью стандартного конуса Абрамса с размерами 100×200×300 мм по ГОСТ 10181–2014 «Смеси бетонные. Методы испытаний».

Прочность разработанных бетонов при сжатии определяли на образцах кубической формы с размерами 150×150×150 мм, прочность на осевое растяжение – на цилиндрических образцах 150×300 мм, а на

растяжение при изгибе – на образцах-призмах 100×100×400 мм в соответствии с требованиями ГОСТ 10180–2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам».

**Проектирование составов бетонных смесей**

Для проведения исследований было приготовлено 15 составов смесей с одинаковым соотношением воды к связующему 0,3. Микрокремнезем вводили в количествах 0% (в контрольную смесь); 5; 7,5; 10 и 12,5%, а 3У – в количествах 0% (контрольная смесь), 20, 30 и 40% от массы вяжущего. В тринадцати смесях 20% песка было заменено кварцевой мукой. Составы бетонных смесей представлены в табл. 3.

**Приготовление образцов для испытаний**

Сухие материалы смешивали в течение 2 мин в лабораторном барабанном смесителе, затем в воду добавляли суперпластификатор в количестве 1,8% от массы связующего и продолжали перемешивание всех сырьевых компонентов в течение еще 3 мин. Далее изготавливали образцы для испытаний, которые сперва 24 ч твердели в формах, после чего их извлекали из форм и погружали в воду для дальнейшего твердения вплоть до времени испытаний в возрасте 3, 7, 28 и 56 сут. По достижении нужного времени твердения образцы извлекали из воды, высушивали на воздухе и испытывали их прочность при сжатии, на растяжение и при изгибе в соответствии с требованиями ГОСТ 10180–2012 с помощью универсальной испытательной установки «Matest» модели C089-17N (Италия) мощностью 3000 кН.

Таблица 4  
Table 4

Прочностные свойства разработанных бетонов  
Strength properties of developed concrete

Состав	Вяжущее	В/Ц	Прочность при сжатии в разных возрастах твердения, МПа				Прочность при растяжении в возрасте 28 сут, МПа	Прочность на растяжение при изгибе в 28 сут, МПа
			3 сут	7 сут	28 сут	56 сут		
C1	Общее содержание вяжущего составляет 550 кг/м <sup>3</sup>	0,3	67,6	71,1	82,3	86,8	5,7	7,85
C2			72,6	82,6	86,2	91,5	5,99	9,16
C3			41,3	62,2	65,3	78,5	4,86	7,84
C4			52,4	76	81,8	97,9	5,7	8,77
C5			67,3	72,9	80,2	95,7	5,6	8,32
C6			56,7	60,9	70,8	85,1	5,13	8,16
C7			60	81	89,5	107,6	6	9,17
C8			63,9	67,5	81,6	98,1	5,66	8,85
C9			59,1	66,7	74,8	89,9	5,32	8,39
C10			62,1	81,9	87,9	105,8	5,93	9,1
C11			69,3	75	90,8	109,8	6,06	9,34
C12			65,3	72,4	89,8	109,6	6,08	9,26
C13			59	83,8	91,2	109,6	6,18	9,37
C14			72,2	76,1	84,2	101,2	5,76	8,9
C15			56,4	57,3	76,1	91,5	5,39	8,46

Результаты исследования

При добавлении тонкодисперсных минеральных наполнителей, более мелких, чем частицы цемента, инертный наполнитель в виде кварцевой муки заполняет поры в цементной пасте, а активные минеральные добавки (ЗУ и МК), частично замещающие цемент в составе вяжущего, вступают в пуццолановую реакцию с портландитом, образуя С–Н–S гель, который уплотняет структуру цементного камня и делает ее более прочной [19]. При этом частицы золы-уноса вместе с кварцевой мукой заполняют пустоты между частицами цемента, а МК с размером частиц <0,1 мкм – пустоты между частицами золы и кварцевой муки, что позволяет создать наибольшую плотность упаковки. Сферическая форма частиц золы-уноса, действующих как шарикоподшипники, способствует увеличению подвижности бетонной смеси [20–23].

Результаты испытаний, приведенные в табл. 4, показывают, что прочностные показатели разработанных бетонов возрастают по мере их твердения. Прочность бетонов при сжатии в возрасте 28 сут находится в интервале 65,3–91,2 МПа, в возрасте 56 сут – в интервале 78,5–109,8 МПа. В возрасте твердения 3 сут образцы состава С3 показали наименьшее значение прочности при сжатии, равное 41,3 МПа, в то время как образцы состава С11 достигли наибольшей прочности 109,8 МПа после 56-дневного твердения, показав ее прирост в 58% по сравнению с трехсуточной прочностью, что можно объяснить нарастающим образованием С–Н–S геля в результате протекающей пуццолановой реакции. В возрасте 28 сут составы С7, С10, С11, С12 и С13 показали прочность при сжатии соответственно

89,5; 87,9; 90,8; 89,8 и 91,2 МПа, что выше, чем у образцов других составов. Интересно отметить, что при замене цемента в составе вяжущего активными минеральными добавками в количестве 40–42,5% (составы С11 и С14) прочность при сжатии разработанных бетонов в трехсуточном возрасте достигала соответственно 69,3 и 72,2 МПа, что выше, чем у контрольного состава С1 с прочностью 67,6 МПа. Из результатов, представленных в табл. 4, видно, что практически у всех составов, содержащих минеральные добавки, наблюдается более медленный рост прочности при сжатии по сравнению с контрольным. Причина этого в том, что пуццолановая реакция в бетонных смесях протекает медленно, и поэтому бетоны, содержащие активные минеральные добавки вместо части цемента, достигают высокой прочности в более поздние сроки [24, 25].

После 7 сут твердения прочность при сжатии разработанных бетонов составов С13, С10, С7, С14, С4, С11, С5 и С12, в которых портландцемент был заменен 20–30% золы-уноса и 5–12,5% микрокремнезема, составила соответственно 83,8; 81,9; 81; 76,1; 76; 75,0; 72,9 и 72,4 МПа. Достигнутые значения прочности превосходят прочность контрольных образцов состава С1 в том же возрасте, равную 71,1 МПа, максимумом до 18%. С другой стороны, у образцов составов С8, С9, С3, С6 и С15, содержащих 40% ЗУ и от 5 до 12,5% МК взамен части цемента, прочность при сжатии составила соответственно 67,5; 66,7; 62,2; 60,9 и 57,3 МПа, что подтверждает сделанный выше вывод о более медленном наборе прочности бетонами, содержащими вместо части цемента значительное количество минеральных добавок, обладающих пуццолановой активностью [24, 25].

Из результатов испытаний, приведенных в табл. 4, видно, что оптимальное содержание использованных золы-уноса и микрокремнезема, заменяющих цемент, которое позволяет получить бетон с прочностью при сжатии в возрасте 56 сут твердения 109 МПа, составляет 10–12,5% МК и 20–40% ЗУ при условии замены 20% песка кварцевой мукой (составы С11–С13).

Прочность на растяжение при изгибе разработанных бетонов с минеральными добавками после 28-суточного твердения составила от 7,84 до 9,37 МПа, а на осевое растяжение 4,86–6,18 МПа, что в большинстве значений выше, чем у бетона контрольного состава (7,85 и 5,7 МПа соответственно). Полученные результаты, по-видимому, можно объяснить уплотнением структуры цементного камня контактной зоны около зерен заполнителей в результате происходящей пуццолановой реакции, приводящей к образованию низкоосновных гидросиликатов кальция. При этом лучшие результаты были получены при замене части цемента совместно 10% микрокремнезема и 30–40% золы-уноса, а также при сочетании 7,5–12,5% МК с 20% ЗУ (табл. 4).

#### Заключение

На основании результатов и проведенных экспериментальных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Был подобран оптимальный состав бетонной смеси, в результате затвердевания которой можно получить высокопрочный бетон, обладающий прочностью при сжатии не менее 80 МПа в возрасте твердения 28 сут, используя при этом местные вьетнамские сырьевые материалы, включая техногенные отходы в виде микрокремнезема и топливной золы-уноса, обладающие пуццолановой активностью и позволяющие заменить 25–50% цемента в составе вяжущего.

2. Установлено, что для достижения высоких прочностных показателей бетона в возрасте твердения до 56 сут дозировка микрокремнезема в количестве 10–12,5% является оптимальной для замены части цемента в бетонных смесях при содержании низкокальциевой золы-уноса в составе вяжущего от 20 до 40%.

3. Использование многотоннажных промышленных отходов, таких как зола-уноса, образующаяся в результате работы большого числа угольных теплоэлектростанций во Вьетнаме, и микрокремнезем, представляющий собой побочный продукт производства ферросилициумных сплавов, для экономии цемента путем снижения его содержания в составе вяжущего будет способствовать защите окружающей среды, в том числе из-за сокращения площадей свалок, отводимых для захоронения техногенных отходов, а также за счет сокращения выбросов углекислого газа при производстве цемента.

4. Применение высокопрочных бетонов в Социалистической Республике Вьетнам при строи-

тельстве зданий и сооружений различного хозяйственного назначения в прибрежной зоне должно способствовать повышению их долговечности и снижению затрат на последующее техническое обслуживание и ремонт.

#### Список литературы / References

- Hoff G.C. Utilization of high-strength concrete in North America. *Proceeding of the Third International on Utilization of High-Strength Concrete in Lillehammer*. 1993, pp. 28–36.
- Holand I. High-strength concrete in Norway – utilization and research. *Proceeding of the Third International on Utilization of High-Strength Concrete*. 1993, pp. 68–79.
- Pierre-Claude Aitcin, Moussa Baalbaki. Canadian experience in producing and testing HPC. *International Concrete Abstracts Portal*. 1996, pp. 295–308.
- De Larrard. A survey of recent research performed in French “LPC” network on high-performance concrete. *The Third International on Utilization of High-Strength Concrete*. 1993, pp. 57–67.
- Sicard V., Pons G. High-performance concretes: some phenomena in relation to desiccation. *Materials and Structures*. 1992. Vol. 25 (10), pp. 591–597. DOI:10.1007/bf02472227
- Potter R.J., Guirguis S. High-strength concrete in Australia. *The Third International on Utilization of High strength Concrete in Lillehammer*. 1993, pp. 581–9.
- König, G. Utilization of High-strength concrete in Germany. *Proceeding of The Third International on Utilization of High strength Concrete in Lillehammer*. 1993, pp. 45–56.
- Aoyama H., Murato T., Hiraishi H., Bessho S. Outline of the Japanese national project on advanced reinforced concrete buildings with high-strength and high-quality materials. *ACI SP-121*. 1990, pp. 21–31.
- Sung-Woo Shin. High-strength concrete in Korea. *Engineered Concrete Structures*. 1990. Vol. 3 (2), pp. 3–4.
- Zhu Jinqum, Hu Qingchang. High strength concrete in China. *Engineered Concrete Structures*. 1993. Vol. 6 (2), pp. 1–3.
- Chern J.C., Hwang C.L., Tsai T.H. Research and development of high performance concrete in Taiwan. *Concrete International*. 1995. Vol. 17 (10), pp. 71–77.
- Karthikeyan G., Balaji M., Adarsh R. Pai, Krishnan A. Muthu. High-performance concrete (HPC) – an innovative cement concrete mix design to increase the life span of structures. *Sustainable Construction and Building Materials*. 2018, pp. 189–199. DOI: 10.1007/978-981-13-3317-0\_17
- Bilek V., Pytlík D., Bambuchová M. High performance concrete with ternary binders. *Key Engineering Materials*. 2018. Vol. 761, pp. 120–123. DOI:10.4028/www.scientific.net/KEM.761.120
- Ahmet Benli, Kazim Turk, Ceren Kina. Influence of silica fume and class f fly ash on mechanical and rheological properties and freeze-thaw durability of

- self-compacting mortars. *Journal of Cold Regions Engineering*. Vol. 32. Iss. 3. 2018. 04018009. DOI:10.1061/(asce)cr.1943-5495.0000167
15. Petr Hajek. Advanced high-performance concrete structures – challenge for sustainable and resilient future. *MATEC Web of Conferences 195 (ICRMCE 2018)*. 2018. 01001. DOI: 10.1051/mateconf/201819501001
  16. Petr Hajek, Ctislav Fiala. Advanced concrete structures for the sustainable- and resilient-built environment. *DSCS 2018, ACI*. Moscow, pp. 69.1–69.8.
  17. Chena J.J., Ng P.L., Li L.G., Kwan A.K.H. Production of high-performance concrete by addition of fly ash microsphere and condensed silica fume. *Procedia Engineering*. 2017. Vol. 172, pp. 165–171. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.02.045
  18. Elahi A., Basheer P.A.M., Nanukuttan S.V., Khan Q.U.Z. Mechanical and durability properties of high-performance concretes containing supplementary cementitious materials. *Construction and Building Materials*. 2010. Vol. 24. Iss. 3, pp. 292–299. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2009.08.045
  19. Kwan A.K.H., Chen J.J. Adding fly ash microsphere to improve packing density, flowability and strength of cement paste. *Powder Technology*. 2013. Vol. 234, pp. 19–25. DOI:10.1016/j.powtec.2012.09.016
  20. Jae Hong Kim, Nagy Noemi, Surendra P. Shah. Effect of powder materials on the rheology and formwork pressure of self-consolidating concrete. *Cement and Concrete Composites*. 2012. Vol. 34 (6), pp. 746–753. DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2012.02.016
  21. Kashani Alireza, Nicolas R.S., Qiao G.G., Deventer J.S.V., Provis John L. Modelling the yield stress of ternary cement-slag-fly ash pastes based on particle size distribution. *Powder Technology*. 2014. Vol. 266, pp. 203–209. DOI: 10.1016/j.powtec.2014.06.041
  22. Bentz Dale P., Ferraris C.F., Galler M.A., Hansen A.S., Guynn J.M. Influence of particle size distributions on yield stress and viscosity of cement fly ash pastes. *Cement and Concrete Research*. 2012. Vol. 42 (2), pp. 404–409. DOI: 10.1016/j.cemconres.2011.11.006
  23. Lee C.Y., Lee H.K., Lee K.M. Strength and microstructural characteristics of chemically activated fly ash-cement systems. *Cement and Concrete Research*. 2003. Vol. 33 (3), pp. 425–431. DOI: 10.1016/S0008-8846(02)00973-0
  24. Shaikh Faiz U.A., Supit Steve W.M. Compressive strength and durability properties of high volume fly ash concretes containing ultrafine fly ash. *Construction and Building Materials*. 2015. Vol. 82, pp. 192–205. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2015.02.068
  25. Ashish Kumer Saha, Sarker P.K. Sustainable use of ferronickel slag fine aggregate and fly ash in structural concrete: Mechanical properties and leaching study. *Journal of Cleaner Production*. 2017. Vol. 162, pp. 438–448. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.06.035

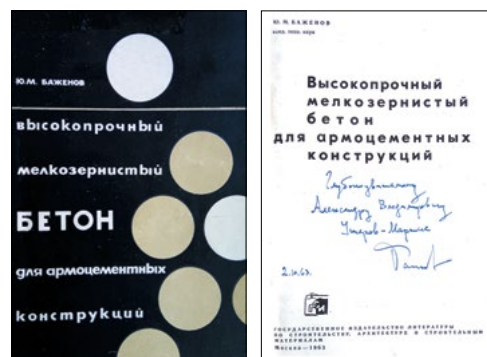
**ПОЗДРАВЛЯЕМ КОЛЛЕГУ**

## Два штриха к одному портрету

Монографии, учебники, статьи – фрагменты профессионального портрета любого ученого.

57 лет назад кандидат технических наук Юрий Михайлович Баженов подарил мне, аспиранту из Харькова, небольшую, в 127 страниц и ценой 42 копейки, книгу под названием «Высокопрочный мелкозернистый бетон для армоцементных конструкций». Эта книга в моей библиотеке более полувека занимает достойное место, выдержав жесткие условия естественного отбора по признакам научно-практической целесообразности и актуальности. Глубина проработки материала отражается в ее содержании. Четыре главы охватывают решение задач прочности и деформативных свойств, долговечности, технологии, контроля качества армоцемента. Наиболее интересны и экспериментально доказательны результаты испытаний его свойств. Значителен объем литературных ссылок, указывающий на всесторонние знания опыта предшественников, начиная с учителя автора – Бориса Григорьевича Скрамтаева.

Вторая книга – одно из изданий учебника «Технология бетонов», ставшего классикой бетоноведения для не одного поколения технологов – студентов, научных работников и практиков всего Союза и стран бывшего соцлагеря.



Главный учебник страны и его автор стали предметом моей эпиграммы:

*Ты памятник себе замыслил,  
Где пьедестал – учебников гора.  
Когда бы их студент осмыслил,  
Тогда бы я вскричал ура!*

Она так понравилась Юрию Михайловичу, что при наших встречах на конференциях или юбилеях он всегда требовал авторского исполнения.

Такие вот два штриха к портрету выдающегося ученого – целой эпохи строительного материаловедения.

**С юбилеем! Будьте здоровы, дорогой коллега и учитель!**

**А.В. Ушеров-Маршак**



Ю.В. ПУХАРЕНКО, д-р техн. наук, член-корр. РААСН (tsik@spbgasu.ru),  
В.И. МОРОЗОВ, д-р техн. наук, член-корр. РААСН, Д.А. ПАНТЕЛЕЕВ, канд. техн. наук,  
М.И. ЖАВОРОНКОВ, канд. техн. наук

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет  
(190005, г. Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, 4)

## Определение прочности сцепления армирующих волокон с матрицей в фибробетоне

Рассмотрен вопрос определения характеристики сцепления фибр с матрицей, которая необходима при теоретическом прогнозировании поведения фибробетона под нагрузкой и определении показателей его трещиностойкости расчетным путем, а также является одной из величин, определяющих механизм разрушения цементного композита. Приводится существующая методика определения характеристики прочности сцепления фибр с матрицей, рассматривается эффективность ее применения на примере низко модульной синтетической фибры. Методика предусматривает изготовление и испытание нескольких серий фибробетонных образцов и последующий расчет по полученным результатам характеристики прочности сцепления волокон с цементной матрицей. При этом требуется определить такое объемное содержание волокон, после введения которого наблюдается устойчивое повышение прочности фибробетона. Однако известно, что низко модульная фибра не оказывает заметного влияния на прочность фибробетона, в связи с чем определение характеристики ее сцепления с матрицей может быть затруднено, что вызывает необходимость совершенствования существующего метода и свидетельствует об актуальности темы исследования.

**Ключевые слова:** волокно, матрица, фибробетон, низко модульная фибра, цементный композит, характеристика сцепления.

**Для цитирования:** Пухаренко Ю.В., Морозов В.И., Пантелеев Д.А., Жаворонков М.И. Определение прочности сцепления армирующих волокон с матрицей в фибробетоне // *Строительные материалы*. 2020. № 3. С. 30–43.

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-779-3-39-43>

Yu.V. PUHARENKO, Doctor of Sciences (Engineering), Corresponding member of RAACS (tsik@spbgasu.ru),

V.I. MOROZOV, Doctor of Sciences (Engineering), Corresponding member of RAACS,

D.A. PANTELEEV, Candidate of Sciences (Engineering), M.I. ZHAVORONKOV, Candidate of Sciences (Engineering)

Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (4, Vtoraya Krasnoarmeiskaya Street, Saint Petersburg, 190005, Russian Federation)

### Determination of the Adhesion Strength of Reinforcing Fibers to the Matrix in Fiber Concrete

The issue of determining the characteristics of the adhesion of fibers to the matrix, which is necessary for the theoretical prediction of the behavior of fiber concrete under load and determining the indicators of its crack resistance by calculation, is considered; it is also one of the values that determine the mechanism of destruction of the cement composite. The existing method for determining the characteristics of the fiber-matrix adhesion strength is presented, the effectiveness of its application is considered on the example of low-modulus synthetic fiber. The method provides for the production and testing of several series of fiber concrete samples and subsequent calculation of the strength characteristics of the adhesion of fibers to the cement matrix based on the results obtained. In this case, it is necessary to determine such a volume content of fibers, after the introduction of which there is a steady increase in the strength of fiber concrete. However, it is known that low-modulus fiber does not have a noticeable effect on the strength of fiber concrete, so determining the characteristics of its adhesion to the matrix may be difficult, which causes the need to improve the existing method and indicates the relevance of the research topic.

**Keywords:** fiber, matrix, fiber concrete, low-modulus fiber, cement composite, adhesion characteristics.

**For citation:** Puharenko Yu.V., Morozov V.I., Panteleev D.A., Zhavoronkov M.I. Determination of the adhesion strength of reinforcing fibers to the matrix in fiber concrete. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2020. No. 3, pp. 39–43. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-779-3-39-43>

Все более широкое применение в строительной практике находит фибробетон, что обусловлено его улучшенными по сравнению с традиционным бетоном и железобетоном физико-механическими и эксплуатационными характеристиками, а также особенностями производства фибробетонных изделий и конструкций, требующего значительно меньших материальных, энергетических и трудовых затрат. Применение фибробетона в железобетонных конструкциях позволяет сократить расход, а в ряде случаев полностью отказаться от стержневой арматуры, уменьшить толщину защитного слоя бетона и площади рабочих сечений в целом. Повышенные силовые и энергетические характеристики трещиностойкости

композитов, изготавливаемых с использованием различных видов фибр, обеспечивают безопасность и эксплуатационную надежность конструкций [1, 2]. Перспективы данного материала обуславливаются постоянно расширяющейся номенклатурой армирующих волокон и возможностью изготавливать фибробетоны с различными свойствами путем армирования как отдельными видами фибры, так и ее всевозможными комбинациями [3, 4].

Вместе с тем дальнейшее расширение областей практического применения фибробетона ограничивается, во-первых, недостатком статистических и справочных данных о влиянии применяемых волокон на его разнообразные свойства и характеристи-

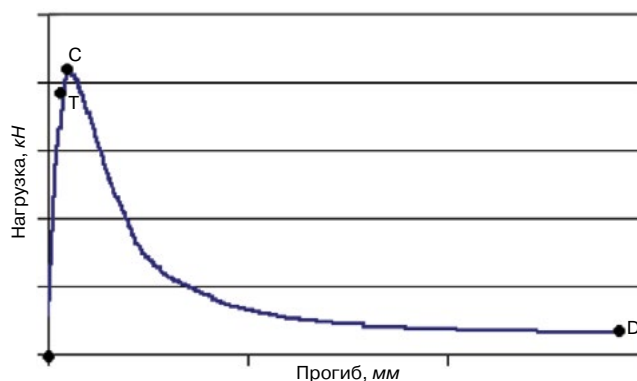
ки, во-вторых – несовершенством нормативно-технической базы и инструментальных методов их испытаний. В связи с этим особую актуальность приобретают исследования, направленные на изучение влияния вида и количества волокон на свойства получаемых композитов, а также на совершенствование существующих и разработку новых методов исследований физико-механических характеристик фибробетона.

Известно, что в большой степени армирующие волокна влияют на трещиностойкость получаемых фибробетонов, т. е. на способность материала сопротивляться образованию и развитию трещин. Это объясняется тем, что фибробетон представляет собой композит, в бетонной матрице которого по всему ее объему распределены армирующие волокна, способные при возникновении трещин в образце, изделия или конструкции ограничивать их развитие, воспринимая значительную часть приложенной нагрузки [5].

Исследованию трещиностойкости различных материалов посвящено много научных работ, которые в основном относятся к механике разрушения и численно характеризуют данное качество критическим коэффициентом интенсивности напряжений [6, 7]. Для определения этого показателя для бетона применяются как стандартные способы в соответствии с отечественными или зарубежными нормативными документами, так и оригинальные, подразумевающие использование специфического оборудования и особых методик обработки результатов измерений [8]. Наиболее информативными являются данные, полученные при проведении испытаний по ГОСТ 29167–91 «Бетоны. Методы определения характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) при статическом нагружении». Как следует из названия документа, он предназначен для испытаний неармированных бетонов, однако также установлено, что при обеспечении достаточной точности испытательного оборудования он может быть применен и при испытании фибробетонов [9, 10]. В соответствии с положениями ГОСТ 29167–91 следует производить испытания прочности образцов-балок при трехточечном изгибе, при этом контролировать прилагаемую нагрузку и прогиб, вызываемый ее действием. По полученным данным строятся диаграммы, подобные представленной на рис. 1.

В процессе обработки получаемых диаграмм проводятся дополнительные построения, отделяющие различные этапы деформирования и разрушения исследуемого материала. Площади образующихся фигур характеризуют энергозатраты на различных этапах нагружения, а по координатам ключевых точек диаграмм можно расчетным путем определить прочность на растяжение при изгибе, модуль упругости и коэффициент интенсивности напряжений.

Описанный метод достаточно эффективен и, как было описано ранее, позволяет получать достаточно полную информацию о деформационных характеристиках фибробетона, однако даже при использова-



**Рис. 1.** Вид диаграммы деформирования фибробетонного образца при изгибе

**Fig. 1.** Bending diagram of the deformation of a fiber-reinforced concrete sample during bending

нии современного оборудования, различных средств автоматизации и возможностей компьютерного программирования оказывается достаточно трудоемким. В связи с этим представляется целесообразным предварительное моделирование поведения фибробетона под нагрузкой, расчетным путем оценивая влияние вида и количества волокон на характеристики его трещиностойкости, и только после этого производить экспериментальные исследования для уточнения и подтверждения расчетных данных.

Результативность такого подхода показана в работе [11], где приведен общий вид диаграмм деформирования фибробетонных образцов с обозначенными на них характерными точками и разработаны теоретические зависимости для определения их координат. Для выполнения расчетов по предложенным формулам необходимо знать вид волокон, их длину и диаметр, собственную прочность и прочность их сцепления с бетонной матрицей. Длину и диаметр волокон несложно измерить, а их прочностные характеристики представляют собой справочные данные. Определенную сложность вызывает оценка величины сцепления фибр с матрицей, так как имеющиеся данные по этому вопросу с учетом существующего многообразия армирующих волокон крайне немногочисленны. В связи с этим исследования характеристик прочности сцепления фибр с матрицей представляются весьма актуальными.

Известен метод определения характеристики сцепления армирующих волокон с матрицей по результатам испытания прочности стандартных образцов, изготовленных из цементного теста нормальной густоты с минимально необходимым расходом волокон, после которого они начинают эффективно работать в составе получаемого композита, оказывая заметное влияние на его свойства [12, 13]. Известно, что при использовании высокомодульных волокон увеличение их количества в объеме цементной матрицы сначала не приводит к изменению прочности (эффект рассеянного армирования), затем начиная с некоторого критического содержания прочность фиброцемента начинает повышаться, поскольку содер-

жание фибры становится достаточным для участия в восприятии нагрузок. При дальнейшем насыщении матрицы волокнами прочность композита достигает максимального значения и начинает снижаться, что обусловлено возникновением дефектов в структуре фиброцемента, вызванных технологическими трудностями. Таким образом, в процессе реализации методики требуется определить такой расход фибры, после которого прочность фиброцемента будет устойчиво возрастать.

Считается, что низкомолекулярные волокна в фиброармированных бетонах не могут выступать в качестве эффективного упрочнителя [14], и в данном случае на графике зависимости прочности от объемного содержания волокон скорее следует искать точку, после которой наблюдается не рост прочности композита, а ее устойчивое снижение.

Данная методика была использована в настоящей работе для оценки прочности сцепления синтетической полипропиленовой фибры «fibrin» с цементным камнем. Указанный вид фибры представляет собой отрезки полипропиленовых волокон длиной 12 мм и диаметром 0,02 мм. Модуль упругости таких волокон составляет примерно 6000 МПа. Для приготовления цементного теста использовался портландцемент ЦЕМ I 42,5 Н Сланцевского цементного завода «Цесла» с нормальной плотностью 31,75%. В соответствии с методикой изготавливались образцы-балки из цементного теста нормальной плотности с постепенным, от серии к серии повышением в составе смеси количества волокон в диапазоне от 0,05 до 1,5% по объему. Изготовленные образцы испытывались на изгиб в возрасте 28 сут. Результаты определения прочности фиброцемента на растяжение при изгибе в зависимости от объемного содержания волокон представлены на рис. 2.

По графику (рис. 2) видно, что прочность композита начинает устойчиво изменяться относительно неармированного цементного камня при насыщении смеси волокнами в интервале 0,7–0,8%. При этом однозначно определить координаты точки, соответствующей минимальному объемному содержанию волокон в объеме композита, оказывается затруднительным. Кроме того, следует отметить, что вопреки ожиданию прочность фиброцемента в указанном диапазоне и далее повышается при увеличении расхода волокон, что противоречит общепринятой точке зрения о влиянии низкомолекулярной фибры на свойства получаемого композита [14, 15]. Для объяснения данного эффекта проведен более полный анализ полученных данных с использованием диаграмм деформирования фиброцементных образцов под нагрузкой, построенных в процессе испытаний и представленных на рис. 3.

По рис. 3 видно, что все диаграммы имеют одну характерную особенность, которая обусловлена видом используемой фибры: каждая из линий имеет две вершины, одна из которых (на рисунке левая) отражает поведение образца на стадиях упругого и упруго-

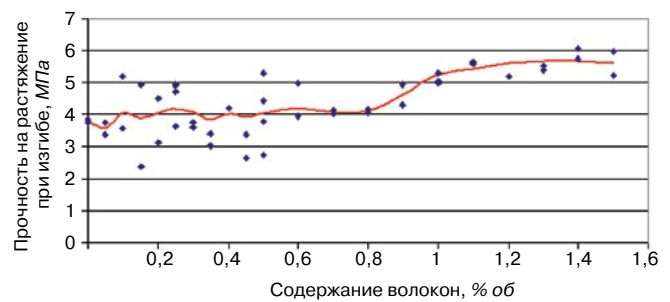


Рис. 2. Зависимость прочности фиброцементных образцов на растяжение при изгибе от объемного содержания волокон

Fig. 2. The dependence of the tensile strength of fiber cement samples in bending on the volumetric content of fibers

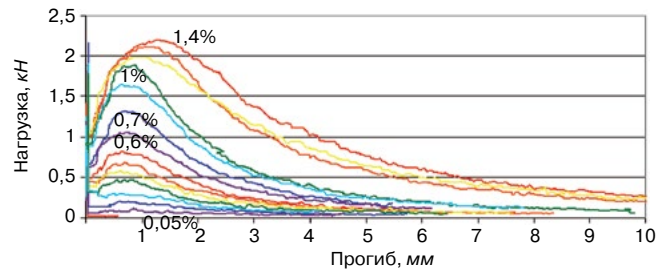


Рис. 3. Диаграммы зависимости прогибов фиброцементных образцов от прилагаемых нагрузок

Fig. 3. Diagrams of the dependence of the deflection of fiber cement samples from the applied loads

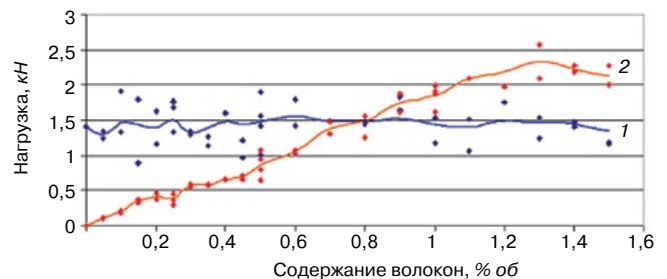


Рис. 4. Влияние процента армирования на величину максимальной нагрузки, воспринимаемой матрицей (1) и волокнами (2) в фиброцементе

Fig. 4. The influence of the percentage of reinforcement on the maximum load perceived by the matrix (1) and fibers (2) in fiber cement

пластического деформирования и соответствует моменту образования магистральной трещины, а вторая характеризует работу фибры в образце с трещиной.

На рис. 4 представлены линии, показывающие местоположение экстремальных точек на диаграммах деформирования фиброцементных образцов в зависимости от объемного содержания волокон.

Несмотря на некоторый разброс данных, очевидно, что нагрузка, разрушающая матрицу, практически не изменяется во всем исследуемом диапазоне и не зависит от количества армирующих волокон. Таким образом, процесс образования и развития трещин контролируется именно матрицей, т. е. цементным камнем с более высоким, чем у полипропиленовых волокон, модулем упругости. После образования трещины происходит снижение нагрузки до некоторой величины, в зависимости от количества волокон в образце, и происходит ее перераспределение на волокна, преимущественно на те, которые пересека-

ют трещину. В этот момент модуль упругости волокон становится выше модуля деформации (модуль упругопластичности) цементной матрицы, определяемого по формуле (1):

$$E_{fb}^1 = \nu_f E_{fb}, \quad (1)$$

где  $\nu_f$  – коэффициент упругопластичности в момент, предшествующий разрушению фибробетона.

Известно, значение ( $\nu$ ) изменяется от 1 (в упругой стадии работы бетона) до 0,15 (в момент, предшествующий разрушению). Это значит, что модуль деформации цементного камня под нагрузкой изменяется с 30 000 до 4500 МПа, что ниже модуля упругости используемых в исследовании волокон. Таким образом, после образования трещины нагрузка в композите воспринимается только волокнами, которые, вытягиваясь из цементного камня, удерживают образец от деления на части. Линия максимальных нагрузок, воспринимаемых волокнами в зависимости от их объемного содержания, представлена на рис. 4. Данными обстоятельствами и объясняется отмеченное выше кажущееся противоречие.

Одновременно на рис. 4 видно, что представленные графики пересекаются в точке, соответствующей объемному насыщению волокнами, равному 0,8%. Именно эта точка характеризует минимальное количество волокон, при котором прочность фиброцемента равна прочности цементного камня без во-

локон и после которого дальнейшее увеличение процента армирования приводит к повышению прочности композита. Исходя из этого можно записать условие равновесия.

Прочность фиброцемента, обеспеченную только вытягивающимися волокнами, можно определить по формуле (2):

$$R_{изг} = \frac{2\tau l_f \mu_f}{d}, \quad (2)$$

где  $\tau$  – прочность сцепления волокон с матрицей;  $l_f$  – длина фибры;  $\mu_f$  – объемная доля фибры;  $d$  – диаметр фибры;  $R_{изг}$  – прочность цементного камня на растяжение при изгибе.

Прочность на растяжение при изгибе можно также определить по формуле (3):

$$R_{изг} = \frac{3Pl}{2bh^2}, \quad (3)$$

где  $P$  – разрушающая нагрузка;  $b$  – ширина образца;  $h$  – высота образца;  $l$  – база испытаний.

При подстановке численных значений в формулу (2), решая относительно прочности сцепления волокон с матрицей, определяем для полипропиленовых волокон  $\tau=0,503$  МПа.

В настоящее время планируется продолжение данной работы с целью определения характеристики прочности сцепления с цементным камнем других видов фибр.

#### Список литературы

1. Рабинович Ф.Н. Композиты на основе дисперсно-армированных бетонов. Вопросы теории и проектирования, технология, конструкции. М.: Издательство АСВ, 2004. 560 с.
2. Рабинович Ф.Н. Бетоны, дисперсно-армированные волокнами: Обзор. М.: Всесоюзный научно-исследовательский институт научной и технической информации и экономики промышленности строительных материалов, 1976. 73 с.
3. Пантелеев Д.А. Деформативные и прочностные характеристики полиармированного фибробетона // *Известия КГАСУ*. 2015. № 3 (33). С. 133–139.
4. Пантелеев Д.А. Оценка эффективности полиармирования фибробетона // *Вестник гражданских инженеров*. 2013. № 6 (41). С. 102–108.
5. Пухаренко Ю.В., Магдеев У.Х., Морозов В.И., Пантелеев Д.А., Жаворонков М.И. Исследование свойств сталефибробетона на основе аморфной металлической фибры // *Вестник ВолгГАСУ*. 2013. Вып. 31 (50). С. 132–135.
6. Мэттьюз Ф., Ролингс Р. Композиционные материалы. Механика и технология. М.: Техносфера, 2004. 408 с.
7. Партон В.З. Механика разрушения: от теории к практике. М.: Наука, 1990. 240 с.
8. Зерцалов М.Г., Хотеев Е.А. Экспериментальное определение характеристик трещиностойкости

#### References

1. Rabinovich, F.N. Kompozity na osnove dispersno armirovannykh betonov. Voprosy teorii i proektirovaniya, tekhnologiya, konstruktssii [Composites based on dispersed reinforced concrete. Questions of theory and design, technology, constructions]. Moscow: ASV. 2004. 560 p.
2. Rabinovich F.N. Betony, dispersno-armirovannye voloknami: Obzor [Concrete, dispersed-fiber-reinforced: Overview]. Moscow: All-Union Scientific Research Institute of Scientific and Technical Information and Economics of the Building Materials Industry. 1976. 73 p.
3. Panteleev D.A. Deformative and strength characteristics of poly-reinforced fiber-reinforced concrete. *Izvestiya KGASU*. 2015. No. 3 (33), pp. 133–139. (In Russian).
4. Panteleev D.A. Evaluation of the effectiveness of poly-reinforced fiber-reinforced concrete. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*. 2013. No. 6 (41), pp. 102–108. (In Russian).
5. Puharenko Yu.V., Magdeev U. Kh., Morozov V.I., Panteleev D.A., Zhavoronkov M.I. Investigation of the properties of steel fiber concrete based on amorphous metal fiber. *Vestnik VolgGASU*. 2013. Iss. 31 (50), pp. 132–135. (In Russian).
6. Mett'yuz F., Rolings R. Kompozitsionnye materialy. Mekhanika i tekhnologiya [Composite materials: engineering and science]. Moscow: Tekhnosfera. 2004. 408 p.
7. Parton V.Z. Mekhanika razrusheniya: Ot teorii k praktike [Fracture mechanics: From theory to practice]. Moscow: Nauka. 1990. 240 p.

- фибробетона // *Вестник МГСУ*. 2014. № 5. С. 91–99.
9. Жаворонков М.И. Методика определения энергетических и силовых характеристик разрушения фибробетона // *Вестник гражданских инженеров*. 2014. № 6 (47). С. 155–160.
  10. Жаворонков М.И. Определение характеристик разрушения и модуля упругости фибробетона // *Известия КГАСУ*. 2015. № 3 (33). С. 114–120.
  11. Пухаренко Ю.В., Пантелеев Д.А., Жаворонков М.И. Диаграммы деформирования цементных композитов, армированных стальной проволоочной фиброй // *Academia. Архитектура и строительство*. 2018. № 2. С. 143–147.
  12. Пухаренко Ю.В., Голубев В.Ю. О вязкости разрушения фибробетона // *Вестник гражданских инженеров*. 2008. № 3. С. 80–83.
  13. Пухаренко Ю.В., Голубев В.Ю. Высокопрочный сталефибробетон // *Промышленное и гражданское строительство*. 2007. № 9. С. 40–41.
  14. Пухаренко Ю.В. Принципы формирования структуры и прогнозирование прочности фибробетонов // *Строительные материалы*. 2004. № 10 (598). С. 47–50.
  15. Кострикин М.П. Характер и степень взаимодействия синтетической макрофибры с цементным камнем // *Вестник гражданских инженеров*. 2018. № 4 (69). С. 116–120.
  8. Zertsalov M.G., Khoteev E.A. Experimental determination of fiber-reinforced concrete crack resistance characteristics. *Vestnik MGSU*. 2014. No. 5, pp. 91–99. (In Russian).
  9. Zhavoronkov M.I. Method of determining the energy and power characteristics of the destruction of fiber-reinforced concrete. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*. 2014. No. 6 (47), pp. 155–160. (In Russian).
  10. Zhavoronkov M.I. Determination of fracture characteristics and elastic modulus of fiber-reinforced concrete. *Izvestiya KGASU*. 2015. No. 3 (33), pp. 114–120. (In Russian).
  11. Puharenko Yu.V., Panteleev DA, Zhavoronkov M.I. Deformation diagrams of cement composites reinforced with steel wire fiber. *Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo*. 2018. No. 2, pp. 143–147. (In Russian).
  12. Puharenko, Yu.V., Golubev, V.Yu. On the viscosity of the destruction of fiber-reinforced concrete. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*. 2008. No. 3, pp. 80–83. (In Russian).
  13. Puharenko, Yu.V., Golubev V.Yu. High-strength steel fiber concrete. *Promishlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2007. No. 9, pp. 40–41. (In Russian).
  14. Puharenko Yu.V. Principles of formation of the structure and prediction of the strength of fiber-reinforced concrete. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2004. No. 10 (598), pp. 47–50. (In Russian).
  15. Kostrikin M.P. The character and degree of interaction of synthetic macrofiber with cement stone. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*. 2018. No. 4 (69), pp. 116–120. (In Russian).



Инженерный центр «Энергопрогресс» (Казань)  
 Российская Академия Архитектуры и Строительных Наук (РААСН)  
 Донской государственной технической университет (ДГТУ)  
 Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова (КБГУ)  
 Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ)  
 Казанский (Приволжский) федеральный университет  
 Казанский государственный энергетический университет  
 АО «Казанский Гипрониоавиапром»



### III Международная научно-техническая конференция

## «Строительство и архитектура: теория и практика инновационного развития» (CATPID-2020)

12–15 мая 2020 г.  
 26–30 сентября 2020 г.

Казань  
 Нальчик

#### Тематика конференции

- Строительная механика и теория конструкций, гражданское и промышленное строительство
- Архитектура, дизайн и реконструкция архитектурного наследия
- Строительные материалы и технологии вяжущих, бетонов и строительной керамики
- Механика деформируемого твердого тела
- Вычислительные методы, математические модели и информационные технологии в строительстве
- Организация и технология строительного производства. Геодезия, картография и фотограмметрия
- Инновации в инженерных коммуникациях: отопление, газоснабжение, вентиляция и кондиционирование воздуха, водоснабжение и водоотведение
- Техника и технологии наземного транспорта
- Строительство дорог, мостов, тоннелей и аэродромов
- Экономика в отрасли
- Надежность, эффективность и безопасность объектов топливно-энергетических и строительных комплексов
- Техносферная безопасность
- Материалы и нанотехнологии в химии

**Важные даты:** до 01 мая 2020 г. формирование программы конференции; до 11 мая 2020 г. регистрация, прием статей для публикации и оплата оргвзносов

Материалы конференции будут опубликованы в виде полных статей. На английском языке в журналах *Materials Science Forum* или *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, индексируемые в международной базе цитирования *Scopus*.

**Редакционная группа конференции CATPID 2020**

Тел: 8 (863) 201-91-09, +7 (928) 100-91-21, +7 (928) 130-60-45

www.catpid.ru E-mail: catpid@yandex.ru

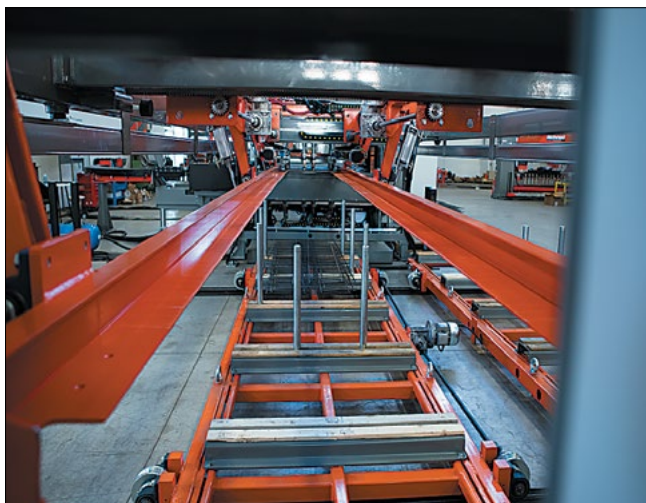
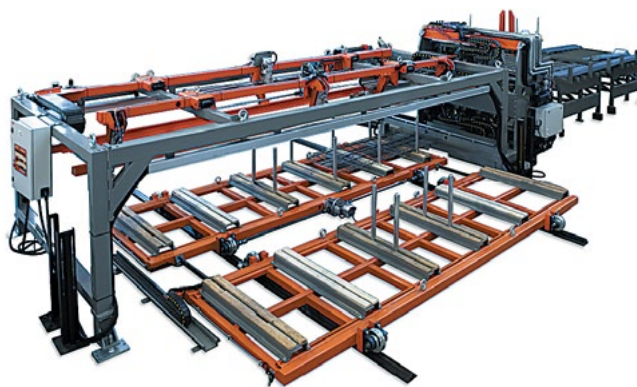
# Автоматические сварочные центры Automatic welding centers

Итальянская компания SCHNELL разработала инновационную линейку автоматических сварочных центров для производства плоских каркасов, типа «лесенка», которые используются в большом количестве в железобетонных изделиях как промышленного, так и гражданского строительства.

The Italian company SCHNELL has developed an innovative line of automatic welding centers for the production of flat frames, «ladder» type, which are used in large numbers in reinforced concrete products for both industrial and civil construction.

Компания прислушалась к пожеланиям российских заказчиков и разработала технологию, которая превосходит по многим параметрам имеющиеся на рынке аналоги. Использование такой технологии позволяет полностью автоматизировать процесс производства плоских каркасов и на 99% отказаться от применения ручных одноточечных сварочных машин, распространенных в России, уменьшив таким образом расходы на персонал, электроэнергию и практически исключить отходы арматуры. Инженеры SCHNELL разработали два типа машин: первый тип с подачей продольных и поперечных прутков из бухт; второй тип с подачей продольных стержней каркаса из предварительно нарезанных прутков и поперечных – из бухт.

Преимущество этих решений в том, что машины могут сваривать сразу два независимых каркаса из разных по диаметру продольных стержней и одинаковых по диаметру поперечных, что увеличит номенклатуру производимых каркасов в единицу времени.



Важно обратить внимание на еще одну особенность этого сварочного центра – возможность сварки двух независимых каркасов как с разными продольными диаметрами арматуры, так и с разными диаметрами поперечной арматуры, если подача поперечных прутков осуществляется с разных бухторазмотчиков, при которых каждый из двух сваренных каркасов получает проволоку из своего бухторазмотчика.

Перенастройка на разную ширину каркаса также происходит в автоматическом режиме, путем передвижения сварочных электродов в заданные положения с помощью электромоторов, что ускоряет процесс перехода на производство новых каркасов и исключает человеческий фактор при перенастройке на новые размеры каркасов.

Если подробно рассмотреть номенклатуру выпускаемых каркасов, то можно выделить тот факт, что при программировании каркаса машина позволяет запрограммировать и запустить в производство каркас шириной всего 75 мм между соседними сварочными точками. Это является наилучшим показателем среди всех производителей подобного оборудования. Максимальная же ширина каркаса составляет 1200 мм.

Управление узлами и механизмами сварочного центра осуществляет программное обеспечение на русском языке, позволяющее программировать, хранить все типы каркасов и аккумулировать статистику по произведенным каркасам как в штучном выражении, так и в зависимости от смены того или иного оператора. Такая опция очень полезна для контроля выполняемых работ каждой сменой, каждым оператором. Производитель рекомендует осуществлять работу на станке одному оператору, который прошел подробное обучение технике работы на оборудовании SCHNELL. Обучение проводится в рамках монтажа оборудования, в течение которого оператор заказчика получает допуск к работе на оборудовании SCHNELL.

Что касается работы одного оператора на сварочном центре, то он сам справляется со всеми вспомогательными операциями, такими как загрузка исходного сырья (арматуры) и разгрузка готовых каркасов, размеры которых могут достигать 9000 мм в длину и 1200 мм в ширину, с произвольным шагом продольных и поперечных прутков каркаса.

Еще одной отличительной особенностью технологии является возможность использовать в одном каркасе разные диаметры продольных прутков при подаче из бухты, которые выпрямляются с помощью роторных блоков правки, получая максимально прямые продольные прутки для сварки, обеспечивая идеальную геометрию каркаса, что является особенностью именно оборудования SCHNELL.

# SCHNELL, ГОТОВЫ К НОВЫМ ИСПЫТАНИЯМ



## FORMULA 14 3D

**Автоматический двугибочный станок** с подачей из бухт. **FORMULA 14 3D** позволяет гнуть хомуты и нарезать в размер прутья, подача арматуры до Ø 14мм (#4) происходит из бухт. **Есть возможность производить трехмерные изделия.**



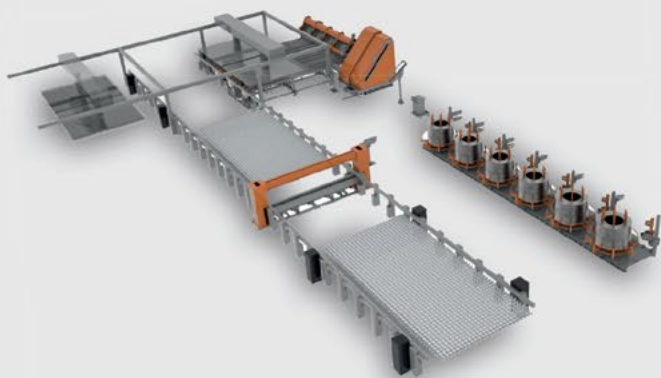
## CM PRO 1600

Станок **CM PRO 1600** для производства сварных **цилиндрических и призматических каркасов** с навитой по спирали арматурой и изменяемым программируемым шагом спирали.



## R 12

**Автоматический правильно-отрезной станок** для производства предварительно нарезанных прутков диаметром **до 12 мм.** Приведение в действие осуществляется с помощью цифровых электрических серводвигателей.



## LYBERTY 4000

Презентация новейших автоматических систем для производства электросварной сетки для заводов ДСК и КПД, мод. **Liberty 4000.** **Универсальная, гибкая, многоцелевая система** для производства электросварной сетки и сетки с проемами, которая идеально подходит для последующего использования в сборных железобетонных элементах.

# Новая автоматическая сварочная линия для производства сеток с проемами для ДСК

## NEW AUTOMATIC WELDING LINE FOR PRODUCTION OF MESHES WITH OPENINGS FOR HBF-LPHC

Иновационная компания Schnell Group (Италия) представляет универсальную гибкую многоцелевую систему для производства инженерной электросварной сетки и сетки с проемами, которая идеально подходит для последующего использования в сборных железобетонных элементах – новую автоматическую линию Liberty 4000.

Innovative company Schnell Group (Italy) presents a universal flexible multi-purpose system for the production of engineering electric welded mesh and mesh with openings, which is ideal for subsequent use in precast reinforced concrete elements- the new automatic line Liberty 4000.

В некоторых странах **стандартная сетка**, доступная в больших количествах, широко используется в строительстве для **армирования больших поверхностей бетонного пола, дорог, изготовления плит, стен**. Когда речь заходит об **инженерной сетке** для специального применения, требуются нестандартные инновационные решения. Сетка с различными диаметрами продольных и поперечных прутков, со ступенчатыми и выполненными на заказ внешними размерами, а также сетка с проемами для дверей и окон широко используются в **сборных бетонных элементах**.

Сварочный портал оборудован **моторизованными, подвижными головками**, обеспечивающими сварку благодаря **инверторной технологии**, гарантирующей низкое потребление энергии. Машина оборудована быстрым и **современным программным обеспечением**, обеспечивающим управление процессом сварки и его параметрами, что создает возможность устанавливать количество сварных точек для каждой сетки.

Кроме того, линия легко интегрируется в существующую систему циркуляции поддонов с высокой степенью автоматизации для массового производства сборных железобетонных элементов плоской формы.

Некоторые особенности LIBERTY 4000 делают из нее самую современную технологию из линий сварки сетки для сборного железобетона:

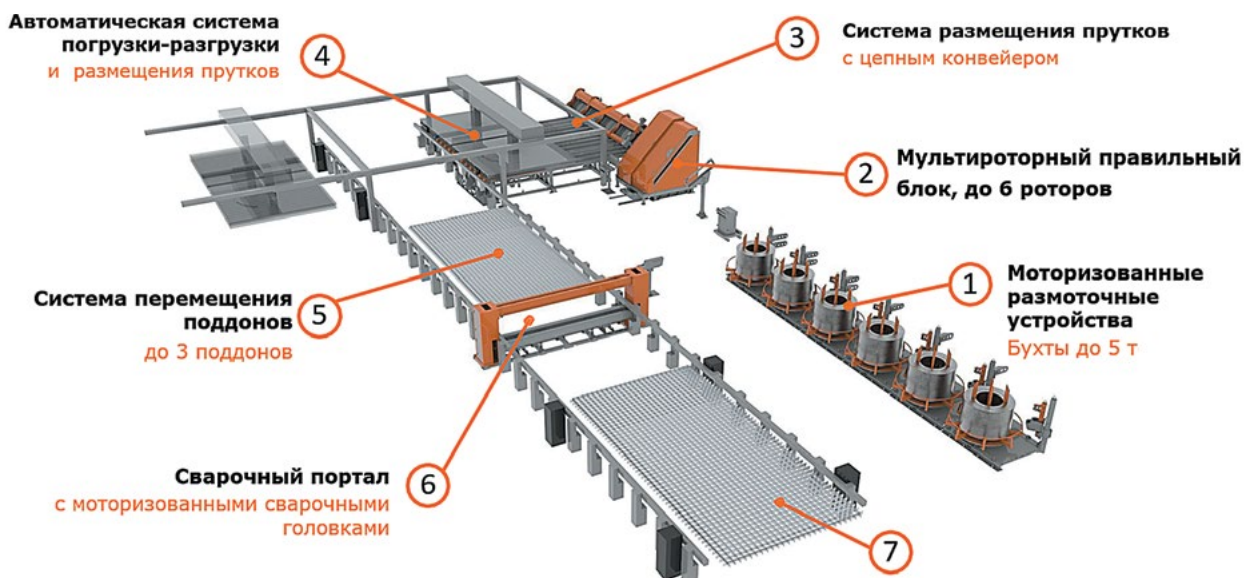
- система правки с помощью вращающихся роторов для обработки как горячекатаного, так и холоднодеформированного проката, уже испытанная на российском рынке;
- сварка с использованием инверторной технологии;
- повышенная гибкость благодаря передвижным кондукторам и подвижным моторизованным сварочным головкам;
- сварочная способность до 16 мм, как для продольных так и для поперечных прутков;

- система подачи может подготавливать и подавать продольные и поперечные прутки в различном порядке: продольные сверху, а поперечные снизу и наоборот; нет необходимости переворачивать готовую сетку;
- система позиционирования и перемещения прутков предназначена для объединения двух разных функций: позиционирования прутков и выгрузки готовой продукции.

Стержни располагаются на кондукторе с **шагом 50 мм** при помощи автоматической системы укладки в соответствии с форматом производимой сетки. Использование кондукторов позволяет легко настраивать изготовление **сетки различной формы и габаритов, сетки с проемами для дверей и окон**. После того как манипулятор завершил позиционирование продольных и поперечных стержней, кондуктор поднимается на тот же уровень сварочного портала и проталкивается через него до завершения процесса сварки. Движение лотка достигается серией моторизованных турелей.

После размещения стержней кондуктор будет проходить через сварочный портал шириной **4000 мм**, который оснащен двенадцатью **моторизованными и независимыми трехступенчатыми сварочными прессами для прямой сварки**.

Линия оснащена системой управления с промышленным PC Beckhoff, имеющим сенсорный экран размером 15,6" и операционную систему Windows для управления установкой и комплексной диагностики. Включает диагностику процесса в режиме реального времени и параметров сварки; ежедневный мониторинг производства; остановку на техобслуживание и простои в работе линии; оборудован портом Ethernet, портом USB и серийным портом для сетевого соединения и удаленной поддержки, включая модем с VPN-сервером для удаленного соединения





(необходима карта 3G SIM); интегрируется с наиболее популярным техническим ПО.



Как и все станки Schnell Group, линия приводится в движение цифровыми серводвигателями, что дает все известные преимущества при этом.

**Более высокая эффективность, низкое энергопотребление**

Качественное сварочное оборудование с инверторным управлением имеет КПД около 80–90%, в то время как обычные трансформаторы имеют значительно более низкий КПД, примерно 50%. Это связано с тем, что более крупные трансформаторы в обычных станках имеют большее сопротивление и, следовательно, теряют значительное количество мощности (или энергии) из-за рассеяния тепла. Более высокая эффективность приводит к снижению энергопотребления и снижению затрат.

**Меньший размер, высокий рабочий цикл**

Сварочный инвертор обычно **значительно меньше и весит меньше**, чем обычный трансформатор с сопоставимой выходной мощностью. Обычно, гораздо **более высокие рабочие циклы** достижимы на оборудовании с инвертором, опять же из-за разницы в размерах трансформатора. Хотя меньшие компоненты в инверторном оборудовании быстро нагреваются, их можно охладить намного проще и быстрее. Однако в обычных сварочных аппаратах типа «трансформатор» компоненты гораздо больше и поэтому имеют тенденцию накапливать тепло и охлаждаться дольше.

**Более высокая эффективность, низкое энергопотребление**

При передаче мощности от серводвигателя происходит единичное преобразование энергии **от электрической к механической**, эффективность системы превышает 90%. В гидравлической силовой передаче происходят следующие преобразования энергии: электродвигатель приводит в действие гидравлический насос; гидравлическая жидкость (циркулируемая насосом) приводит в движение гидравлические двигатели или приводы; двигатель или гидропривод приводит в движение механический узел.

**Более высокая точность при высокой скорости работы**

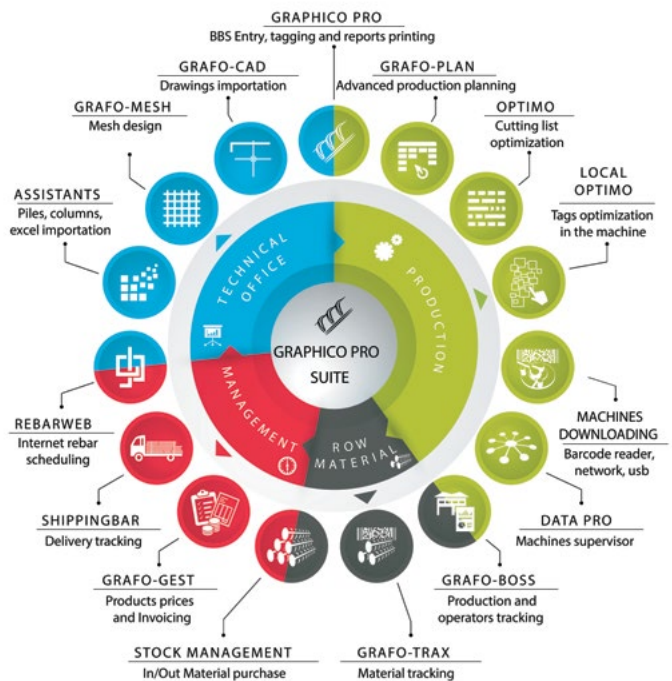
В гидравлических системах управление скоростью моторизованных осей и их позиционирование могут быть критически важны, если требуется точность. Умеренная сжимаемость жидкости снижает точность движения. Сервомоторы, с другой стороны, имеют **отличные возможности управления и позиционирования**, поскольку между электродвигателем и механическим приводом нет промежуточных механизмов. Сервомоторы общепризнаны и используются, если необходимо иметь **среднюю и высокую выходную мощность без снижения скорости и точности позиционирования**.

**Функциональность не зависит от температуры**

Гидравлические системы страдают от **сложности использования при низкой температуре**. Для низкотемпературного применения требуются масла с высоким индексом вязкости, которые, однако, имеют тенденцию быть более **коррозионными**, особенно для пластмасс (**прокладки, уплотнения и т. д.**). Утечки масла из блоков управления из-за **коррозии пластиковых деталей** хорошо известны тем, кто работает в этом секторе. Кроме того, при низкой температуре гидравлическая жидкость **должна постоянно нагреваться**, даже когда машина не работает, чтобы гарантировать, что при включении жидкость готова к работе.

**Низкие расходы на техобслуживание**

Техническое обслуживание гидравлической системы требует **частого вмешательства**. Проверка целостности прокладок и уплотнений для предотвращения или восстановления утечек гидравлической жидкости – это реальное ежедневное явление. Существуют научные доказательства того,



что **70–80% отказов гидравлических систем вызваны загрязнением маслами**; решения по уходу и правильной эксплуатации жидкостей приобретают определенную ценность с точки зрения доступности и стоимости оборудования. Следует также отметить общую сложность гидравлической системы по сравнению с аналогом с сервомотором и количеством компонентов, используемых в двух решениях.

Линия также оснащена нашим всемирно известным программным обеспечением: в этом случае пакет программного обеспечения для полного управления машиной для производства сетки, разработанный с использованием среды баз данных SQL, позволяет управлять клиентами, заказами клиентов, графиками производства, информацией о доставке. Параметры сетки можно вводить вручную, используя стандартные форматы, или настраивать их с помощью модуля Grafo Mesh. Это можно сделать на разных уровнях и подуровнях: заказы, фазы, планы, группы, элементы, пакеты сетки и т. д.

**Главные характеристики нового решения**

- Роторный правильный модуль TWIN System.
- Высококачественная роторная система правки с двойным приемным лотком позволяет одновременно обрабатывать два прутка.
- Подача сверху и снизу.
- Система подачи может подготавливать и подавать продольные и поперечные прутки в различном порядке.
- ✓ **Умная система позиционирования**  
Система позиционирования предназначена для объединения двух разных функций: позиционирования стержня и выгрузки готовой сетки.
- ✓ **Система с кондукторами**  
В линии используются циркулирующие кондукторы с шагом 50 мм.
- ✓ **Трехкамерные сварочные прессы**  
Сварочный портал оснащен моторизованными, независимыми трехкамерными головками для точечной сварки.
- ✓ **Инверторная сварка**  
Технология, используемая для сварки, позволяет снизить энергопотребление и повысить гибкость.



LLC SCHNELL RUS  
Office 9B18, Build. 2,  
House 11, Zolotaya str.,  
Moscow, Russia, 105094  
Tel. +7 (495) 24 50 312  
www.schnellgroup.ru

# 27-28 МАЯ / 2020

## II МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

# «СВАЙНЫЕ ФУНДАМЕНТЫ: ТЕНДЕНЦИИ, ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ»

Место проведения:

МОСКВА

МВЦ «Крокус Экспо», отель «Аквариум»

в рамках выставки

«Bauma CTT RUSSIA 2020»

Организатор конференции



INTERNATIONAL  
ASSOCIATION OF  
FOUNDATION  
CONTRACTORS

МЕЖДУНАРОДНАЯ АССОЦИАЦИЯ  
ФУНДАМЕНТОСТРОИТЕЛЕЙ

Генеральный спонсор



Спонсор



Генеральные информационные партнеры



НИЦ строительство  
научно-исследовательский центр

bauma CTT RUSSIA

ФУНДАМЕНТЫ

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВЩИКОВ И СТРОИТЕЛЕЙ

[www.fc-union.com](http://www.fc-union.com), [info@fc-union.com](mailto:info@fc-union.com)

тел.: +7 (495) 66-55-014, моб.: +7 916 36-857-36

УДК 693.5

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-779-3-49-53>А.А. БАТЮШЕНКО<sup>1</sup>, инженер; Н.С. СОКОЛОВ<sup>2</sup>, канд. техн. наук (ns\_sokolov@mail.ru)<sup>1</sup> ФГУП «Спецстройтехнологии» при Спецстрое РФ (676470, Амурская область, г. Циолковский)<sup>2</sup> Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова (428015, Чувашская Республика, г. Чебоксары, Московский пр., 15)

## Сокращение сроков строительства зданий из монолитного бетона

Обеспечение технологичности возведения зданий и сооружений любого назначения является важной государственной задачей. В настоящее время большинство строительных организаций работают с использованием устаревших технологических карт возведения монолитного железобетонного каркаса. Приведен способ сокращения сроков строительства зданий и сооружений, возводимых из готовой бетонной смеси в условиях строительных площадок. Освещены приемы оптимального выбора технологии возведения зданий. Приведены пути сокращения сроков набора прочности бетона, разработанные авторами в процессе возведения объектов в г. Чебоксары Чувашской Республики и г. Циолковский на территории космодрома «Восточный». Для внедрения в строительстве организации труда по принципу «промышленного конвейера» разработаны технологические карты и графики, позволившие увеличить производительность труда в два раза. Упрощен ряд проектных решений по армированию монолитных конструкций. На первой очереди строительства сооружений в г. Циолковский сокращено количество узлов перевязки арматуры на более чем 2,5 млн операций. Удалось сократить срок набора прочности бетона с 5 до 1,5 суток.

**Ключевые слова:** технология, зимнее бетонирование, твердение, температурный режим, обогрев, технологическая карта, бетон, производительность труда.

**Для цитирования:** Батюшенко А.А., Соколов Н.С. Сокращение сроков строительства зданий из монолитного бетона // *Строительные материалы*. 2020. № 3. С. 49–53. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-779-3-49-53>

A.A. BATYUSHENKO<sup>1</sup>, Engineer; N.S. SOKOLOV<sup>2</sup>, Candidate of Sciences (Engineering) (ns\_sokolov@mail.ru)<sup>1</sup> FGUP "Spetsstroytehnologii" pri RF Spetsstroy (the city of Tsiolkovsky, Amur Oblast, 676470, Russian Federation)<sup>2</sup> I.N. Ulianov Chuvash State University» (15, Moskovskiy pr., 428015, Cheboksary, Chuvash Republic, Russian Federation)

### Reducing the Construction Time of Buildings Made of Monolithic Concrete

Ensuring the manufacturability of buildings and structures for any purpose is an important state task. Currently, most construction organizations work with the use of outdated technological maps for the construction of a monolithic reinforced concrete frame. A method for reducing the construction time of buildings and structures constructed from ready-made concrete mix and under the conditions of construction sites is presented. Techniques for the optimal choice of building construction technology are highlighted. The ways of reducing the terms of concrete strength set developed by the authors during the construction of objects in Cheboksary, Chuvash Republic, and Tsiolkovsky City on the territory of the "Vostochny" Cosmodrome are given. To introduce the labor organization based on the principle of «industrial conveyor» in the construction, technological maps and graphs were developed, which made it possible to increase labor productivity by two times. A number of design solutions for reinforcing monolithic structures were simplified. At the first stage of construction of structures in Tsiolkovsky City, the number of rebar ligation units was reduced by more than 2.5 million operations. It was possible to reduce the period of concrete strength gain from 5 to 1.5 days.

**Keywords:** technology, winter concreting, hardening, temperature regime, heating, process map, concrete, labor productivity.

**For citation:** Batyushenko A.A., Sokolov N.S. Reducing the construction time of buildings made of monolithic concrete. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2020. No. 3, pp. 49–53. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-779-3-49-53>

В связи с повышением уровня потребительского спроса к качеству строящегося жилья строительство сооружений с монолитным несущим каркасом остается одним из преимущественных способов возведения жилого фонда [1–5]. Проектное решение соединения плоских плит перекрытий с вертикальными элементами при отсутствии капителей в узлах определило приоритет в связи с возможностью приспособления его для технологии скоростного возведения [5–9].

В 2003 г. в практику строительного менеджмента при возведении монолитного железобетонного каркаса на одном из высотных зданий в г. Чебоксары был внедрен способ организации труда строительного потока с применением принципа работы *промышленного конвейера* [10–14]. Для достижения цели использовались: комплект крупнощитовой опалубки; башенный кран типа КБ403; полевой вариант оборудования арматурного цеха; комплект инструмента для бригады монтажников.

Достигнутый темп строительства монолитного каркаса – 12 этажей в месяц. Выработка при этом составляла около 1 м<sup>3</sup> свежееуложенного бетона на одного рабочего в день.

Первый запроектированный монолитный несущий каркас имел плоскую монолитную плиту перекрытия толщиной 160 мм, был безригельным и бескапитальным. Вертикальные конструкции выполнены в виде колонн и небольших по длине диафрагм жесткости. Это наиболее простое проектное решение стало позже массовым.

Применяемая при этом технология возведения зданий имела один недостаток. Так как возведение стен из штучных материалов выполнялось в пространстве уже построенного монолитного каркаса, исходя из условий работы каменщиков их выработка должна быть вдвое меньше (0,5 м<sup>3</sup>) достигнутой по стране (1 м<sup>3</sup>). Поэтому при строительстве жилых домов в г. Чебоксары по адресу ул. Карла Маркса, 54 и ул. Ко-

роленко (2010 г.) с монолитным несущим каркасом технология строительства зданий была изменена. Был изменен порядок возведения строительных конструкций: на всех пяти подъездах начиная с первого этажа здания в первоочередном порядке возводились вертикальные конструкции монолитного каркаса; бригада каменщиков возводила наружные и внутренние стены до отметки перекрытия. При этом подача раствора и кирпича осуществлялась башенным краном непосредственно на рабочее место, что обеспечивало сменную выработку в объеме 1 м<sup>3</sup> кладки на одного каменщика; после окончания каменных работ производился монтаж опалубки для устройства перекрытия и его заливка бетоном с опиранием конструкции перекрытия непосредственно на вертикальные монолитные бетонные конструкции и на каменные стены.

Такая технология строительства здания кроме сокращения сроков строительства позволила принципиально повысить качество исполнения узлов примыкания каменных конструкций и железобетонных монолитных перекрытий.

При строительстве пятиподъездного дома два башенных крана и строительная бригада из 30 бетонщиков и 45 каменщиков возвела 16 этажей за один месяц. Физический объем составил 800 м<sup>3</sup> каменной кладки, 900 м<sup>3</sup> монолитного бетона. По этой же строительной технологии были возведены многоэтажные жилые дома по ул. Короленко в г. Чебоксары.

Примененное технологическое решение позволило существенно увеличить производительность труда, сократить срок строительства объекта и привлечь инвестиции (к середине срока строительства объекта все квартиры были распроданы).

В 2012–2013 гг. в дополнение к технологичным проектным решениям и налаженной организации труда с применением принципа работы *промышленного конвейера* разработана и внедрена в практику строительства технология сокращения срока набора прочности бетона в построечных условиях, равная 100% от проектной за одни сутки (объект – группа жилых домов по ул. Афанасьева в г. Чебоксары). Способ высокоскоростного возведения монолитных конструкций здания в условиях пониженной температуры включает предварительную подготовку, укладку бетона на нагретую опалубку, тепловую обработку, изотермический прогрев, остывание бетона. Перед тепловой обработкой бетона осуществляют его выдерживание при температуре +20°C, а тепловую обработку бетона производят при температуре 65–80°C мощностью греющих проводов 2,5–5 кВт на 1 м<sup>3</sup> бетона. При этом изотермический прогрев бетона осуществляют в течение не менее шести часов при температуре 70–85°C при электрической мощности 1,2–2,5 кВт на 1 м<sup>3</sup> бетона. (Патент РФ № 2702486. Способ высокоскоростного возведения монолитных конструкций здания в условиях пониженных температур. Батюшенко А.А. Заявл. 28.01.2019. Опубл. 8.10.2019. Бюл. № 28.)

Применение трех технических решений на одном объекте (выбор технологии возведения здания; внед-

рение конвейерного способа организации труда; сокращение срока набора прочности бетона в условиях строительной площадки) поставили в Чебоксарах монолитное домостроение по скорости возведения конструкций зданий на уровень, сопоставимый с панельным домостроением.

Ниже рассмотрены основные моменты принятых решений.

*Подготовка проектных решений.* Высокая производительность труда – это итог работы инженерно-технического персонала. Одно из направлений – совершенствование проектного решения. Начинается она в момент подготовки расчетной схемы несущих конструкций будущего дома. В этот период главный инженер строительной организации вместе с конструктором намечают границы захваток, а также технологию возведения лестнично-лифтового узла, как сосредоточение трудоемких процессов, расположенных в одной точке приложения.

В качестве примера положительным следует признать результат проделанной в этом направлении работы при проектировании жилого дома по адресу ул. Карла Маркса, 54. С заводом ЖБИ была достигнута договоренность об изготовлении в заводских условиях этажных элементов шахты лифта. В процессе строительства здания этажный элемент шахты лифта доставлялся на строительную площадку и подавался на строящийся этаж. Монтаж производился «с колес».

*Принцип «промышленного конвейера» в организации коллективного труда на строительной площадке.* Сам по себе способ организации труда с использованием принципа «промышленного конвейера» по сравнению с другими способами организации труда, например с организацией на объекте комплексной строительной бригады, имеет ряд следующих преимуществ. *Для каждого* работающего в соответствии с его профессией создается оснащенное рабочее место, на котором работник каждый день до конца строительства объекта будет выполнять одни и те же простые операции, что позволит ему по мере накопления опыта изготавливать все больше продукции за один и тот же период времени. *Организуется* работа всего коллектива в едином цикле, что позволяет сократить временные потери из-за несогласованности действий отдельных работников и произвести больше продукции.

Отсюда напрашивается вывод, что наиболее правильным следует считать решение по внедрению в систему строительства организации коллективного труда с применением принципа «промышленного конвейера». При этом цикл работы конвейера назначается максимально коротким – одни сутки. Далее процесс движения производственных мощностей по объекту для краткости будет именоваться «строительным конвейером», или просто «конвейером».

Процесс возведения монолитных железобетонных конструкций состоит из технологически связанных и последовательно выполняемых строительных процессов. Время, необходимое для набора бетоном

распалубочной прочности, входит в общий технологический цикл.

Состав процессов, их трудоемкость и очередность выполнения зависят от вида и специфики возводимых монолитных конструкций, применяемых механизмов и типов опалубки, технологических и местных особенностей производства работ. Каждый простой процесс выполняют специализированные звенья, которые объединены в комплексную бригаду. Сооружение разбивают по высоте на ярусы (высотная разрезка, обусловленная допустимостью перерывов в бетонировании и возможностью образования температурных и рабочих швов); в плане на захватки (горизонтальная разрезка, которая предполагает работу звена на протяжении времени цикла). Это необходимо для организации поточного производства работ.

Основной принцип проектирования работ: сколько процессов, столько и захваток. Исходя из наибольшего количества простых строительных операций на самой трудоемкой конструкции типового этажа жилого здания это будет возведение монолитной плиты перекрытия. Назначаем захватки для выполнения следующих простых операций:

- **монтаж** опалубки и лесов;
- **монтаж** арматуры;
- **укладка** бетона и уход за ним;
- **демонтаж** опалубки и лесов;
- **монтаж** сборного железобетона и возведение конструкций следующего этажа.

Таким образом, для создания комфортных условий при возведении конструкций типового этажа необходимо и достаточно назначить пять производственных захваток (четыре сверху перекрытия и одна снизу перекрытия).

Объекты специального назначения, имеющие в связи с особенностями технологических процессов специальную форму здания, строятся с применением опалубки, разработанной для строительства таких типов зданий.

Ниже рассмотрена организация производственного процесса на каждой захватке.

**Организация производственного процесса на первой захватке.** Для качественного изготовления монолитных конструкций зданий с высоким темпом строительства рекомендуется применять инвентарную опалубку, изготовленную на предприятиях как отечественных, так и зарубежных фирм. Монтаж опалубки и лесов должен производиться строго в соответствии с технологической картой.

**Организация производственного процесса на второй захватке.** На второй захватке производится монтаж арматурного каркаса и греющего провода. Работы выполняются в строгом соответствии с рабочим проектом армирования железобетонных конструкций и завершаются сдачей готовой продукции представителю технического надзора Заказчика с оформлением актов на скрытые работы. Для достижения высокой производительности труда звено арматурщиков укомплектовывается станком для резки и изгиба

арматуры. В случае отсутствия возможности исполнения заказов на трудоемкие конструкции на предприятиях строительной индустрии объекты должны оснащаться кондукторами для изготовления сеток и других многократно изготавливаемых деталей.

**Организация производственного процесса на третьей захватке.** На третьей захватке: **в первую смену** коммутируется греющий провод; **во вторую смену** укладывается монолитный бетон и в остатки времени второй и третьей смен выполняется электротермообработка готовой бетонной смеси.

Опалубку конструкций, бетонированных в зимнее время, следует демонтировать после получения бетоном проектной прочности, измеренной одним из способов, описанных в СП 70.13330.2012 «Несущие и ограждающие конструкции».

В п. 5.3.15 СП 70.13330.2012 указано, что при укладке бетонной смеси при пониженной положительной (ниже +5°C) и отрицательной или повышенной положительной температуре (выше +25°C) должны быть предусмотрены «**Специальные мероприятия**», обеспечивающие требуемое качество бетона.

Известно, что в технологии формирования монолитного бетона применяются различные способы интенсификации твердения бетона, в том числе: **повышение** активности цемента путем домола; **применение** сверхбыстротвердеющих цементов; **применение** химических добавок; **повышение** жесткости, уменьшение подвижности на одну марку; **комплексный** технологический метод — активация цемента + химические добавки + повышение жесткости смеси на одну марку.

В результате разработаны «Специальные мероприятия», обеспечивающие в условиях строительной площадки набор полной (100%) проектной прочности за одни сутки.

**Организация производственного процесса на четвертой захватке.** На четвертой захватке, расположенной снизу готового перекрытия, производится разборка опалубки в соответствии с технологической картой по ее демонтажу. Процесс демонтажа опалубки конструкций должен обеспечивать выполнение правил по охране труда и технике безопасности при производстве монтажных работ, а также сохранность демонтируемой опалубки.

**Организация производственного процесса на пятой захватке.** На пятой вновь построенной захватке выполняем устройство вертикальных конструкций (колонны, диафрагмы жесткости, стены шахты лифта) здания, включая монтаж арматурных каркасов, монтаж греющих проводов, монтаж опалубки и набор бетоном заданной прочности с применением приемов по монтажу опалубки, армированию и достижению проектной прочности бетоном, применяемых при возведении монолитных конструкций на первой, второй и третьей захватках.

Данный объем работ в дополнение к задачам, решаемым на первой, второй и третьей захватках, имеет значительную трудоемкость. Большое разнообразие в конструкциях и необходимость решения комплек-

са задач в жесткие временные рамки, определенные циклом движения «конвейера».

Так как один ритмично работающий строительный поток возводит в месяц 2000 м<sup>2</sup> общей площади, этот объем работ приносит предприятию значительную прибыль. Для достижения такого высокого и желаемого результата требуется весь аппарат управления предприятия научить принимать и исполнять решения задач текущего момента в режиме, обеспечивающем всем необходимым цикл движения «конвейера» на строящемся объекте.

Итак, используя предложенный выше прием, была возведена новая пятая захватка, она же первая захватка с готовыми конструкциями следующего этажа.

На следующий день рабочие с первой захватки перемещаются на вторую захватку, со второй на третью, с третьей на четвертую и т. д., и все операции выполняются вновь. В таком порядке работы по возведению коробки здания силами строительного потока производятся до устройства плит покрытия. Объем готовой продукции составляет 1/2 типового этажа монолитного каркаса здания каждый рабочий день. Разработанная технология ускоренного возведения апробирована также на строительстве космодрома «Восточный».

Объект космодром «Восточный» в г. Циолковский по статусу относится к уникальным, а по инженерным задачам — к очень сложным, поэтому для внедрения разработанной технологии является очень интересным. Он запроектирован на территории около 700 км<sup>2</sup>. К тому же на данной территории климат резко-континентальный с летней температурой до 40°C и зимней до -52°C. Кроме того, каждый день прирост температуры наружного воздуха с утра до обеда составляет до 20°C, а с обеда до ночи падение температуры 20°C.

Дополнительно к климатическим трудностям территория строительства космодрома относится к

семибальной сейсмической зоне. Конструкции жилых и общественных зданий (стены и перекрытия), запроектированы из монолитного бетона и имеют трудоемкость в 2,5 раза больше, чем здания, проектируемые в Европейской части РФ.

В порядке совершенствования организации труда на строительстве города внедрены принципы организации труда, как на промышленном конвейере. Для этого разработаны технологические карты и графики, позволившие втрое увеличить производительность труда; упрощен ряд проектных решений по армированию монолитных конструкций; на первой очереди строительства сооружений в г. Циолковский сокращено количество узлов перевязки арматуры на более чем 2,5 млн операций; срок набора прочности бетоном на объектах города сократился с 5 до 1,5 сут. Проведены научно-исследовательские работы по поиску технологических решений для климатических условий строительства космодрома. При освоении технологии набора проектной прочности (100%) бетона за одни сутки выход готовой продукции (коробка здания, готовая к устройству теплового контура и монтажу инженерных систем) — 8 этажей в месяц, а при вахтовом способе организации работ на объекте — 10 этажей в месяц. Указанный темп в два раза превышает достигнутый в среднем по отрасли темп строительства зданий из каменных конструкций, а так же зданий с монолитным несущим каркасом. Снижение затрат на строительство в объеме 8,5% за счет сокращения расходов по статье эксплуатация машин и механизмов (башенные краны), а также накладных расходов на содержание аппарата управления. Сокращение в два раза затрат электроэнергии на тепловую обработку бетона. Повышение ежемесячной заработной платы рабочих на 100% за счет применения «конвейерного» способа организации труда и повышения производительности труда в два раза.

#### Список литературы

1. Козелков М.М., Антипов С.С. Управление жизненным циклом несущих конструкций монолитных железобетонных зданий при помощи технологии информационного моделирования // *Бетон и железобетон*. 2016. № 1. С. 12–15.
2. Sassone M., Casalegno C. Evaluation of the structural response to the time-dependent behaviour of concrete. Part 2. A general computational approach // *The Indian Concrete Journal*. 2012. Vol. 86. No. 12, pp. 39–51.
3. Кузеванов Д.В., Беляев А.В. Информационное моделирование железобетонных конструкций // *Промышленное и гражданское строительство*. 2017. № 1. С. 58–63.
4. Земляков Г.В. Моделирование процесса тепловой обработки бетона монолитных конструкций // *Наука и техника*. 2015. № 6. С. 37–43.
5. Хаяутин Ю.Г. Монолитный бетон. М.: Стройиздат, 1981. 236 с.
6. Житушкин В.Г. Прочность и диагностика бетона монолитных вертикальных конструкций // *Науч-*

#### References

1. Kozelkov M.M., Antipov S.S. life cycle Management of load-bearing structures of monolithic reinforced concrete buildings using information modeling technology. *Beton i zhelezobeton*. 2016. No. 1, pp. 12–15. (In Russian).
2. Sassone M., Casalegno C. Evaluation of the structural response to the time-dependent behaviour of concrete. Part 2. A general computational approach. *The Indian Concrete Journal*. 2012. Vol. 86. No. 12, pp. 39–51.
3. Kuzevanov D.V., Belyaev A.V. Information modeling of reinforced concrete struct. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2017. No. 1, pp. 58–63. (In Russian).
4. Zemlyakov G.V. Modeling of the process of heat treatment of concrete monolithic structures. *Nauka i tekhnika*. 2015. No. 6, pp. 37–43. (In Russian).
5. Khayutin Yu.G. Monolitnyi beton [Monolithic concrete]. Moscow: Stroyizdat, 1981. 236 p.
6. Itskin V. G. the Strength and diagnosis of concrete monolithic vertical structures. *Nauchnaya diskussi-*

- ная дискуссия: вопросы технических наук. 2016. № 5 (35). С. 48–61.
7. Гринёв А.П., Рудченко И.И., Никогда В.О. Мелкозернистый бетон для монолитного строительства // *Труды Кубанского государственного аграрного университета*. 2016. № 58. С. 203–214.
  8. Самускевич В., Кошевар В. Химические добавки в технологии монолитного бетона // *Наука и инновации*. 2011. № 6 (100). С. 18–20.
  9. Терентьев О.М., Технология возведения зданий и сооружений. Ростов н/Д: Феникс, 2006. 223 с.
  10. Кузьмин А.В., Юсин Г.С. Качество жизни и качество пространственной среды – социальные стандарты и нормативы в градостроительстве, архитектуре, строительстве // *Информация РААСН*. 2011. № 4. С. 16–19.
  11. Стефанович М.Ю. Малоэтажное жилищное строительство: особенности и проблемы развития в России // *Молодой ученый*. 2015. № 12. С. 505–507.
  12. Акулова И.И., Чернышев Е.М., Праслов В.А. Прогнозирование развития регионального строительного комплекса: теория, методология и прикладные задачи. Воронеж: ВГТУ, 2016. 162.
  13. Акулова И.И., Дудина Н.А., Баранов Е.В. Методика и результаты оценки конкурентности теплоизоляционных материалов, применяемых в жилищном строительстве. *Экономика. Теория и практика: Материалы международной научно-практической конференции*. Саратов: ЦПМ «Академия бизнеса», 2014. С. 32–37.
  14. Акулова И.И., Праслов В.А. Сценарное прогнозирование потребности капитального строительства в кадрах рабочих профессий (региональный аспект) // *Вестник гражданских инженеров*. 2016. № 4 (55). С. 267–273.
7. Grinev A.P., Rudchenko I.I., Never V.O. fine-Grained concrete for monolithic construction. *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2016. No. 58, pp. 203–214. (In Russian).
  8. Samuskevich V., Koshevar V. Chemical additives in the technology of monolithic concrete. *Nauka i innovatsii*. 2011. No. 6 (100), pp. 18–20. (In Russian).
  9. Terentyev O.M. Tekhnologiya vozvedeniya zdaniy i sooruzhenii [Technology of construction of buildings and structures]. Rostov-on-don: Phoenix, 2006. 223 p.
  10. Kuzmin A.V., Yusin G.S. Quality of life and quality of spatial environment-social standards and norms in urban planning, architecture, construction. *Informatsiya RAASN*. 2011. No. 4, pp. 16–19. (In Russian).
  11. Stefanovic M.Y. low-rise housing construction: features and problems of development in Russia. *Molodoi uchenyi*. 2015. No. 12, pp. 505–507. (In Russian).
  12. Akulova I.I., Chernyshev E.M., Praslov V.A. Forecasting the development of the regional construction complex: theory, methodology and applied tasks. Voronezh: VSTU, 2016. 162.
  13. Akulova I.I., Dudina N.A., Baranov E.V. Methods and results of evaluating the competitiveness of thermal insulation materials used in housing construction. *Economy. Theory and practice: Materials of the international scientific and practical conference*. Saratov: TCM “Academy of business”. 2014, pp. 32–37.
  14. Akulova I.I., Praslov V.A. Scenario forecasting of capital construction needs in personnel of working professions (regional aspect). *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*. 2016. No. 4 (55), pp. 267–273. (In Russian).

## ИНФОРМАЦИЯ

### Модульные системы КНАУФ успешно прошли испытания на сейсмостойкость до 7–9 баллов по шкале MSK-64

Конструктивные решения модульных зданий, разработанные компанией «НОВЫЙ ДОМ» (г. Красногорск Московской обл.), дочерним предприятием группы КНАУФ, успешно прошли испытания на сейсмостойкость в Научно-исследовательском институте экспериментальной механики НИУ МГСУ.

В ходе исследований была определена сейсмостойкость двухэтажного здания, состоящего из двух одноэтажных модулей КНАУФ, и дана оценка действительной работы, сейсмостойкости несущих конструкций, а также узловых соединений двухэтажного модуля жилого дома при действии динамических нагрузок, моделирующих сейсмические воздействия при землетрясениях интенсивностью 7–9 баллов по ГОСТ Р 57546–2017 «Землетрясения. Шкала сейсмической интенсивности».

Динамические испытания, проведенные на экспериментальной установке, разработанной в Научно-исследовательском институте экспериментальной механики НИУ МГСУ, показали, что сейсмостойкость несущих и ограждающих конструкций двухэтажного жилого дома, построенного из модулей КНАУФ, обеспечена как при действии динамических нагрузок, так и при резонансе, моделирующих сейсмические воздействия интенсивностью 7–9 баллов по шкале MSK-64.

Результаты лабораторных испытаний зданий, выполненных из объемных модулей «НОВЫЙ ДОМ», подтвердили расчетные данные компании YellowTeamProject, что позволит расширить применение модульных

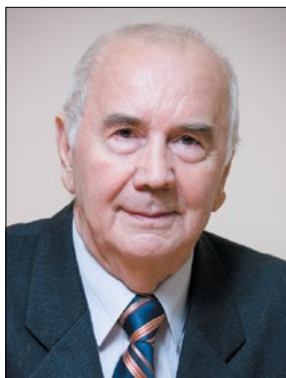
конструкций в сейсмически опасных регионах. Отсутствие разрушений материалов модульных конструкций по завершению лабораторных испытаний позволяет быть уверенным и в сохранении жизни и здоровья проживающих в таких зданиях людей.

Завод строительных модулей и панелей заводской готовности «НОВЫЙ ДОМ» был открыт весной 2019 г. в Красногорске. Инвестиции составили 6,5 млн евро.

Типовые prefab-модули (prefab – сокращение от английского prefabricated – «изготовленный в заводских условиях») компании «НОВЫЙ ДОМ» представляют собой готовую конструкцию, состоящую из несущей металлической рамы (ЛМК), каркаса из металлических профилей (ЛСТК), утеплителя (минеральной ваты КНАУФ Инсулейшн), гидроветрозащитной мембраны, пароизоляционной пленки, цементной плиты АКВАПАНЕЛЬ®, фанерного листа и КНАУФ-листа «Сапфир».

Готовые модули имеют внешнюю и внутреннюю черновую отделку и встроены в стены и перекрытия инженерные системы (электрику, отопление, холодное и горячее водоснабжение, канализацию, вентиляцию, системы оповещения, Интернет, видеонаблюдение и т. д.).





## К 85-летию Вадима Васильевича БАБКОВА

Вадим Васильевич Бабков родился 20 марта 1935 г. в селе Кимильтей Зиминского района Иркутской области. Работать он начал параллельно с учебой в Новосибирском институте инженеров железнодорожного транспорта, который окончил в 1958 г. по специальности «Мосты и тоннели».

С 1962 г. жизнь и трудовая деятельность Вадима Васильевича неразрывно связана с Башкортостаном, когда он пришел на работу в институт НИИПромстрой, где защитил кандидатскую диссертацию в 1967 г.

С 1971 г. В.В. Бабков совмещал работу в НИИПромстрое с работой на кафедре «Строительные конструкции» Уфимского нефтяного института. Его заметным вкладом в повышение качества подготовки специалистов является создание совместно с Ю.Н. Сухаревым лаборатории фотоупругости при кафедре «Строительные конструкции» в 1973–1975 гг.

С 1978 г. Вадим Васильевич вновь сосредоточил свои силы на НИИПромстрое (в настоящее время БашНИИстрой), где работал заместителем директора по научной работе. И только в 1983 г. он смог вернуться к научно-педагогической деятельности в Уфимском нефтяном университете. В.В. Бабков являлся соруководителем молодых сотрудников кафедры В.Н. Мохова, С.М. Капитонова, А.И. Габитова по разработке и внедрению бетонов повышенной ударостойкости и морозостойкости, удостоенных в 1985 г. звания лауреатов Премии Ленинского Комсомола Башкирии в области науки и техники.

В 1990 г. Вадим Васильевич защитил докторскую диссертацию на тему «Физико-механические аспекты оптимизации структуры цементных бетонов», а в 1992 г. ему было присвоено ученое звание профессора.

С 1992 по 2002 г. В.В. Бабков заведовал кафедрой «Строительные конструкции». За этот период сотрудниками кафедры В.М. Латыповым, А.И. Габитовым, И.В. Недосеко были защищены докторские диссертации, подготовлено свыше двадцати кандидатов наук. В настоящее время значительная часть работающих на кафедре «Строительные конструкции» УГНТУ профессоров и доцентов являются учениками В.В. Бабкова.

Кафедра под руководством В.В. Бабкова постоянно входила в пятерку лучших выпускающих кафедр вуза. И в настоящее время ветеран в строю — Вадим Васильевич продолжает работу на кафедре в должности профессора.

В.В. Бабков является одним из наиболее последовательных и успешных продолжателей традиций уфимской школы строительного материаловедения, заложенных профессором А.Ф. Полаком. Он признанный в России специалист в области стеновых материалов, бетона и железобетона.

К числу значительных достижений В.В. Бабкова относятся разработка и внедрение в производство типовых серий преднапряженных железобетонных решетчатых балок покрытий промышленных зданий и эстакад материалопроводов; разработка технологии получения керамзита низкой и средней плотности; исследование вопросов оптимизации составов легких бетонов и изделий на их основе; разработка технологии использования ряда многотоннажных отходов промышленных предприятий в производстве безобжиговых вяжущих; использование фосфогипса в технологии получения вяжущих материалов и облицовочных изделий; разработка и внедрение новых стеновых материалов и конструкций для жилищно-гражданского и промышленного строительства.

Под руководством В.В. Бабкова в 1995–2005 гг. было выполнено проектирование и строительство нескольких десятков жилых домов в Уфе с наружными трехслойными теплоэффективными стенами на основе высокопустотных вибропрессованных бетонных стеновых камней с внутренним каркасом, что позволило существенно снизить материалоемкость стен и фундаментов. Были разработаны альбомы технических решений теплоэффективных наружных стен и узлов зданий.

ОАО «Башкиравтодор» по разработкам сотрудников кафедры под руководством В.В. Бабкова внедрена технология производства железобетонных водопропускных колец с заменой стального армирования на сталефибробетон, разработан комплект нормативно-технической документации.

Профессор В.В. Бабков — автор более 600 работ, в том числе свыше 50 трудов в центральных журналах, в частности в журнале «Строительные материалы»<sup>®</sup>, автор 16 монографий и учебных пособий, около 30 авторских свидетельств СССР и патентов РФ.

Заслуги Вадима Васильевича неоднократно были отмечены почетными грамотами Минпромстроя СССР (1980), Верховного Совета Башкирской АССР (1981), Министерства строительства, архитектуры и дорожного комплекса РБ, администрации городского округа Уфа, Министерства строительства, архитектуры и транспорта РБ, Республики Башкортостан. В 2010 г. Вадим Васильевич Бабков был награжден орденами «За заслуги перед Республикой Башкортостан» и «За заслуги в строительстве», а в 2018 г. — Орденом Салавата Юлаева.

Редакцию журнала «Строительные материалы»<sup>®</sup> и Вадима Васильевича Бабкова связывают многие годы дружбы и плодотворной творческой и организационной работы. Он постоянный автор, научный консультант и рецензент журнала, инициатор выпуска тематических номеров и подборок статей, соратник по организации читательских конференций и круглых столов в рамках вузовских и выставочных мероприятий.

Редакция, редакционный совет, коллеги и ученики поздравляют Вадима Васильевича Бабкова с 85-летием и желают крепкого здоровья и благополучия.



УДК 666.914

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-779-3-55-61>

А.А. РЯЗАНОВ<sup>1</sup>, инженер (stow-team@live.ru); Р.З. РАХИМОВ<sup>2</sup>, д-р техн. наук (rachimov@kgasu.ru); В.И. ВИННИЧЕНКО<sup>3</sup>, д-р техн. наук (vinnichenko@ukr.net); А.Н. РЯЗАНОВ<sup>1</sup>, канд. техн. наук (aryazanov@hotmail.com), Г.Ю. ШАГИГАЛИН<sup>1</sup>, инженер (ufa-gazinur@mail.ru), И.В. НЕДОСЕКО<sup>1</sup>, д-р техн. наук (nedoseko1964@mail.ru)

<sup>1</sup> Уфимский государственный нефтяной технический университет

(450062, Российская Федерация, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1)

<sup>2</sup> Казанский государственный архитектурно-строительный университет

(420043, Российская Федерация, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Зеленая, 1)

<sup>3</sup> Харьковский национальный университет строительства и архитектуры (61002, Украина, г. Харьков, ул. Сумская, 40)

## Особенности диссоциации карбоната кальция в составе органоминеральной смеси

Методом термодинамического анализа исследовано влияние углерода и продуктов его газификации на процесс декарбонизации карбоната кальция. Показано интенсифицирующее действие органического вещества при термической обработке карбоната кальция. Кроме углерода на реакции декарбонизации влияют газы, выделяющиеся в результате газификации органической части угольных отходов. Теоретически доказано, что органическая составляющая угольных отходов способствует понижению температуры начала и конца разложения карбоната кальция. Для подтверждения теоретических предпосылок были проведены экспериментальные исследования поведения смесей при нагревании. Изучено влияние органического вещества на декарбонизацию чистого карбоната кальция и мела. Продукты термохимических превращений органической массы повышают эффективность процесса декарбонизации карбоната кальция с использованием отходов обогащения угля в составе сырьевой смеси. Органическая составляющая отходов снижает температуру процесса декарбонизации как чистого карбоната кальция, так и мела.

**Ключевые слова:** процесс декарбонизации карбоната кальция, отходы углеобогащения, термограмма, снижение расхода тепловой энергии, снижение температуры диссоциации.

**Для цитирования:** Рязанов А.А., Рахимов Р.З., Винниченко В.И., Рязанов А.Н., Шагигалин Г.Ю., Недосеко И.В. Особенности диссоциации карбоната кальция в составе органоминеральной смеси // *Строительные материалы*. 2020. № 3. С. 55–61.

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-779-3-55-61>

A.A. RIAZANOV<sup>1</sup>, Engineer (stow-team@live.ru); R.Z. RAKHIMOV<sup>2</sup>, Doctor of Sciences (Engineering) (rachimov@kgasu.ru);

V.I. VINNICHENKO<sup>3</sup>, Doctor of Sciences (Engineering) (vinnichenko@ukr.net); A.N. RIAZANOV<sup>1</sup>, Candidate of Sciences (Engineering) (aryazanov@hotmail.com),

G.Yu. SHAGIGALIN<sup>1</sup>, Engineer (ufa-gazinur@mail.ru), I.V. NEDOSEKO<sup>1</sup>, Doctor of Sciences (Engineering) (nedoseko1964@mail.ru)

<sup>1</sup> Ufa State Petroleum Technological University (1, Kosmonavtov Street, Republic of Bashkortostan, Ufa, 450062, Russian Federation)

<sup>2</sup> Kazan State University of Architecture and Engineering (1, Zelenaya Street, Kazan, 420043, Republic of Tatarstan, Russian Federation)

<sup>3</sup> Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture (40, Sumy Street., 61002, Kharkov, Ukraine)

### Features of Dissociation of Calcium Carbonate in the Composition of an Organo-Mineral Mixture

The influence of carbon and its gasification products on the process of decarbonization of calcium carbonate has been studied by the method of thermodynamic analysis. The intensifying effect of organic matter during heat treatment of calcium carbonate is shown. In addition to carbon, decarbonation reactions are affected by gases released as a result of gasification of the organic part of coal waste. It is theoretically proved that the organic component of coal waste contributes to lowering the temperature of the beginning and end of the decomposition of calcium carbonate. To confirm the theoretical assumptions, experimental studies of the behavior of mixtures under heating were conducted. The influence of organic matter on the decarbonization of pure calcium carbonate and chalk was studied. Products of thermochemical transformations of organic mass increase the efficiency of the process of decarbonization of calcium carbonate using coal enrichment waste as part of the raw material mixture. The organic component of the waste reduces the temperature of the decarbonization process both of pure calcium carbonate and chalk.

**Keywords:** process of calcium carbonate decarbonization, carbon enrichment waste, thermogram, reducing the consumption of heat energy, reducing the dissociation temperature.

**For citation:** Riazanov A.A., Rakhimov R.Z., Vinnichenko V.I., Riazanov A.N. Shagigalin G.Yu., Nedoseko I.V. Features of dissociation of calcium carbonate in the composition of an organo-mineral mixture. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2020. No. 3, pp. 55–61. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-779-3-55-61>

Известь является конечным продуктом реакции диссоциации карбоната кальция. Основным процессом получения извести является обжиг при температуре 900–1200°C [1, 2]. Большое влияние на свойства извести оказывают примеси алюмосиликатов, карбоната магния и кварца [3]. Отходы обогащения угля (ОУ) содержат эти компоненты вместе с органическими включениями (угольными остатками) [4, 5]. Поэтому материалы, содержащие

кварцевые и глинистые минералы, могут быть использованы в производстве различных вяжущих материалов и изделий на их основе [6–8]. Промышленность строительных материалов является одним из крупнейших потребителей энергии. Стоимость тепловой энергии при производстве основных минеральных вяжущих оказывает существенное влияние на экономическую эффективность последних, поэтому работы, позволяющие

Уравнения возможных реакций при обжиге  
Equations of possible firing reactions

№ реакции	Уравнения реакции
P1	$\text{CaCO}_3 = \text{CaO} + \text{CO}_2$
P2	$\text{CaCO}_3 + \text{C} = \text{CaO} + 2\text{CO}$
P3	$\text{CaCO}_3 + 2\text{OH}^- = \text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CO} + 0,5\text{O}_2$
P4	$\text{CaCO}_3 + 2\text{OH}^- = \text{CaO} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + 0,5\text{O}_2$
P5	$\text{CaCO}_3 + \text{H}_2 + 0,5\text{O}_2 = \text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CO}_2$
P6	$\text{CaCO}_3 + \text{H}_2 + 0,5\text{O}_2 = \text{CaO} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
P7	$\text{CaCO}_3 + \text{OH}^- + 0,5\text{H}_2 = \text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CO}_2$
P8	$\text{CaCO}_3 + \text{OH}^- + 0,5\text{H}_2 = \text{CaO} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
P9	$\text{Ca}(\text{OH})_2 = \text{CaO} + \text{OH}^- + 0,5\text{H}_2$
P10	$\text{Ca}(\text{OH})_2 = \text{CaO} + \text{H}_2\text{O}$

добиться ощутимого снижения расхода технологического топлива, представляют большой практический интерес.

Целью работы является научное обоснование эффективности использования отходов углеобогащения в качестве кремнеземистого компонента сырьевой смеси для получения известьсодержащих гидравлических вяжущих низкотемпературного обжига [9–11].

Экспериментальные исследования проводились с использованием мела из карьера ОАО «Мельстрем» и химически чистого карбоната кальция, отходов гравитационного обогащения угля Белореченской групповой обогатительной фабрики. Рентгенофазовый анализ сырьевых компонентов проводили порошковым методом на рентгеновском дифрактометре BRUKER D2 PHASER (Германия). Количественный анализ производился в программе «TOPAS» (Total Pattern Analysis Solution), качественный анализ производился в программе «Diffraс Eva».

Минералогический состав мела представлен кальцитом – 73,69%, магнезитом – 6,25%, кварцем – 7,29%, тримитом – 7,59%, кристобалитом – 1,48%, известью – 0,07%, гипсом – 3,63%.

Минеральная составляющая отходов углеобогащения представлена кварцем – 46,39%, мусковитом – 28,23%, каолинитом – 5,71%, алуногеном – 2,44%, гросситом – 1,63%, анатазом – 1,71%, накритом – 13,9%.

С целью изучения влияния органического компонента на процесс декарбонизации известняка предварительно были проведены термодинамические расчеты реакций декарбонизации карбоната кальция в смеси с отходами углеобогащения. Базовые реакции представлены в таблице. Исходные данные, используемые в расчетах, приняты из работ [12–14].

Учитывая, что углерод преобразуется в слое материала вращающейся

печи, и предполагая, что в слое материала присутствуют продукты газификации углерода, выдвинута гипотеза: помимо углерода на реакции декарбонизации влияют газы, выделяющиеся в результате превращений (газификации) органической части угольных отходов.

Расчет реакции диссоциации  $\text{CaCO}_3$  (P1) взят для сравнения из работы [12]. Результаты расчетов графически представлены на рис. 1. Энергия Гиббса  $\Delta G_T^0$  вычислялась по формуле (1) [12]:

$$\Delta G_T^0 = \Delta H_0 - \Delta a \cdot \ln T + 0,5 \Delta b \cdot T^2 - 0,5 \Delta c \cdot T^{-1} + yT, (1)$$

где  $\Delta H_0$ ,  $y$  – константы интегрирования;  $\Delta a$ ,  $\Delta b$ ,  $\Delta c$  – коэффициенты в уравнении зависимости теплоемкости от температуры;  $T$  – температура реакции, К.

Линия P1 (рис. 1) пересекается с осью абсцисс при температуре 1160К. Эта точка показывает термодинамическую возможность начала реакции. Когда  $\text{CaCO}_3$  взаимодействует с углеродом (P2), точка пересечения с той же осью смещается в сторону понижения температуры почти на 100К – это эффект усиливающего действия углерода.

Гидроксильная группа и водород способны взаимодействовать с  $\text{CaCO}_3$  во всем рассматриваемом интервале температуры (P3, P5, P7), способствуя гидролизу  $\text{CaCO}_3$  с образованием  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Более того, образование  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  термодинамически возможно до температуры 773К, выше этой температуры при тех же исходных материалах твердым продуктом реакции является  $\text{CaO}$ . Но учитывая, что появление водорода и гидроксильной группы  $\text{OH}^-$  в смеси термодинамически возможно выше 573К, образование  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  вероятно только в интервале температуры 573–773К и, следовательно, температура начала разложения  $\text{CaCO}_3$  в этом случае по сравнению с P1 падает до 573К.

Следовательно, использование термически необработанных отходов углеобогащения в смеси с карбонатной породой теоретически приводит к интен-

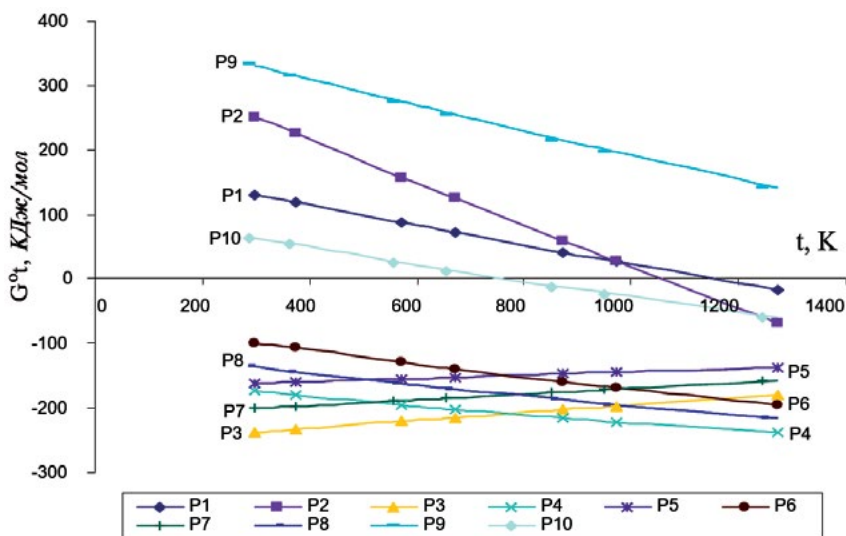
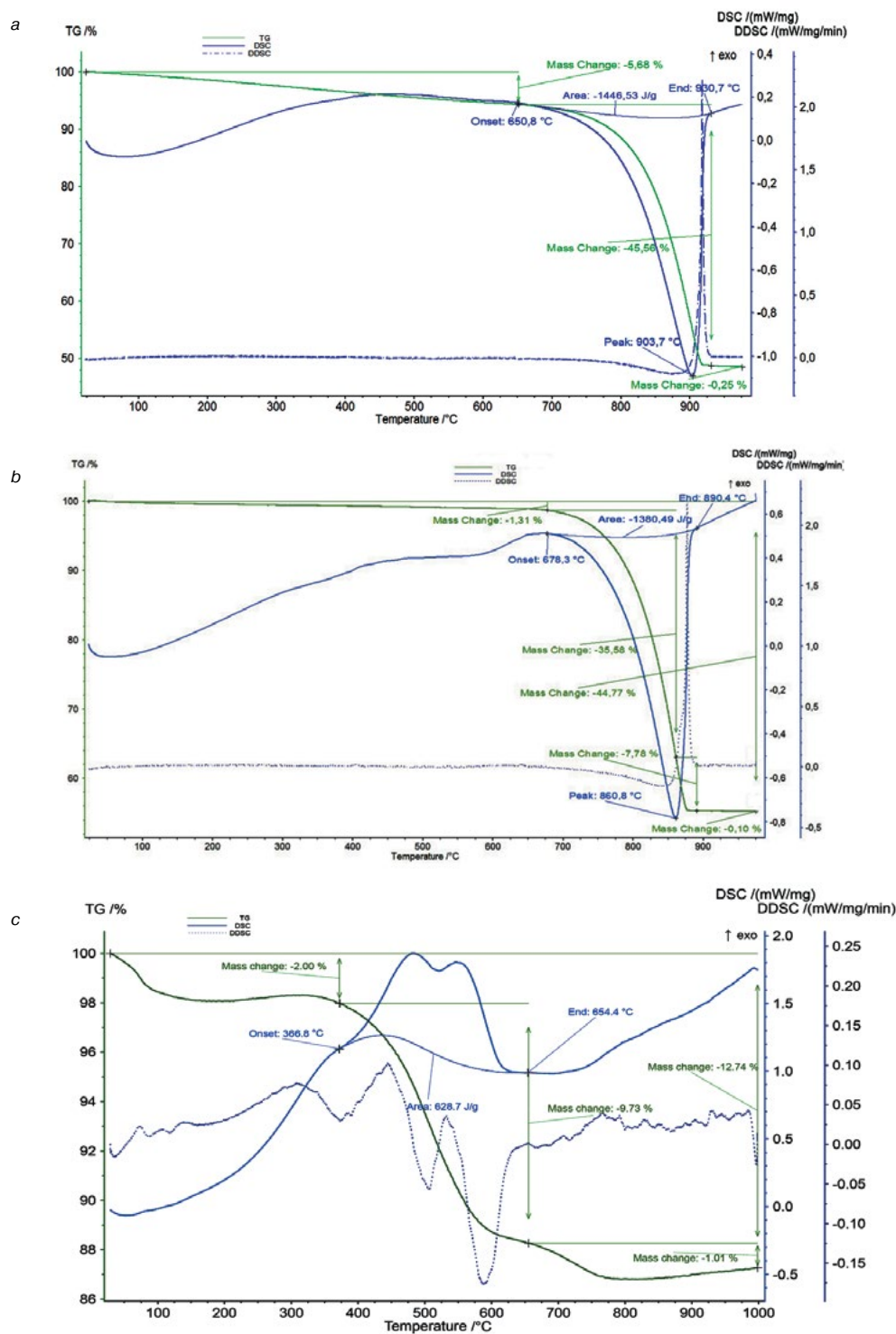


Рис. 1. Влияние температуры на энергию Гиббса реакций P1–10 (см. таблицу)  
Fig. 1. The effect of temperature on the Gibbs energy of reactions P1–10 (see table)



**Рис. 2.** Термограмма: а – химически чистого CaCO<sub>3</sub>; б – мела; с – отходов углеобогащения (TG – термогравиметрия; DSC – дифференциальный сканирующий калориметр; DDSC – производная первого порядка дифференциального сканирующего калориметра)  
**Fig. 2.** Thermogram: a – of chemically pure CaCO<sub>3</sub>; b – chalk; c – coal wastes

сификации процесса декарбонизации карбоната кальция.

Для подтверждения теоретических предпосылок были проведены экспериментальные исследования поведения этой смеси при нагревании на синхронном приборе термического анализа STA 449 F3 Jupiter с масс-спектрометром QMG 409C Aeolos (Великобритания).

На рис. 2, а показана термограмма чистого CaCO<sub>3</sub>. Начало реакции декарбонизации происходит при

температуре 650,8°C, конец реакции – при 930,7°C, пик реакции соответствует 903,7°C, тепловой эффект реакции составляет 1446,53 Дж/г.

На рис. 2, б показано поведение мела при нагревании. Превращение карбоната кальция в оксид кальция и углекислый газ происходит при температур 678,3–890,4°C. Тепловая энергия необходима в количестве 1380,49 Дж/г.

Сравнение данных рис. 2, а, б показывает, что для осуществления декарбонизации мела требуется мень-

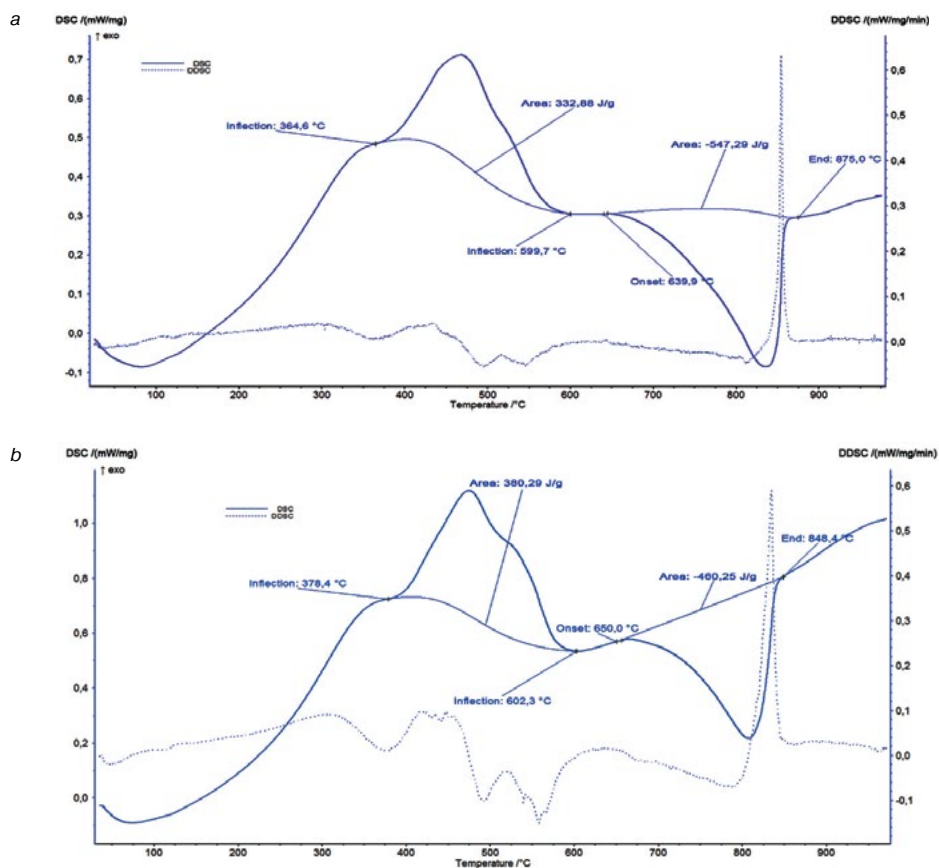


Рис. 3. Термограмма сырьевой шихты состава, по массе: а –  $\text{CaCO}_3$  : ОУ = 1:2; б – мел : ОУ = 1:2  
 Fig. 3. Thermogram of a raw material composition, by weight: а –  $\text{CaCO}_3$  : coal wastes = 1: 2; б – chalk: coal wastes = 1: 2

ше тепловой энергии, чем для декарбонизации чистого  $\text{CaCO}_3$ . Реакция декарбонизации протекает в другом температурном диапазоне. Пик реакции декарбонизации чистого  $\text{CaCO}_3$  составляет  $903,7^\circ\text{C}$ . Пик реакции мела составляет  $890,4^\circ\text{C}$ . Температура окончания реакции снижается на  $40,3^\circ\text{C}$ .

На рис. 2, с приведена термограмма отходов обогащения угля, которая показывает характер разложения органического компонента отходов.

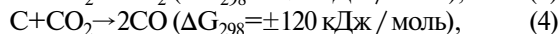
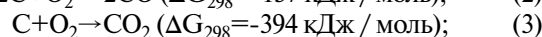
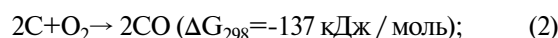
Начало процесса термоокислительной деструкции с выделением газообразных летучих продуктов находится в интервале температуры около  $366,8^\circ\text{C}$ , потеря массы составляет 2%. При дальнейшем нагревании интенсифицируются процессы термического разрушения органической массы отходов, сопровождающиеся выделением летучих веществ и смол. Максимум этого эффекта наблюдается при температуре  $480^\circ\text{C}$ . Обезвоживание водных оксидов алюмосиликатов происходит параллельно с выделением летучих веществ.

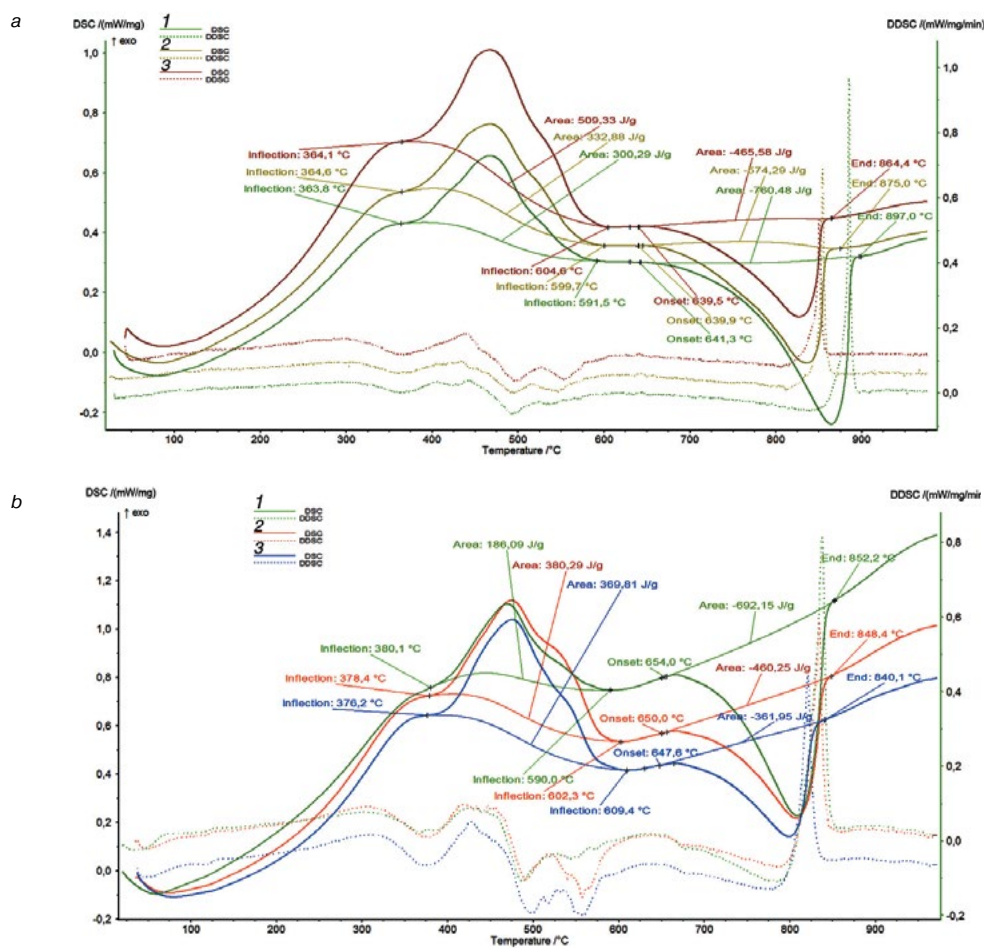
Процесс термического разложения органического компонента наблюдается в интервале температуры  $560\text{--}654^\circ\text{C}$ . Потеря веса составляет 9,73%. Выделение тепловой энергии измеряется площадью, ограниченной кривой газовой выделением между температурой  $366,8$  и  $654,4^\circ\text{C}$ . Тепловой эффект составляет  $628,7$  Дж/г.

В последующих опытах изучили поведение смеси чистого карбоната кальция с отходами углеобогащения

и смеси мела с указанными отходами при нагревании (рис. 3, а). Сырьевая смесь состоит из чистого карбоната кальция и отходов углеобогащения (ОУ),  $\text{CaCO}_3$  : ОУ = 1:2 по массе.

При нагревании в смеси протекают процессы сушки и дегидратации глинистых минералов, диссоциации карбоната кальция и магния, а также термохимические превращения органической массы отходов углеобогащения. Отходы, подвергающиеся термическому удару, быстро нагреваются, а выделяющиеся парогазовые продукты сжигаются в слое материала и над слоем. Например, для рассматриваемого случая использование такого технического решения экономит  $1380,49\text{--}547,29=833,2$  Дж/г тепла. Другими словами, экономия составляет 60,4% от необходимого расхода тепла на процесс декарбонизации. Поступая в реальную печь, сырьевая смесь карбонатной породы с отходами углеобогащения постепенно перемещается по направлению потока печных газов (состоящих из углекислого газа, водяного пара, азота и кислорода) в зону более высокой температуры. При достижении температуры, превышающей  $364^\circ\text{C}$ , начинается реакция взаимодействия углерода с кислородом. Здесь возможны следующие процессы [15]:





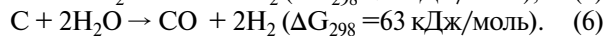
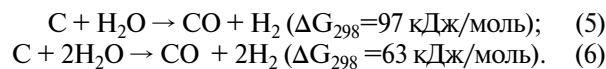
**Рис. 4.** Термограмма сырьевой шихты состава, по массе: а –  $\text{CaCO}_3$  : ОУ (1 – 1:1; 2 – 1:2; 3 – 1:3); б – мел : ОУ (1 – 1:1; 2 – 1:2; 3 – 1:3)  
**Fig. 4.** Thermogram of raw material composition, by weight: а –  $\text{CaCO}_3$  : coal wastes (1 – 1:1; 2 – 1:2; 3 – 1:3); б – chalk : coal wastes (1 – 1:1; 2 – 1:2; 3 – 1:3)

где  $\Delta G_{298}$  – изменение энергии Гиббса в ходе реакции при 298К, кДж/моль.

При относительно низкой температуре реакции (2), (3) термодинамически возможны, но (3) более вероятна, так как изменение энергии Гиббса здесь более отрицательно. Реакция (4) вообще невозможна (изменение энергии Гиббса положительно), поэтому в начале взаимодействия выделяется только диоксид углерода (углекислый газ), а монооксид углерода (угарный газ) практически не образуется. Однако в ходе реакции (3) происходит двукратное увеличение числа молекул газа, и поэтому энтропия системы значительно возрастает. С увеличением температуры это приводит к уменьшению положительного изменения энергии Гиббса, а затем это изменение становится отрицательным, что делает возможной реакцию (4). В связи с этим с момента начала реакции (4) до начала воспламенения монооксида углерода практически весь образующийся диоксид, взаимодействуя с углеродом сырья, превращается в оксид, т. е. протекают реакции (3) и (4), суммарный результат которых выражается уравнением (1). Кроме того, интенсивные превращения углеродсодержащего материала без доступа кислорода происходят в том же температурном диапазоне, в результате чего также выделяются горючие компоненты: углеводороды, водород и мо-

нооксид углерода, которые, однако, могут взаимодействовать с кислородом только при более высокой температуре. Эти превращения происходят в слое материала, что способствует интенсивной теплопередаче. Это первый фактор, способствующий повышению энергоэффективности.

Вторым фактором является интенсификация процессов термохимического взаимодействия. Помимо увеличения скорости реакций с повышением температуры, здесь становится возможным проводить химические превращения в новых направлениях. Реальные топочные газы содержат значительное количество водяного пара, полученного при сжигании топлива, способного взаимодействовать с углеродом, содержащимся в угольных остатках отходов углеобогащения, по следующим реакциям:



При низкой температуре эти процессы невозможны, но из-за того что в них, как и в приведенной выше реакции (4), объем газовой фазы увеличивается, положительное изменение энергии Гиббса уменьшается с увеличением температуры и в конечном итоге это изменение становится отрицательным, что

делает такие процессы возможными. Для реакции (5) такая возможность возникает при температуре выше 850°C, для реакции (6) – при температуре выше 750°C. Реагентом, способным взаимодействовать с углеродом, становится не только кислород, но и водяной пар. Концентрация реагентов увеличивается, что, согласно закону действующих масс, увеличивает скорость взаимодействия. Образующиеся при такой высокой температуре горючие продукты полностью окисляются кислородом, поэтому общее количество выделяемого тепла в соответствии с законом Гесса остается неизменным, но скорость реакции возрастает, что интенсифицирует процесс в целом.

Таким образом, горючие продукты термохимических превращений органической массы повышают эффективность процесса декарбонизации карбоната кальция при использовании отходов углеобогащения в составе сырьевой смеси.

На термограмме сырьевой смеси состава мел : ОУ = 1:2 по массе (рис. 3, в) показано снижение термического эффекта декарбонизации известняка (мела) на 87,04 Дж/г по сравнению с композицией на основе чистого карбоната кальция. Это снижает температуру пика реакции и ее прекращения.

Проведен сравнительный анализ влияния увеличения количества отходов в смеси (рис. 4, а) на снижение температуры процесса декарбонизации карбонатного компонента. Указанная выше закономерность наблюдается на термограммах сырьевых смесей

с использованием химически чистого карбоната кальция в принятом диапазоне соотношений компонентов (CaCO<sub>3</sub>:ОУ=1:1; 1:2; 1:3 по массе). С увеличением содержания отходов углеобогащения в смеси общий тепловой эффект реакций уменьшается.

Термограммы сырьевых смесей, включающих природный известняк (мел) и отходы углеобогащения, также отличаются смещением всех температурных пиков в сторону более низкой температуры (рис. 4, б).

### Выводы

Проведены теоретические исследования влияния углерода и продуктов его газификации на диссоциацию карбоната кальция при нагревании. Установлены особенности процесса декарбонизации карбонатного компонента при наличии углеродистых включений в двухкомпонентных сырьевых смесях.

Термографические исследования подтвердили интенсифицирующее влияние углеродистых включений, содержащихся в отходах углеобогащения, на процесс диссоциации карбонатного компонента сырьевой смеси. Органическая составляющая отходов способствует снижению температуры процесса декарбонизации химически чистого карбоната кальция и природного известняка (мела), что в целом снижает количество тепловой энергии, затрачиваемой на эндотермический процесс диссоциации CaCO<sub>3</sub>.

### Список литературы

1. Мирзаев Д. А., Копцев Д. В. Особенности кинетики декарбонизации CaCO<sub>3</sub> // *Вестник МГТУ им. Г.И. Носова*. 2012. №2. С. 79–81.
2. Wang Y., Lin S.Y., Suzuki Y. Limestone Calcination with CO<sub>2</sub> Capture: Decomposition behavior in a CO<sub>2</sub> atmosphere. *Energy & Fuels*. 2007. No. 21. pp 3317–3321. DOI: <https://doi.org/10.1021/ef700318c>
3. Барсуков С.В. Исследование процессов образования клинкера при обжиге золосодержащих смесей // *Полуяновский Вестник*. 2006. № 2. С. 205–209.
4. Ганопольский Ф.И. О минеральном составе сопутствующих пород углей Донбасса // *Уголь Украины*. 1985. № 3. С. 44–45.
5. Шпирт М.Я., Артемьев В.Б., Силютин С.А. Использование твердых отходов добычи и переработки углей. М: Горное дело, 2013. 432 с.
6. Лугинина И.Г., Ибатулина Л.Х. и др. Применение отходов угледобычи для производства цемента // *Цемент*. 1983. № 11. С. 6.
7. Шубин В.И., Холодный А.Г., Копелиович В.М., Овчаренко Л.В., Винниченко В.И. Анализ эффективности отходов углеобогащения как энергосберегающей добавки сырьевой смеси // *ВНИИЭСМ*. Сер. 1. 1991. С. 14–21.
8. Классен В.К., Борисов И.Н., Мануйлов В.Е., Ходыкин Е.И. Теоретическое обоснование и эф-

### References

1. Mirzaev D.A., Koptsev D.V. The features of CaCO<sub>3</sub> decarbonization kinetics. *Vestnik MGTU im. G.I. Nosova*. 2012. No. 2, pp. 79–81. (In Russian).
2. Wang Y., Lin S.Y., Suzuki Y. Limestone Calcination with CO<sub>2</sub> Capture: Decomposition behavior in a CO<sub>2</sub> atmosphere. *Energy & Fuels*. 2007. No. 21. pp 3317–3321. DOI: <https://doi.org/10.1021/ef700318c>
3. Barsukov S.V. The Study of clinker formation processes during firing of ash mixtures. *Poluyanovskii Vestnik*. 2006. No. 2, pp. 205–209. (In Russian).
4. Ganopol'skii F.I. About the mineral composition of accompanying coal rocks of the Donbass. *Ugol' Ukrainy*. 1985. No. 3, pp. 44–45. (In Russian).
5. Shpirt M. Ya., Artem'ev V. B., Silyutin S. A. Ispol'zovanie tverdykh otkhodov dobychi i pererabotki uglei [The use of solid mine waste and coal processing waste]. Moscow: Gornoe delo. 2013. 432 p.
6. Luginina I.G., Ibatulina L.Kh. at as. The use of coal waste for cement production. *Tsement*. 1983. No.11, p. 6. (In Russian).
7. Shubin V.I., Kholodnyi A.G., Kopeliovich V.M., Ovcharenko L.V., Vinnichenko V.I. The efficiency analysis of the coal processing waste as an energy-saving additive for the raw mix. *VNIIESM*. 1991. Iss. 1, pp. 14–21. (In Russian).
8. Klassen V.K., Borisov I.N., Manuilov V.E., Khodykin E.I. Theoretical substantiation and efficiency of using coal waste as a raw material component in cement

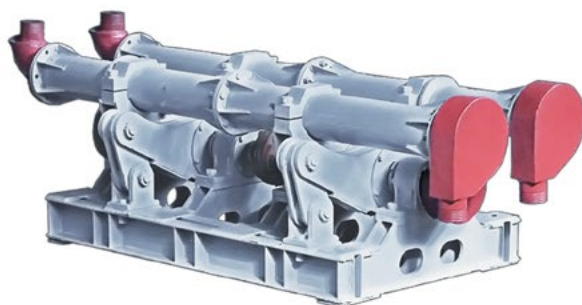
- фективность использования углеотходов в качестве сырьевого компонента в технологии цемента // *Строительные материалы*. 2007. № 8. С. 20–21.
9. Шелихов Н.С., Рахимов Р.З., Сагдиев Р.Р., Стоянов О.В. Низкообжиговые гидравлические вяжущие. Проблемы и решения // *Вестник Казанского технологического университета*. 2014. № 2 (17). С. 59–64.
  10. Барбане И., Витыня И., Линдыня Л. Исследование химического и минералогического состава романцемента, синтезированного из латвийской глины и доломита // *Строительные материалы*. 2013. № 1. С. 40–43.
  11. Tislova R., Kozlowska A., Kozlowski R., Hughes D. Porosity and specific surface area of Roman cement pastes. *Cement and Concrete Research*. 2009. Vol. 39. Iss. 10, pp. 950–956.
  12. Бабушкин В.И., Матвеев Г.М., Мchedlov-Петросян О.П. Термодинамика силикатов М.: Госстройиздат, 1986. 407 с.
  13. Карапетьянц М.Х., Карапетьянц М.П. Основные термодинамические константы неорганических и органических веществ. // М.: Химия. 1968. 472 с.
  14. Эйтель В. Физическая химия силикатов М.: Изд-во Иностранной литературы 1962. 1055 с.
  15. Скляр М. Г. Физико-химические основы спекания угля. М.: Металлургия, 1984. 200 с.
- technology. *Stroitel'nye materialy*. [Construction Materials] 2007. No. 8, pp. 20–21. (In Russian).
9. Shelikhov N.S., Rakhimov R.Z., Sagdiev R.R., Stoyanov O.V. Low baked hydraulic binders. Problems and Solutions. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*. 2014. No. 2 (17), pp. 59–64. (In Russian).
  10. Barbane I., Vitynya I., Lindynya L. Study of the chemical and mineralogical composition of romancement synthesized from Latvia's clay and dolomite. *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 1, pp. 40–43. (In Russian).
  11. Tislova R., Kozlowska A., Kozlowski R., Hughes D. Porosity and specific surface area of Roman cement pastes. *Cement and Concrete Research*. 2009. Vol. 39. Iss. 10, pp. 950–956.
  12. Babushkin V.I., Matveev G.M., Mchedlov-Petrosyan O.P. *Termodinamika silikatov* [Thermodynamics of silicates]. Moscow: Gosstroizdat. 1986. 407 p.
  13. Karapet'yants M.Kh., Karapet'yants M.P. *Osnovnye termodinamicheskie konstanty neorganicheskikh i organicheskikh veshchestv* [Basic thermodynamic constants of inorganic and organic substances]. Moscow: Khimiya. 1968. 472 p.
  14. Eitel' V. *Fizicheskaya khimiya silikatov* [Physical chemistry of silicates]. Moscow: Izd-vo Inostrannoi literatury. 1962. 1055 p.
  15. Sklyar M. G. *Fiziko-khimicheskie osnovy spekaniya uglja* [Physicochemical fundamentals of sintering coal]. Moscow: Metallurgiya. 1984. 200 p.

Реклама



## Российские промышленные и лабораторные шаровые мельницы интенсивного помола.

### Центробежные эллиптические мельницы



Высокая производительность при низком энергопотреблении

- \*смешение компонентов
- \*получение сухих смесей
- \*помол наполнителей
- \*активация цемента
- \*подготовка шихты
- \*помол пигментов

Мельницы, другое оборудование и результаты помола материалов на [www.activator.ru](http://www.activator.ru)

### Лабораторные планетарные мельницы



Мельницы для пробоподготовки  
Высокоинтенсивная обработка

Новосибирск,  
Софийская 14, оф 17  
630056, Новосибирск 56, а/я 141  
Тел: +7 (3845) 71 0 61  
+7 960 780 77 06  
e-mail: [zhm.activator@gmail.com](mailto:zhm.activator@gmail.com)



## КНАУФ в России: успешное завершение 2019 г., оптимистичный прогноз на 2020 г.

Традиции – неотъемлемая часть культуры. Компания КНАУФ, более 25 лет назад пришедшая на Российский строительный рынок, – основоположник в том числе корпоративных коллабораций. Одной из таких традиций, введенных в практику более 20 лет назад еще д-ром Х. Гаммом, стали ежегодные весенние встречи руководителя бизнеса КНАУФ в России с журналистами ведущих строительных изданий.

**5 марта 2020 г. состоялась традиционная встреча с управляющим группы КНАУФ Восточная Европа и СНГ г-ом Янисом Краулисом.** В ходе беседы об-

суждались вопросы современного состояния строительства и производства строительных материалов, текущей политики и стратегии компании КНАУФ на российском рынке.

Важнейшим глобальным событием 2019 г. стало завершение сделки по покупке компанией КНАУФ одного из ведущих американских производителей гипсокартона, облицовочных панелей и других строительных материалов, – компании USG Corporation (г. Чикаго, США), владеющей 50 производствами в разных странах мира (США, Канада, Мексика и др.). Таким образом, компания КНАУФ стала крупнейшим производителем гипсовых строительных материалов в мире.

Также завершена двухлетняя работа по урегулированию формальностей по приобретению активов компании Armstrong («Армстронг») в Европе и Азии. Получение разрешения антимонопольных органов Европейского Союза позволило закрыть сделку. Главным активом «Армстронг», лидера рынка потолочных систем в России, является новый современный завод в Елабуге (Татарстан). С покупкой компании «Армстронг» КНАУФ стала также мировым лидером по производству потолочных систем.

По итогам 2019 г. международная группа КНАУФ произвела более 1,3 млрд м<sup>2</sup> гипсовых строительных плит (+4%), более 4,4 млн т гипсовых строительных смесей (+6%). Почти на 15% увеличился выпуск пастообразных готовых продуктов.

Г-н Краулис отметил изменения в структуре потребления продукции. Например, увеличился спрос на машинную штукатурную смесь M75, а также выросли продажи штукатурных станций PFT, что аналитики компании связывают с изменением схемы финансирования строительства, из-за чего на первый план выходит именно скорость производства строительных работ.

В конце 2019 г. после модернизации была запущена установка по производству облицовочного картона в Ленинградской области (журнал «Строительные материалы» неоднократно писал о ходе этой работы), что позволило увеличить мощность более, чем в 1,5 раза, и обеспечить продукцией не только рынок России, но и увеличить экспорт. Общие инвестиции в этот проект составили более 3,5 млрд р.

Второе важное событие в России – открытие в г. Звенигово (Республика Марий Эл) завода по изготовлению ССС. Для обеспечения снабжения завода гипсовым камнем, и это также важно для региона, был построен речной причал. Этот небольшой, но успешный завод позволяет прогнозировать успех новых инвестиций в развитие производства региона. Создание небольших заводов недалеко от территорий, где ведется активное строительство, экономически обосновано. Уже в 2020 г. в Санкт-Петербурге запущен небольшой завод по выпуску цементных строительных смесей.

В настоящее время компания КНАУФ видит перспективы применения модульных решений в секторе коммерческой недвижимости и при строительстве общественных зданий. Решения для жилищного строительства из модулей и панелей заводской готовности также остаются важным направлением работы. К ним относятся и проекты для высотного строительства, для чего разработаны готовые модули сантехнических кабин или готовые фасадные элементы, и проекты малоэтажного строительства и индивидуальных домов. С этой целью будет развиваться предприятие по производству строительных модулей «Новый дом» в Красногорске. На основании оценки его работы в 2020 г. будет приниматься решение о строительстве большого завода модульных систем.

В планах компании на 2020 г. более широкое внедрение материалов КНАУФ в инфраструктурные объекты, такие как метрополитен, транспортное строительство, нефтегазовый сектор. Для таких заказчиков будут разрабатываться специальные продукты. Для программы реконструкции старых и строительства новых кинотеатров разрабатываются специальные акустические и противопожарные решения с использованием ГКЛ толщиной 20 мм, ГКЛ повышенной плотности «Сапфир» и т. д.

Компания КНАУФ – социально ответственная компания. Она поддерживает проекты, которые могут иметь пользу в долгосрочной перспективе для тех населенных пунктов, где занимается своей предпринимательской деятельностью: это развитие любительского спорта, образования и воспитания, культуры и искусства, помощь социальным учреждениям. Новый формат благотворительного проекта, завершившегося в начале 2020 г. – «Золотые руки. Добрые сердца», проведенного совместно с благотворительным фондом помощи пожилым людям и инвалидам. Впервые клиенты компании также подключились к акции сбора средств для проведения ремонта в 10 домах-интернатах. Было собрано более миллиона рублей. Компания КНАУФ дофинансировала 3,5 млн р., и в настоящее время ремонтные работы в домах престарелых идут полным ходом.

Нельзя не сказать несколько слов о месте встречи, которые служба корпоративных коммуникаций КНАУФ во главе с Л.М. Лосем выбирает со смыслом. Гостиница «Националь» была построена в 1902 г. по проекту известного архитектора А.В. Иванова, применившего множество строительных новаций своего времени. На момент открытия она считалась одной из самых престижных и передовых с точки зрения инженерного обеспечения.

До наших дней сохранилась парадная лестница без косяков, ее мраморные ступени по-прежнему «парят» в воздухе. Радуют глаз аутентичные витражи и люстры, антикварные предметы интерьера, подлинные живописные полотна и элементы декора. Лифты поднимали гостей с открытия в 1902 г., их богатые порталы сохранились в первоначальном виде.







2–4 ИЮНЯ 2020  
РОСТОВ-НА-ДОНУ. РОССИЯ  
Marins Park Hotel Rostov

2–4 on JUNE, 2020  
ROSTOV-ON-DON. RUSSIA  
Marins Park Hotel Rostov



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

# KERAMTEX



## СПЕЦИАЛЬНЫЙ ПРОЕКТ: СИМПОЗИУМ «НАУКА – КЕРАМИЧЕСКОМУ ПРОИЗВОДСТВУ»

SPECIAL PROJECT: SYMPOSIUM «THE SCIENCE – FOR CERAMIC PRODUCTION»

Партнеры МИАП KERAMTEX / KERAMTEX' partners



**Посещение завода «Донской кирпич» и предприятий ГК UNITILE  
«Шахтинская плитка» и «Шахтинские смеси»**

Visit to brick-plant «Donskoy kirpich» and The Unitile Group of Companies  
Уникальный Музей кирпича / the brick Museum

**Гала ужин с вручением профессиональных наград,  
ресторан «Усадьба Голицыных», Банкет Холл**

Ceramic awards dinner, restaurant «Golitsyn Estate», Banket Hall

В.А. ГУРЬЕВА, д-р техн. наук (victoria-gurieva@rambler.ru),

А.В. ДОРОШИН, инженер, А.А. ИЛЬИНА, инженер

Оренбургский государственный университет (460018, г. Оренбург, пр. Победы, 13)

## Математическая оптимизация составов шихт при производстве керамического кирпича

Разработана схема предварительной подготовки, прогнозирования и экспериментального подтверждения физико-механических свойств керамических изделий с помощью результатов математического планирования. Методом полного трехфакторного эксперимента установлено влияние основных факторов, влияющих на повышение эффективности исследований по расширению диапазона использования легкоплавких алюмосиликатных суглинков в композиции с золошлаковыми отходами (ЗШО). Математическая модель эксперимента позволила установить функциональные взаимосвязи между рецептурными параметрами (суглинок+ЗШО+силикат-глыба) и физико-механическими свойствами керамического кирпича (плотностью, пределом прочности при сжатии, водопоглощением). Получены уравнения регрессии, которые позволяют выявить зависимость функций отклика от установленных факторов. Поверхности откликов функций выходных параметров позволили визуальную оценить изменение свойств полнотелого керамического стенового материала с использованием техногенных отходов топливно-энергетического комплекса – ЗШО в количестве 28 мас. % в композиции с силикат-глыбой 10% при температуре обжига 1050°C и давлении прессования 20 МПа в исследуемой области факторного пространства. Предложенная методика проведения эксперимента позволяет обеспечить стабильность производственного цикла при подборе сырьевых компонентов и снижение доли некачественной продукции и брака.

**Ключевые слова:** математическое планирование, математическая модель, уравнение регрессии, легкоплавкие суглинки, физико-механические показатели.

**Для цитирования:** Гурьева В.А., Дорошин А.В., А.А. Ильина. Математическая оптимизация составов шихт при производстве керамического кирпича // *Строительные материалы*. 2020. № 3. С. 64–68. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-779-3-64-68>

V.A. GURYEVA, Doctor of Sciences (Engineering) (Victoria-gurieva@rambler.ru), A.V. DOROSHIN, Engineer, A.A. ILYINA, Engineer  
Orenburg State University (13, Pobedy Avenue, Orenburg, 460018, Russian Federation)

### Mathematical Optimization of Charge Compositions in the Production of Ceramic Bricks

The scheme of preliminary preparation, forecasting and experimental confirmation of the physico-mechanical properties of ceramic products using the results of mathematical planning is developed. By the method of a full three-factor experiment, the influence of the main factors affecting the increase in the efficiency of studies on expanding the range of use of low-melting aluminosilicate loams in a composition with ash and slag waste (ASW) was established. The mathematical model of the experiment made it possible to establish the functional relationships between the recipe parameters (loam + ASW + silicate block) and the physico-mechanical properties of ceramic bricks (density, compressive strength, water absorption). The regression equations are obtained, which allow to reveal the dependence of the response functions on the established factors. The response surfaces of the functions of the output parameters made it possible to visually assess the change in the properties of the full-body ceramic wall material using technogenic waste of the fuel and energy complex – ASW in the amount of 28% by weight in the composition with a silicate block of 10% at a firing temperature of 1050°C and a pressing pressure of 20 MPa in the studied area of the factor space. The proposed experimental technique allows to ensure the stability of the production cycle when selecting raw materials and reducing the proportion of low-quality products and rejects.

**Keywords:** mathematical planning, mathematical model, regression equation, low-melting loam, physical and mechanical indicators.

**For citation:** Guryeva V.A., Doroshin A.V., Ilyina A.A. Mathematical optimization of charge compositions in the production of ceramic bricks. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2020. No. 3, pp. 64–68. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-779-3-64-68>

До настоящего времени экономия ресурсов и эффективность при эксплуатации строительных материалов является актуальной и перспективной задачей, над которой работают специалисты строительной отрасли. На сегодняшний день в ходе модернизации и технического перевооружения предприятий, выпускающим керамический кирпич, приходится осваивать ресурсосберегающие технологии и средства производства, что неизменно приводит к поиску и разработке новых оптимальных составов на основе имеющихся запасов сырья.

Одним из наиболее эффективных и перспективных направлений исследования является планирование эксперимента с использованием стандартных методов математического анализа [1], который по-

зволяет построить математические модели и исследовать совокупность факторов, влияющих на технологические условия и физико-механические показатели выпускаемых керамических изделий. Кроме того, планирование эксперимента – это способ повышения эффективности научно-исследовательского процесса и сокращения времени и средств [2].

Проводя эксперименты, исследователь получает результаты как в дискретной форме, так и в виде непрерывных полей. Данные, полученные в дискретной форме, позволяют фиксировать изучаемые показатели с большой точностью, но не дают наглядного фактического представления о распределении искомых величин. В связи с этим необходимо проводить дополнительное изучение влияющих факторов

Таблица 1  
Table 1Химический состав исходного сырья  
The chemical composition of clay raw materials and ASW

Название сырья	Массовая доля компонентов, %										
	H <sub>2</sub> O	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MgO	CaO	ППП	Σ
Суглинок бугурусланский	2,89	56,25	0,67	9,48	4,25	1,4	1,61	2,78	8,5	10,01	94,95
ЗШО	2,97	29,28	0,48	8,66	3,65	0,31	0,94	1,24	3,75	44,45	92,76

Таблица 2  
Table 2Матрица эксперимента  
Experiment Matrix

№ опыта	Уровни факторов варьирования			Физические значения результатов исследований		
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	R <sub>сж</sub> , МПа	ρ <sub>м</sub> , г/см <sup>3</sup>	W, %
1	-1	-1	-1	11,2	24	1,67
2	1	0	0	8,3	14	1,53
3	0	1	0	14,1	12,5	1,75
4	0	0	1	24	17	2,04
5	-1	1	1	16,5	28	1,72
6	1	-1	1	12,2	18,8	1,8
7	1	1	-1	14,2	11	1,76
8	-1	-1	1	4,4	22	1,44
9	-1	1	-1	38,6	18	1,98
10	1	-1	-1	18,1	17	1,52

**Примечание.** X<sub>1</sub> – золошлаковые отходы, %; X<sub>2</sub> – силикат-глыба, %; X<sub>3</sub> – давление прессования, МПа.

Таблица 3  
Table 3Коэффициенты регрессии  
Regression coefficients

Коэффициент	Значения коэффициентов регрессии		
	R <sub>сж</sub> , МПа	ρ <sub>м</sub> , г/см <sup>3</sup>	W, %
B0	20,75	1,7313	11,763
B1	-3,625	*	-2,675
B2	2	0,13	*
B3	-6,625	*	2,825
B12	-7,375	*	*
B13	*	0,1275	0,825
B23	-3,375	*	3
B11	-8,875	-0,21125	5,1625
B22	-8,5	-0,08625	0,9875
B33	10,125	0,32875	2,6625

**Примечание.** \* обозначены статически незначимые коэффициенты.

или количественно изменять интервалы варьирования, а следовательно, такие методы необходимо применять в случае прецизионных единичных исследований. Поэтому применение математических методов планирования эксперимента позволяет достичь максимальной точности измерений при минимальном количестве проведенных опытов и сохранении статистической достоверности результатов и построить теоретические модели зависимостей функций откликов от параметров варьированных факторов, максимально приближенные к реальным.

Проблема дефицита качественного глинистого сырья Западного Оренбуржья привела к тому, что снизилась конкурентоспособность выпускаемой продукции существующих кирпичных заводов в связи с низкими физико-механическими свойствами кирпича. В настоящее время предприятия работают на низкокачественных и списанных месторождениях глин, что вынуждает их переходить на многокомпонентные смеси с применением местного глинистого сырья и промышленных многотоннажных отходов.

Проведенные ранее исследования с использованием низкосортного алюмосиликатного глинистого сырья Западного Оренбуржья в композиции с золошлаковыми отходами региона (химический состав исходного сырья приведен в табл. 1) позволяют сделать вывод о целесообразности использования данных видов сырья в производстве керамического кирпича [3, 4]. Однако для повышения качества готового

продукта требуется разработка оптимальных технологических параметров.

В ходе эксперимента для определения минимального числа условий проведения опытов, построения в дальнейшем адекватной математической модели и определения уравнений поверхности отклика определялась аналитическая связь между факторами: X<sub>1</sub> – золошлаковые отходы, %; X<sub>2</sub> – силикат-глыба, %; X<sub>3</sub> – давление прессования, МПа, и откликами процессов: прочности при сжатии, МПа; средней плотности, г/см<sup>3</sup>; водопоглощением, % [5–10]. Далее для определения оптимальных условий протекания исследуемых процессов производились канонические преобразования нелинейных моделей, из которых получали уравнения следующего вида (1):

$$y = b_0 + b_1 \cdot x + b_2 \cdot y + b_{11} \cdot x^2 + b_{12} \cdot x \cdot y + b_{22} \cdot y^2, \quad (1)$$

где  $b$  – коэффициенты регрессии;  $x, y$  – квадратичные переменные.

Решение задачи оптимизации керамической шихты на основе суглинка Бугурусланского месторождения кирпичных глин и техногенных продуктов – золошлаковых отходов ТЭЦ-1 г. Орска осуществлялось с помощью автоматизированных расчетных программ Градиент и STATISTICA. Образцы изготавливались методом полусухого прессования при рабочем давлении прессования 15 МПа [11]. Уровни варьирования факторов и результаты физического экспери-

мента в зависимости от состава сырьевой шихты и режима термической подготовки, согласно матрице эксперимента представлены в табл. 2.

В ходе решения поставленной задачи были получены коэффициенты регрессии (табл. 3), проверена их значимость и составлены уравнения регрессии исследуемых факторов:

– предел прочности при сжатии  $R_{сж}$ , МПа:

$$R_{сж} = 20,75 - 3,625 \cdot x_1 + 2 \cdot x_2 - 6,625 \cdot x_3 - 7,375 \cdot x_1 \cdot x_2 - 3,375 \cdot x_2 \cdot x_3 - 8,875 \cdot x_1^2 - 8,5 \cdot x_2^2 + 10,125 \cdot x_3^2; \quad (2)$$

– средняя плотность  $\rho_m$ , г/см<sup>3</sup>:

$$\rho_m = 1,7313 + 0,13 \cdot x_2 + 0,1275 \cdot x_1 \cdot x_3 - 0,21125 \cdot x_1^2 - 0,08625 \cdot x_2^2 + 0,32875 \cdot x_3^2; \quad (3)$$

– водопоглощение  $W$ , %:

$$W = 11,763 - 2,675 \cdot x_1 + 2,825 \cdot x_3 + 0,825 \cdot x_1 \cdot x_3 + 3 \cdot x_2 \cdot x_3 + 5,1625 \cdot x_1^2 + 0,9875 \cdot x_2^2 + 2,6625 \cdot x_3^2. \quad (4)$$

Уровни факторов и интервалы варьирования для реализации трехфакторного эксперимента приведены в табл. 4.

Полученные результаты обработки математических уравнений регрессии предела прочности при сжатии, средней плотности, водопоглощения и давления прессования представлены на рис. 1–3. Для каждой изоповерхности исследуемого фактора присваивалось фиксируемое значение  $X_i = \text{const}$  и рассчитывалось множество колебаний  $x_i$ , соответствующее отклику  $Y$ . При этом изменяемые факторы становятся взаимозависимыми и взаимозаменяемыми при изучении остальных функций. При анализе полученных графических изоповерхностей, появляется возможность изучения физико-механических изме-

Таблица 4  
Table 4

Уровни факторов и интервалы варьирования для реализации трехфакторного эксперимента  
Factor Levels and Intervals

Уровень варьирования	Факторы варьирования		
	$X_1$ , ЗШО, %	$X_2$ , силикат-глыба, %	$X_3$ , давление прессования, МПа
-1	10	5	15
0	20	10	30
+1	30	15	45

нений в исследуемом диапазоне факторного пространства.

Полученные изоповерхности имеют нелинейный характер (рис. 1–3), что указывает на совокупность влияния варьируемых факторов:  $X_1$  – золошлаковые отходы, %;  $X_2$  – силикат-глыба, %;  $X_3$  – давление прессования, МПа, на предел прочности при сжатии, водопоглощение и среднюю плотность стеновой керамики независимо от соотношения вводимых в шихту компонентов – золошлакового отхода, силикат-глыбы.

На рис. 1–3, а видно, что при введении более 10% силикат-глыбы при минимальном соотношении ЗШО резко возрастает прочность – с 21 до 25 МПа, что характеризуется образованием большого количества жидкой фазы, в определенной степени за счет силикат-глыбы, заполняющей большой объем пор. В то же время такие составы не позволяют добиться оптимального водопоглощения, находящегося в пределах 12–14%, и средней плотности 1,65–1,98 г/см<sup>3</sup>, так как в образцах возникают внутренние напряжения при обжиге и остывании, которые приводят к образованию трещин.

Таким образом, подобрана шихта следующего состава (мас. %): ЗШО от 26 до 29, силикат-глыба 9–12, что позволяет добиться физико-механических харак-

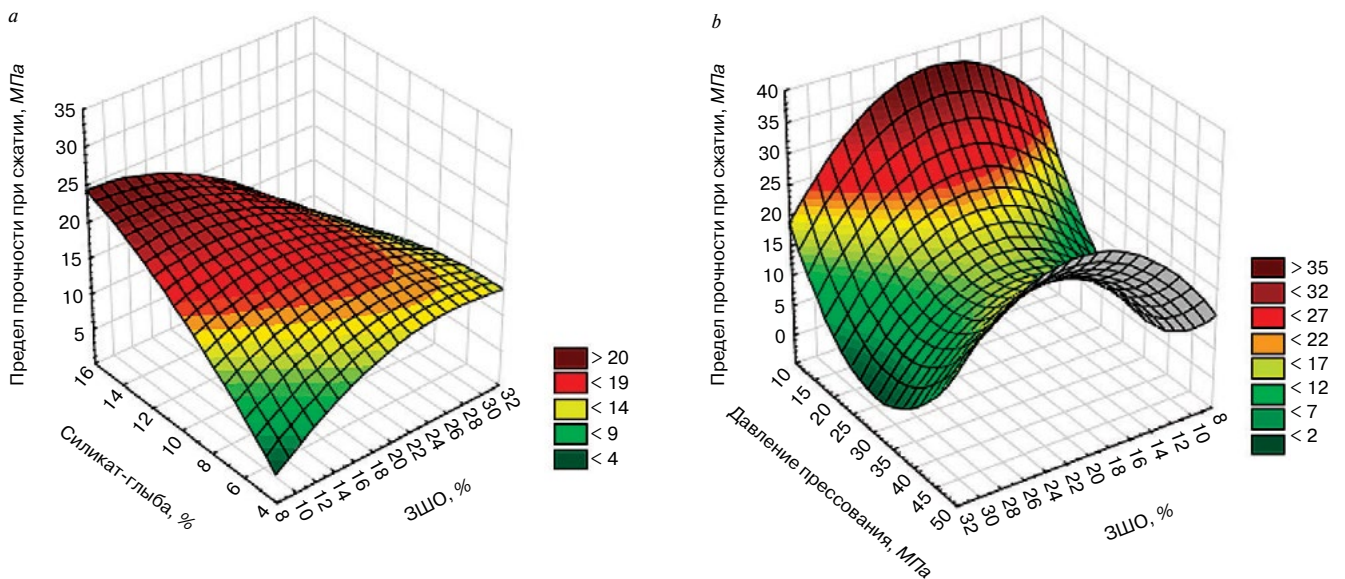
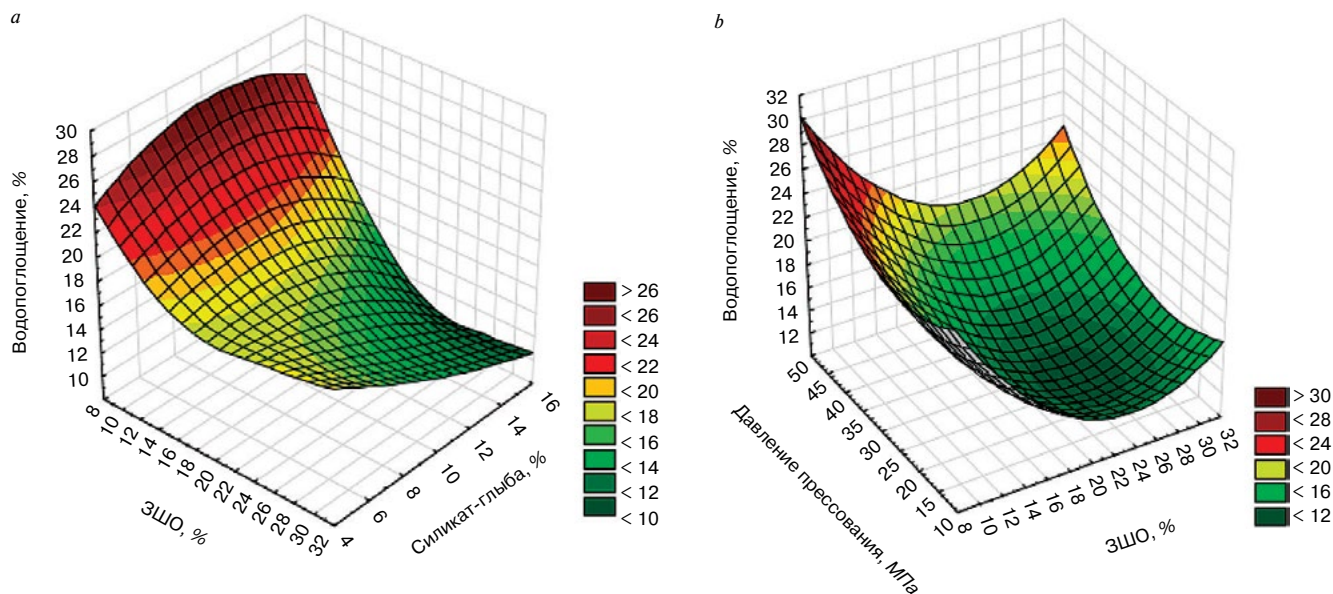
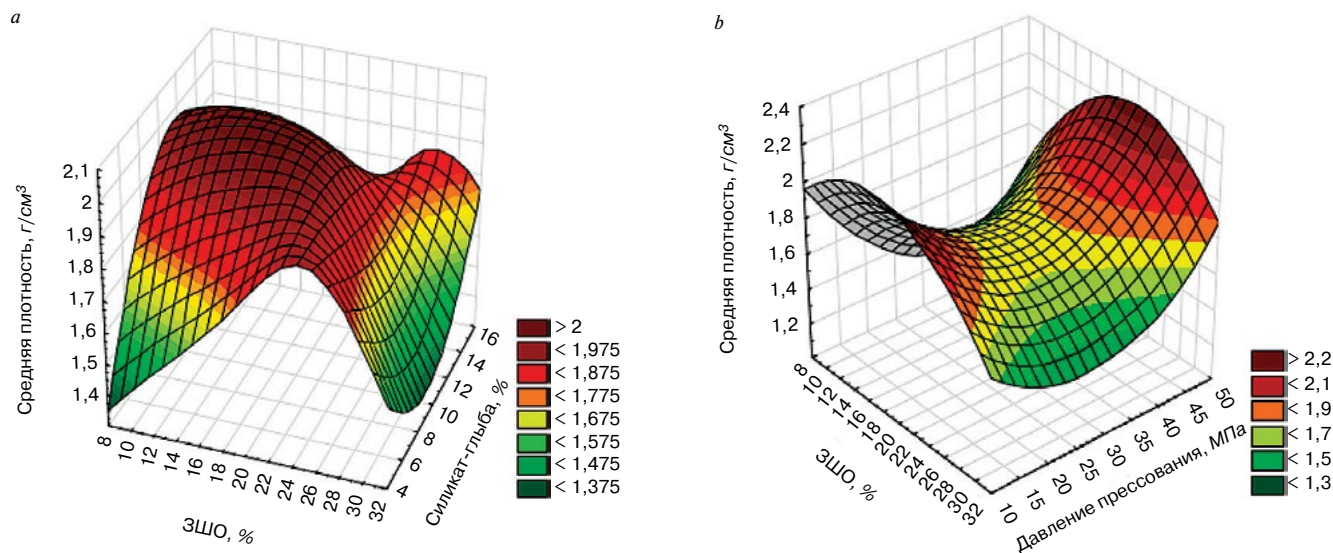


Рис. 1. Зависимость предела прочности при сжатии от содержания, мас. %: а – ЗШО + силиката-глыба; б – ЗШО + давление прессования, МПа  
Fig. 1. The dependence of the compressive strength on the content, % by weight: а – ash and slag waste + silicate blocks; б – ash and slag waste + pressing pressure, MPa



**Рис. 2.** Зависимость водопоглощения от содержания, мас. %: *a* – ЗШО + силикат-глыба; *b* – ЗШО + давление прессования, МПа  
**Fig. 2.** The dependence of water absorption on the content, % by weight: *a* – ash and slag waste + silicate blocks; *b* – ash and slag waste + pressing pressure, MPa



**Рис. 3.** Зависимость средней плотности от содержания, мас. %: *a* – ЗШО + силикат-глыба; *b* – ЗШО + давление прессования, МПа  
**Fig. 3.** The dependence of the average density on the content, % by weight: *a* – ash and slag waste + silicate blocks; *b* – ash and slag waste + pressing pressure, MPa

теристик керамического камня:  $R_{сж}=15,8$  МПа;  $W=13,7\%$ ;  $p_m=1,76$  г/см<sup>3</sup>. Совокупность влияния параметров давление прессования и количество вводимого ЗШО (рис. 1–3, б) определяет повышение прочности до 30 МПа в диапазонах от 10–15 и 45–50 МПа. Так как на линиях по производству кирпича методом полусухого прессования принимается стандартное давление прессования от 10 до 25 МПа, был проведен анализ исследуемых диапазонов, который показал, что при вводе 28% ЗШО и 10% силикат-глыбы искомым интервал давления прессования составляет 20 МПа с пределом прочности при сжатии полученного кирпича свыше 19 МПа.

Таким образом, математические модели позволяют не только подтверждать или опровергать полученные данные, но и прогнозировать изучаемые харак-

теристики в зависимости от различных факторов влияния, а также при изменении составов шихты. Данные результаты обработки изоповерхностей подтвердили правильность выбранных компонентов шихты для изготовления керамического кирпича марки М125–150, удовлетворяющего ГОСТ 530–2012. В результате математического планирования эксперимента, проведения серии экспериментальных исследований и математической обработки полученных данных установлены оптимальные параметры производства керамического кирпича из низкосортного глинистого сырья и крупнотоннажных промышленных отходов. Состав керамической массы, %: суглинок – 62; ЗШО – 28; натриевая силикат-глыба – 10; давление прессования – 20 МПа; температура обжига – 1050°C.



Список литературы

1. Статюха Г.А., Телицына Н.Е., Суруп И.В. Оптимизация гранулометрического состава наполнителей для сухих строительных смесей // *Химические технологии и экология. Вестник ЧДТУ*. 2008. № 4. С. 57–61.
2. Алибеков А.К., Михалев М.А. Практика применения планирования эксперимента: для инженеров и научных работников: Монография. Махачкала: ДГТУ, 2013. 126 с.
3. Гурьева В.А., Дорошин А.В. Целесообразность использования местного вторичного сырья в производстве строительных материалов // *Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры: Материалы Всероссийской научно-методической конференции*. Оренбург, 2017. С. 167–171.
4. Guryeva V.A., Doroshin A.V. Determination of optimal drying process for ceramic bricks of semidry pressing // *Proceedings of the International Symposium «Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research» dedicated to the 85<sup>th</sup> anniversary of H.I. Ibragimov. (ISEES 2019)*. 2019, pp. 162–165. DOI: <https://doi.org/10.2991/isees-19.2019.33>
5. Лаптенок В.Д., Серегин, Ю.Н. Методы планирования эксперимента и обработки результатов. Красноярск: СибГАУ им. М.Ф. Решетнева, 2006. 184 с.
6. Дворников Л.Т., Жуков И.А., Каратеев А.В. Планирование эксперимента в технических науках // *Проблемы и перспективы студенческой науки*. 2017. № 1 (1). С. 4–5.
7. Медведев П.В., Федотов В.А. Математическое планирование эксперимента. Оренбург: ОГУ, 2017. 97 с.
8. Ковель А.А., Тиняков С.Е. Моделирование деградиционных процессов керамических изделий в эксплуатационных условиях // *Исследования наукограда*. 2015. № 2 (12). С. 32–36.
9. Долотова Р.Г., Верещагин В.И., Смирнская В.Н. Определение составов ячеистых бетонов различной плотности при использовании полевошпатово-кварцевых песков методом математического планирования // *Строительные материалы*. 2012. № 12. С. 16–19.
10. Русина В.В., Чернов Е.И. Особенности подбора состава органоминеральных бетонов на основе техногенного сырья // *Строительные материалы*. 2018. № 10. С. 36–39. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-764-10-36-39>
11. Guryeva V.A., Doroshin A.V., Dubineckij V.V. Ceramic bricks of semi-dry pressing with the use of fusible loams and non-traditional mineral raw materials // *Solid State Phenomena*. Vol. 299, pp. 252–257. DOI: [10.4028/www.scientific.net/SSP.299.252](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.299.252).

References

1. Statyuha G.A., Telicyna N.E., Surup I.V. Optimization of granulometric composition of fillers for dry building mixes. *Khimicheskiye tekhnologii i ekologiya. Vestnik CHDTU*. 2008. No. 4, pp. 57–61. (In Russian).
2. Alibekov A.K., Mikhalev M.A. Praktika primenenija planirovanija jeksperimenta: dlja inzhenerov i nauchnyh rabotnikov [The practice of experiment planning: for engineers and scientists. Monograph]. Makhachkala: DGTU. 2013. 126 p.
3. Gurieva V.A., Doroshin A.V. The feasibility of using local secondary raw materials in the production of building materials. *University complex as a regional center of education, science and culture: materials of the All-Russian scientific-methodical conference*. Orenburg. 2017, pp. 167–171. (In Russian).
4. Gurieva V.A., Doroshin A.V. Determination of optimal drying process for ceramic bricks of semidry pressing. *Proceedings of the International Symposium “Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research” dedicated to the 85<sup>th</sup> anniversary of H.I. Ibragimov. (ISEES 2019)*. 2019, pp. 162–165. DOI: <https://doi.org/10.2991/isees-19.2019.33>
5. Laptenok V.D., Seregin Yu.N. Metody planirovanija jeksperimenta i obrabotki rezul'tatov [Methods of experiment planning and processing of results] Krasnoyarsk: SibGAU name after M.F. Reshetnev. 2006. p. 184.
6. Dvornikov L.T., Zhukov I.A., Karateev A.V. Planning an experiment in the technical sciences. *Problemy i perspektivy studencheskiy nauki*. 2017. No. 1 (1), pp. 4–5. (In Russian).
7. Medvedev P.V., Fedotov V.A. Matematicheskoe planirovanie jeksperimenta [Mathematical design of the experiment]. Orenburg: OSU. 2017. 97 p.
8. Kovel A.A., Tinyakov S.E. Modeling of degradation processes of ceramic products under operational conditions. *Issledovaniya naukograda*. 2015. No. 2 (12), pp. 32–36. (In Russian).
9. Dolotova R.G., Vereshchagin V.I., Smirenskaya V.N. Determination of the composition of cellular concrete of various densities using feldspar-quartz sand by the method of mathematical planning. *Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]*. 2012. No. 12, pp. 16–19. (In Russian).
10. Rusina V.V., Chernov E.I. Peculiarities of selection of the composition of organic-mineral concretes on the basis of anthropogenic raw material. *Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]*. 2018. No. 10, pp. 36–39. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-764-10-36-39>
11. Guryeva V.A., Doroshin A.V., Dubineckij V.V. Ceramic bricks of semi-dry pressing with the use of fusible loams and non-traditional mineral raw materials. *Solid State Phenomena*. Vol. 299, pp. 252–257. DOI: [10.4028/www.scientific.net/SSP.299.252](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.299.252).



МИНСТРОЙ  
РОССИИ



**МИНИСТЕРСТВО СТРОИТЕЛЬСТВА И ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ СТРОИТЕЛЬНОЙ ФИЗИКИ**

**30 июня - 3 июля 2020 года состоится Международная научная конференция  
XI Академические чтения, посвященные памяти академика РААСН Осипова Г.Л.,  
«АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ СТРОИТЕЛЬНОЙ ФИЗИКИ. ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ. НАДЕЖНОСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ  
КОНСТРУКЦИЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ»**

На конференции планируется работа по следующим направлениям:

- Энергосбережение в строительстве
- Строительная теплофизика
- Строительная и архитектурная акустика
- Строительная светотехника
- Экология в строительстве
- Надежность и долговечность строительных конструкций зданий и сооружений
- Проблемы технического регулирования в строительстве
- Ремонт и эксплуатация объектов коммунального хозяйства
- Высотное строительство
- Научная школа для молодежи
- Информационное моделирование: эксплуатация зданий и сооружений с применением BIM-технологий

В рамках конференции будет проводиться конкурс, на котором молодые специалисты, аспиранты и студенты смогут представить свои проекты и разработки в номинациях:

- Лучший дипломный проект, включающий раздел "Строительная физика"
- Лучшая работа по направлению "Строительная и архитектурная акустика"
- Лучший доклад в рамках научной школы для молодежи "Строительная физика, энергосбережение и экологическая безопасность".

Победителям конкурса вручается Серебряная медаль, Памятный знак и Премия имени академика РААСН Осипова Г.Л.

За значительный вклад в развитие строительной физики ведущим ученым и специалистам вручается Золотая медаль имени академика РААСН Осипова Г.Л. и Памятный знак.

Для участия в конкурсе необходимо в срок **до 05 июня 2020** года отправить материалы (конкурсная работа, заявка) по адресу **org.com@niisf.ru** с пометкой «Участие в конкурсе».

В рамках конференции будут опубликованы статьи в ведущих российских научных журналах.

Отбор статей для журналов будет проводиться оргкомитетом и редакциями журналов. Статьи необходимо прислать **до 01 мая 2020** года! В журнал «Строительство и реконструкция» статьи нужно присылать только на английском языке! Срок сдачи статей до **20 марта 2020** года.

Для участия в конференции необходимо в срок **до 05 июня 2020** года отправить заявку по адресу **org.com@niisf.ru**

**ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ**

Тел.: +7 (499) 488-70-05 Факс: +7 (495) 482-40-60

E-mail: org.com@niisf.ru Сайт: www.niisf.ru

Адрес: 127238, Москва, Локомотивный проезд, д.21, Светотехнический корпус, НИИСФ РААСН

С.Ю.АНДРОНОВ<sup>1</sup>, канд.техн. наук (atomic08@yandex.ru),  
 А.Ф. ИВАНОВ<sup>1</sup>, канд. техн. наук (alexandr.ivanov.sgtu@rambler.ru);  
 А.В. КОЧЕТКОВ<sup>2</sup>, д-р техн. наук (soni.81@mail.ru)

<sup>1</sup> Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А. (410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77)

<sup>2</sup> Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29)

## Технология производства и применения дисперсно-армированных асфальтобетонных смесей с базальтовой фиброй

Представлены результаты исследований по распределению базальтовой фибры в составе холодных асфальтобетонных смесей на основе диспергированного битума. Установлена возможность применения базальтового волокна (фибры) для улучшения качества асфальтобетонных смесей, приготовленных по горячей и холодной технологиям. На основании изучения системы качественных характеристик асфальтобетонов (смесей) установлено, что за основу требований к физико-механическим показателям композиционных смесей, дисперсно-армированных добавкой базальтового фиброволокна, можно взять требования, предъявляемые к смесям марки I соответствующего типа по ГОСТ 9128–2013 «Смеси асфальтобетонные, полимерасфальтобетонные, асфальтобетон, полимерасфальтобетон для автомобильных дорог и аэродромов. Технические условия». Введение базальтовой фибры с целью получения дисперсно-армированных асфальтобетонных смесей с более высокими показателями качества возможно выполнять на серийно выпускаемом оборудовании асфальтобетонных заводов без каких-либо существенных доработок. Решена задача однородного и воспроизводимого распределения базальтового фиброволокна в асфальтобетонной смеси.

**Ключевые слова:** диспергированный битум, холодные асфальтобетонные смеси, фибра, асфальтобетон, композиты, битумная суспензия, базальтовое волокно.

**Для цитирования:** Андронов С.Ю., Иванов А.Ф., Кочетков А.В. Технология производства и применения дисперсно-армированных асфальтобетонных смесей с базальтовой фиброй // *Строительные материалы*. 2020. № 3. С. 70–75.

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-779-3-70-75>

S.Yu. ANDRONOV<sup>1</sup>, Candidate of Sciences (Engineering) (atomic08@yandex.ru),

A.F. IVANOV<sup>1</sup>, Candidate of Sciences (Engineering) (alexandr.ivanov.sgtu@rambler.ru);

A.V. KOCHETKOV<sup>2</sup>, Doctor of Sciences (Engineering) (soni.81@mail.ru)

<sup>1</sup> Yuri Gagarin State Technical University of Saratov (77, Polytechnicheskaya Street, Saratov, 410054, Russian Federation)

<sup>2</sup> Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky Avenue, Perm 614990, Russian Federation)

### Technology of Production and Application of Dispersed-Reinforced Asphalt Concrete Mixes with Basalt Fiber

The results of research in the distribution of basalt fiber in the composition of cold asphalt concrete mixtures based on dispersed bitumen are presented. The possibility of using basalt fiber (fiber) to improve the quality of asphalt concrete mixtures prepared using hot and cold technologies has been established. On the basis of the study of the quality characteristics system of the asphalt-concretes (mixes), it is established that as the basis for requirements for physical-mechanical properties of composite mixtures dispersed-reinforced by the addition of basalt fiber it is possible to take the requirements for mixtures of the brand I appropriate type according to GOST 9128–2013 "Mixtures of asphalt concrete, polymer-asphalt concrete, asphalt concrete, polymer-asphalt-concrete for roads and airfields. Technical conditions". The introduction of basalt fiber for the purpose of obtaining dispersed-reinforced asphalt concrete mixtures with higher quality indicators can be performed on mass-produced equipment of asphalt concrete plants without any significant modifications. The problem of homogeneous and reproducible distribution of basalt fiber in the asphalt concrete mix is solved.

**Keywords:** dispersed bitumen, cold asphalt-concrete mixes, fiber, asphalt concrete, composites, bituminous suspension, basalt fiber.

**For citation:** Andronov S.Yu., Ivanov A.F., Kochetkov A.V. Technology of production and application of dispersed-reinforced asphalt concrete mixes with basalt fiber. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2020. No. 3, pp. 70–75. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-779-3-70-75>

#### Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными и практическими задачами

В практике дорожного аэродромного и мостового строительства активно используется такой композиционный материал, как асфальтобетон. Асфальтобетоны подвержены трещинообразованию, шелушению, выкрашиванию, образованию колеи, волн и впадин. Одним из способов повышения стойкости асфальтобетона к внешним нагрузкам является применение в его составе армирующих элементов, в качестве которых применяются волокна и нити [1–6].

Однако введение их в асфальтобетонную смесь при удовлетворении и постоянстве качественных показателей в настоящее время является серьезной технической проблемой.

Введение в смесь небольших по размеру (дискретных) элементов позволяет добиться их равномерного распределения (дисперсии) в смеси и получить композитный материал с более высокими физико-механическими показателями в готовом конструктивном элементе [7, 8]. Перспективной в качестве армирующих волокон в асфальтобетонную смесь исходя из



своих физико-механических показателей является фибра. Фибра из углеродных нитей – продукт с высокой добавленной стоимостью, поэтому ее применение дорого. Фибра из базальтового волокна значительно дешевле и может быть рассмотрена для применения в качестве армирующего элемента в асфальтобетонной смеси [9, 10]. На территории РФ есть несколько предприятий, выпускающих такое волокно. Базальтовая фибра производится с различной плотностью и длиной нарезки.

#### **Краткий анализ последних достижений и публикаций**

В результате исследований, выполненных в Саратовском государственном техническом университете им. Гагарина Ю.А., была установлена возможность применения базальтового волокна (фибры) для улучшения качества асфальтобетонных смесей, приготовленных по горячей и по холодным технологиям [11].

Асфальтобетоны с фиброй из углеродных волокон показали более высокие физико-механические показатели по сравнению с традиционными асфальтобетонными смесями. Улучшились физико-механические показатели: прочность при различной температуре (особенно при 50°C), сдвигоустойчивость по показателю сцепления при сдвиге, водостойкость при длительном водонасыщении, устойчивость к колеобразованию и др.

При выполнении исследований также было установлено, что температурный режим приготовления асфальтобетонной смеси не влияет на базальтовую фибру, что позволяет использовать добавку базальтового фиброволокна без изменения температурного режима приготовления асфальтобетонной смеси. Базальтовую фибру можно вносить при приготовлении асфальтобетонной смеси вместе с минеральным порошком (в виде смеси), что улучшает физико-механические показатели.

При выполнении исследования технологии производства асфальтобетонных смесей с добавкой базальтового фиброволокна было установлено, что наиболее качественную смесь с лучшими показателями можно получить при вдувании базальтового

фиброволокна в приготавливаемую смесь в момент перемешивания. Смесь, приготовленная таким образом, имеет стабильные показатели с улучшенными прочностными характеристиками, сдвигоустойчивостью по коэффициенту внутреннего трения, сопоставимой с каркасными смесями (типа А и ЩМА) и водостойкости.

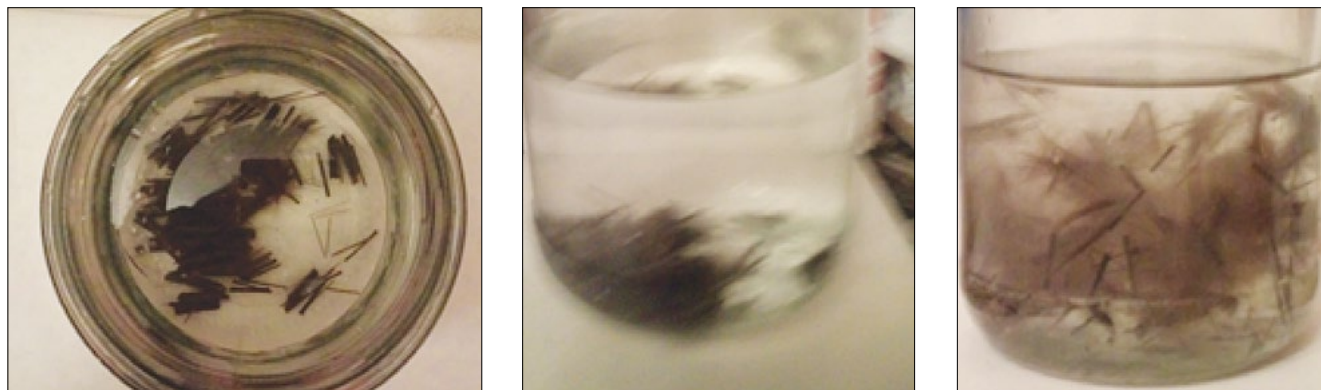
В ходе исследований было установлено, что, используя базальтовую фибру с длиной нарезки 18 мм вне зависимости от ее плотности, возможно получить композиционную дисперсно-армированную асфальтобетонную смесь с более стабильными и высокими прочностными показателями при различной температуре, включая повышенные показатели сдвигоустойчивости по коэффициенту внутреннего трения, скорости образования колеи при температуре 50°C. По значениям трещиностойкости, по коэффициенту внутреннего трения показатели дисперсно-армированной асфальтобетонной смеси приближаются к каркасным смесям (типа А и ЩМА). Улучшению стабильности смеси способствует уменьшение прочности при 0°C.

Было установлено, что дисперсно-армированные добавкой базальтового фиброволокна асфальтобетонные смеси лучше уплотняются и вследствие этого имеют более высокие показатели средней плотности, а при равномерном распределении базальтовой фибры в смеси установлено более низкое водонасыщение.

На основании исследования системы качественных характеристик асфальтобетонов (смесей) было установлено, что за основу требований к физико-механическим показателям композиционных смесей, дисперсно-армированных добавкой базальтового фиброволокна, можно взять требования, предъявляемые к смесям марки I соответствующего типа по ГОСТ 9128–2013.

#### **Постановка задачи, материалы и ход исследования**

В настоящей работе решалась практическая задача однородного и воспроизводимого распределения базальтового фиброволокна в холодной асфальтобетонной смеси с диспергированным битумом.



**Рис. 1.** Взаимодействие базальтового фиброволокна с водой  
**Fig. 1.** The interaction of basalt fiber with water

Фибра напоминает обрезки волокон длиной до 2 см (рис. 1). Клочок фибры без внешних воздействий осаждается. После механического перемешивания получается равномерная взвесь, которая за 4 ч не расслаивается.

На АБЗ в расходной емкости для воды приготавливается взвесь базальтовой фибры или фибры из волокон полиакрилонитрила необходимой концентрации (в мешалке вместе с проектной нормой воды должно быть проектное содержание фибры).

Наиболее целесообразным способом перемешивания воды с фиброй в расходной емкости является барботирование сжатым воздухом с помощью компрессора, являющегося штатным оборудованием любого АБЗ.

С применением «раствора» фибры могут приготавливаться любые дисперсно-армированные асфальтовые материалы на основе диспергированного битума.

Однородная смесь, полученная путем перемешивания взвеси фибры, похожей на студень (3 см<sup>3</sup> фибры в 0,2 л воды), с 0,6 л битумной суспензии (находящейся в пластичном состоянии, которая подавалась и перемешивалась в несколько приемов). Через 2 ч признаков расслаивания не наблюдалось (рис. 2).

Через 3 сут изменений в системе битумная суспензия, армированная фиброй, не произошло. При хранении в течение 3 сут из «раствора» суспензии с фиброй отделилось примерно 2/3 объема воды, введенной со взвесью (раствором) фибры в битумную суспензию, находящейся в пластичном состоянии.

Наблюдения позволяют сделать выводы:

1. Битумная суспензия в условиях, исключающих испарение воды (в герметичной таре), в результате самопроизвольных процессов стремится к стабильному агрегатному состоянию. Наиболее стабильным агрегатным состоянием битумной суспензии является пластичное.

2. Подтверждаются наблюдения о достаточно активном воздухоовлечении в битумную суспензию

в процессе перемешивания и последующем медленном самопроизвольном удалении воздуха из объема суспензии (на шкале-линейке поверхность суспензии, разбавленной водой, непосредственно после приготовления совпадает с отметкой 94 мм, а после хранения поверхность воды находится на отметке 92 мм).

В процессе приготовления битумной суспензии необходимо обеспечить получение ее в консистенции, похожей на пластилин. В пластичном состоянии смесь не будет расслаиваться не только при хранении, но и при транспортировании.

Через 3 сут на поверхность отделившегося слоя воды из битумной суспензии, армированной фиброй, было помещено 4 см<sup>3</sup> фибры и производилось ее распределение перемешиванием сначала преимущественно в воде, а затем постепенно во всем объеме армированной битумной суспензии.

Полученная однородная масса напоминает спагетти черного цвета, свисающие с вилки.

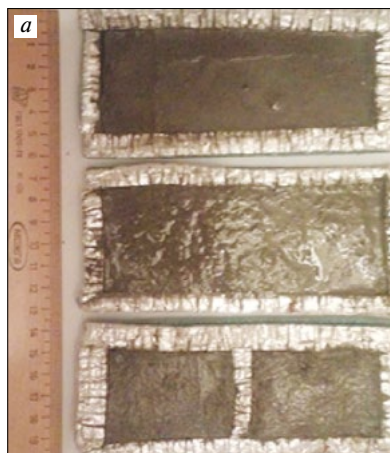
Вопрос рационального содержания армирующих элементов в асфальтовых материалах на основе диспергированного битума практически неисследованным ни эмпирически, ни теоретически. Рекомендации по содержанию фибры, приведенные в различных публикациях, требуют корректировок для материалов с дисперсным битумом на основе экспериментальных и теоретических исследований.

Для выявления влияния фибры на свойства тонких слоев из различных материалов на основе диспергированных битумов были приготовлены следующие образцы материалов-полуфабрикатов:

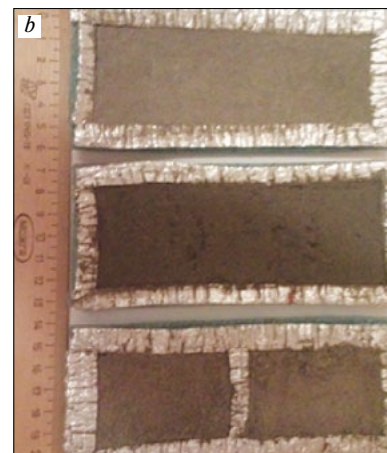
1. Битумная суспензия в пластичном состоянии.
2. Битумная суспензия, армированная фиброй.
3. Смесь, полученная перемешиванием трех объемных частей сухого дробленого песка фракции 0–3 мм с одной объемной частью битумной суспензии в пластичном состоянии (готовая смесь напоминает черную икру).
4. Смесь, полученная перемешиванием трех объемных частей сухого дробленого песка фракции

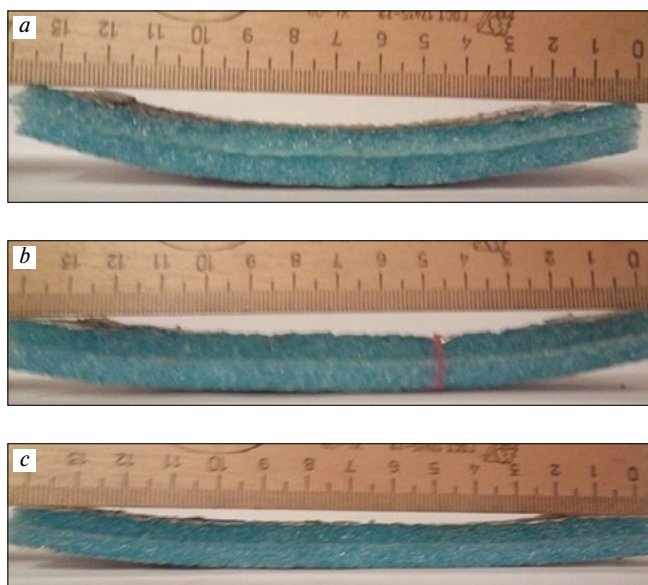


**Рис. 2.** Смешение битумной суспензии и взвеси распределенной в воде фибры  
**Fig. 2.** Mix of bitumen suspension and fiber distributed in water



**Рис. 3.** Образцы материала непосредственно после нанесения слоя полуфабриката (а) и через 12 ч после (b) (при температуре 25°C)  
**Fig. 3.** Samples of the material immediately after applying the layer of the semi-finished product (a) and 12 hours after applying the layer (b) (at a temperature of 25°C)





**Рис. 4.** Образцы через 12 ч после нанесения слоя и полуфабриката: *a* – слой из битумной суспензии в пластичном состоянии; *b* – слой из битумной суспензии, армированной фиброй; *c* – слой из смеси сухого дробленого песка фр. 0–3 мм, перемешанного с битумной суспензией  
**Fig. 4.** Samples after 12 hours applying the layer and the semi-finished product: *a* – layer of bitumen suspension in a plastic state; *b* – layer of bitumen suspension reinforced with fiber; *c* – layer of a mixture of dry crushed sand mixed with bitumen suspension

0–3 мм с одной объемной частью битумной суспензии, армированная фиброй.

Для обеспечения воспроизводимости результатов опытов были изготовлены формы в виде опалубки из пенопласта, покрытые с одной стороны фольгой (видна на фотографиях в виде блестящей каймы по периметру темного образца), а с другой (на который непосредственно наносился материал-полуфабрикат) – основание, покрытое двусторонним скотчем), позволяющие приготовить образцы конструкционного материала из различных смесей-полуфабрикатов на основе дисперсного битума размером 120×4×4 мм. Размеры и их соотношения приняты в соответствии с рядом «предпочтительных чисел», рекомендуемых научной дисциплиной «Метрология». Примененная конструкция формы достаточно близко имитирует условия нанесения тонких слоев асфальтовых материалов-полуфабрикатов с дисперсным битумом на асфальтобетонные покрытия в отношении возможности удаления воды из слоя преимущественно с его поверхности. Образцы материалов-полуфабрикатов с фиброй наносились слоем толщиной 5 мм на пластину из пенопласта толщиной 5 мм (рис. 3).

Произведено формирование тонких слоев асфальтовых материалов из смесей-полуфабрикатов с дисперсным битумом.

Образцы помещены в комнатных условиях на поддон для формирования (превращения в конструкционный материал в результате процессов испарения воды и превращения дисперсного битума в пленку на поверхности минеральных зерен) (рис. 4).

Наглядно видно, что слой из битумной суспензии, армированной фиброй (рис. 3, средние образцы), имеет большую влажность (влажность действительно выше за счет введения в битумную суспензию водного раствора фибры) как на стадии приготовления образца (средний образец, рис. 3, *a*) – наблюдается характерный блеск поверхности в результате выхода на поверхность воды и битумного молочка, – так и после сушки (формирования структуры материала) (средний образец, рис. 3, *b*) – видно, что поверхность образца более темная за счет большей влажности асфальтового материала.

Вертикальный разрез конструкции (внизу основание из пенопласта толщиной около 5 мм, сверху слой материала в опалубке из того же пенопласта), после хранения образца в комнатных условиях в течение 12 ч представлен на рис. 4.

На рис. 4 наглядно видно, что все образцы, изначально имевшие плоскую форму, превратились в оболочку цилиндра с различным радиусом.

Произшедшие процессы и их видимые проявления можно объяснить следующим:

1. Изгибание (искривление) плоской оболочки обусловлено действием усадочных напряжений, которые сначала возникают в поверхностном слое образца (в результате испарения воды).

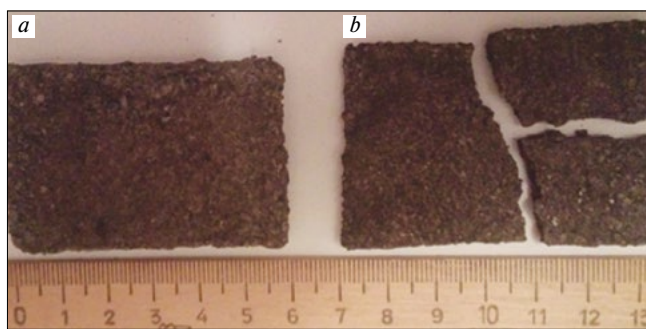
2. Как и следовало предполагать, на величину изменений в слое с применением дисперсного битума под действием усадочных явлений существенное влияние оказывает множество факторов (априорно известных специалистам по строительным материалам, но количественно весьма туманно прогнозируемых), главными из которых являются: влажность смеси, содержание мелких фракций, их свойства и др.

3. Искривление (зазор между поверхностью линейки и поверхностью из материала из битумной суспензии в пластичном состоянии больше, чем в пластине (слое) с большим содержанием воды (из битумной суспензии с армирующими волокнами). Волокна фибры уже начали проявлять свои свойства – противодействие растягивающим напряжениям.

4. Минимальное искривление слоя из смеси битумной суспензии с сухим дробленым песком фр. 0–3 мм наиболее ожидаемо. Эта смесь-полуфабрикат имеет определяющие превосходства: наименьшая исходная влажность; наименьшее содержание мелкой фракции (обладающей наибольшей вододерживающей способностью, с одной стороны) и максимальная водоотводящая способность сухого пористого материала поглощать влагу из смеси – с другой.

Образцы материалов на основе битумной суспензии за шесть дней хранения в комнатных условиях превращаются в материал с практически сформированной структурой.

При снятии опалубки установлено, что материалы на основе битумной суспензии имеют большое сцепление с пенопластом, покрытым двусторонним



**Рис. 5.** Состояние образцов после извлечения из опалубки: *a* – образец, сформированный из смеси сухого дробленого песка фр. 0–3 мм, перемешанного с битумной суспензией, армированной фиброй; *b* – образец, сформированный из смеси сухого дробленого песка фр. 0–3 мм, перемешанного с битумной суспензией

**Fig. 5.** The state of the samples after removal from the formwork: *a* – the sample formed from a mixture of dry crushed sand mixed with fiber reinforced bitumen suspension; *b* – the sample formed from a mixture of dry crushed sand mixed with bitumen suspension

скотчем. В процессе отрыва образца, сформированного из смеси сухого дробленого песка фр. 0–3 мм, перемешанного с битумной суспензией, он в результате приложения изгибающей нагрузки разрушился (рис. 5, *b*). Образец, сформированный из смеси сухого дробленого песка фр. 0–3 мм, перемешанного с битумной суспензией, армированной фиброй, был извлечен из опалубки без видимых разрушений (рис. 5, *a*).

По аналогичной технологии [12–14] в Саратовской области в 80-хх. гг. прошлого века под руководством профессоров Н.А. Горнаева и О.Н. Распорова ежегодно строились десятки километров дорог. Десятки километров дорожных покрытий из холодных асфальтобетонных смесей были сделаны в это время и на территории Советского Союза (Молдавия, Крым, Краснодар, Мангышлак, Караганда, Оренбург, Уфа, Абакан и др.). Срок службы таких асфальтобетонных покрытий на один год больше, чем асфальтобетон по горячей технологии. Это позволяет, например, решить задачу однородного и воспроизводимого распределения фиброволокна в асфальтобетонной смеси. При уплотнении рабочей смеси вода из композиции выводится на поверх-

ность и в дальнейшем испаряется, а частицы вязкого битума в оболочке из минерального материала разрушаются и дают в пределе обычное пленочное покрытие минеральных частиц в виде мастики, различных видов асфальтобетона и других асфальтовых материалов.

### Выводы

Решена задача однородного и воспроизводимого распределения базальтового фиброволокна в органо-минеральных смесях (мастиках) с диспергированным битумом.

В настоящее время в рамках исследования асфальтобетонных смесей, дисперсно-армированных добавкой базальтового фиброволокна, а также по результатам оценки состояния опытных участков в Саратовской области разработаны ОДМ 218.3.054–2015 «Устройство поверхностной обработки и тонких слоев износа с применением различных видов фиброволокон» и стандарт организации ПУИЦ «Волгодортранс» СГТУ им. Гагарина Ю.А. «Рекомендации по технологии производства и применения дисперсно-армированных асфальтобетонных смесей с базальтовой фиброй» для общего использования в дорожной отрасли. Выпуск и применение асфальтобетонных смесей по данной технологии позволит увеличить физико-механические свойства асфальтобетонов, снизить колебобразование и скорость образования дефектов асфальтобетонных покрытий, а также значительно увеличить межремонтный период дорожных покрытий.

На основе битумной суспензии можно создавать мастики для заделки трещин, холодные смеси для ямочного ремонта, пропиточные составы, разнообразные асфальтобетонные смеси, например литые холодные асфальтобетонные смеси или ЦМА без стабилизатора (например, целлюлозы). Авторами получен патент на эту технологию [15].

Технология рекомендуется для расширенного применения для ремонтов дорог и улиц населенных пунктов, автомобильных дорог с низкой интенсивностью движения.

### Список литературы

1. Дедюхин А.Ю. Дисперсно-армированный асфальтобетон // *Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура*. 2009. № 1 (13). С. 116–120.
2. Полякова С.В. Дисперсно-армированный асфальтобетон с применением синтетических волокон // *Дороги и мосты*. 2012. № 2 (28). С. 247–260.
3. Игошкин Д.Г., Штабинский В.В., Кошелев Д.В., Кравченко С.Е. Асфальтобетон, армированный геосинтетическими материалами // *Мир дорог*. 2017. № 97. С. 85–88.
4. Андронов С.Ю., Задирака А.А. Результаты исследования технологии производства дисперсно-ар-

### References

1. Dedyukhin A.Yu. Dispersion-reinforced asphalt concrete. *Scientific Vestnik of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and architecture*. 2009. No. 1 (13), pp. 116–120. (In Russian).
2. Polyakova S.V. Dispersion-reinforced asphalt concrete with the use of synthetic fibers. *Dorogi i mosty*. 2012. No. 2 (28), pp. 247–260. (In Russian).
3. Igoshkin D.G., Shtabinsky V.V., Koshelev D.V., Kravchenko S.E. Asphalt concrete reinforced with geosynthetic materials. *Mir dorog*. 2017. No. 97, pp. 85–88. (In Russian).
4. Andronov S.Yu., Zadiraka A.A. The results of a study of the technology for the production of dispersed-rein-

- мированных композиционных асфальтобетонных смесей // *Техническое регулирование в транспортном строительстве*. 2017. № 2 (22). С. 24–26.
5. Мозговой В.В., Куцман А.М., Боровик И.И., Захарова Т.В., Нагайчук В.М. Особенности проектирования нежесткой дорожной одежды с применением армированных асфальтобетонных слоев автомобильных дорог Украины // *Вестник Кыргызского государственного университета строительства, транспорта и архитектуры им. Н. Исанова*. 2016. № 1 (51). С. 107–113.
  6. Дедюхин А.Ю., Кручинин И.Н., Мелькумов В.Н. Применение техногенных отходов переработки хризотила в дорожном строительстве // *Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура*. 2009. № 4 (16). С. 141–147.
  7. Андронов С.Ю., Трофименко Ю.А. Исследование влияния способа введения полиакрилонитрильной фибры на физико-механические показатели композиционного дисперсно-армированного асфальтобетона // *Фундаментальные исследования*. 2016. № 11-2. С. 244–248.
  8. Андронов С.Ю., Задирака А.А. Влияние способа введения базальтовой фибры на физико-механические показатели композиционного дисперсно-армированного асфальтобетона // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*. 2017. № 2. С. 168–171.
  9. Gur'ev V.V., Neproshin E.I., Mostovol G.E. The effect of basalt fiber production technology on mechanical property of fiber // *Glass and Ceramics*. 2000. Vol. 58. No. 1–2. С. 62–65.
  10. Shi F. A study on structure and properties of basalt fiber // *Applied Mechanics and Materials*. 2012. Vol. 238, pp. 17–21.
  11. Андронов С.Ю. Технология дисперсно-армированного композиционного холодного щебеночно-мастичного асфальта // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*. 2017 №. 4. С. 67–71.
  12. Горнаев Н.А. Технология асфальта с дисперсным битумом. Саратов, 1997. 61 с.
  13. А. с. 883221 СССР. Способ приготовления битумо-минеральной смеси. Н.А. Горнаев, В.П. Калашников, А.Ф. Иванов. 1981.
  14. Патент RU2351703C1 Способ приготовления холодной органоминеральной смеси для дорожных покрытий / Горнаев Н.А., Никишин В.Е., Евтеева С.М., Андронов С.Ю., Пыжов А.С. 2009.
  15. Патент РФ № 2662493 Способ получения битумной эмульсии и битумная эмульсия / А.В. Кочетков. 2017.
  - forced composite asphalt mixes. *Tekhnicheskoye regulirovaniye v transportnom stroitel'stve*. 2017. No. 2 (22), pp. 24–26. (In Russian).
  5. Brain V.V., Kutsman A.M., Borovik I.I., Zakharova T.V., Nagaychuk V.M. Design features of non-rigid pavement using reinforced asphalt layers of Ukrainian roads. *Vestnik of the Kyrgyz State University of Construction, Transport and Architecture named after N. Isanova*. 2016. No. 1 (51), pp. 107–113. (In Russian).
  6. Dedyukhin A.Yu., Kruchinin I.N., Melkumov V.N. The use of technogenic wastes of chrysotile processing in road construction. *Scientific Vestnik of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and architecture*. 2009. No. 4 (16), pp. 141–147. (In Russian).
  7. Andronov S.Yu., Trofimenko Yu.A. Investigation of the effect of the method of introducing polyacrylonitrile fiber on the physical and mechanical properties of composite dispersed reinforced asphalt concrete. *Fundamental'nyye issledovaniya*. 2016. No. 11-2, pp. 244–248. (In Russian).
  8. Andronov S.Yu., Zadiraka A.A. The influence of the method of introducing basalt fiber on the physicomechanical parameters of composite dispersed reinforced asphalt. *Vestnik of the Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov*. 2017. No. 2, pp. 168–171. (In Russian).
  9. Gur'ev V.V., Neproshin E.I., Mostovol G.E. The effect of basalt fiber production technology on mechanical property of fiber. *Glass and Ceramics*. 2000. Vol. 58. No. 1–2, pp. 62–65.
  10. Shi F. A study on structure and properties of basalt fiber. *Applied Mechanics and Materials*. 2012. Vol. 238, pp. 17–21.
  11. Andronov S.Yu. The technology of dispersed-reinforced composite cold crushed stone and mastic asphalt. *Vesnyk of the Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov*. 2017. No. 4, pp. 67–71. (In Russian).
  12. Gornaev N.A. Tekhnologiya asfal'ta s dispersnym bitumom [Asphalt technology with dispersed bitumen]. Saratov, 1997. 61 p.
  13. Copyright certificate 883221 of the USSR Spособ prigotovleniya bitumomineral'noy smesi [A method of preparing a bitumen-mineral mixture]. Gornaev N.A., Kalashnikov V.P., Ivanov A.F. 1981. (In Russian).
  14. Patent RU2351703C1 [Method for the preparation of cold organic-mineral mixture for road surfaces] Gornaev N.A., Nikishin V.E., Evteeva S.M., Andronov S.Yu., Pyzhov A.S. 2009. (In Russian).
  15. RF patent No. 2662493 Spособ polucheniya bitumnoy emul'sii i bitumnaya emul'siya [A method for producing a bitumen emulsion and a bitumen emulsion] Kochetkov A.V. 2017. (In Russian).

T.A. АХВЕРДИЕВА, д-р техн. наук (tahirehaqverdi@gmail.com),  
P. ДЖАФАРОВ, магистр (R.Jafarov@bos-shelf.com)

Азербайджанский архитектурно-строительный университет (AZ 1073, Азербайджан, г. Баку, ул. А. Султановой, 5)

## Современные технологии в производстве гидротехнического бетона

Экспериментально установлено, что использование местных природных материалов и отходов производства, подвергшихся механической активации, позволяет существенно изменить физико-механические свойства цементных композитов. Для этого предполагается использовать местный природный товузский цеолит и мартеновский шлак металлургической промышленности. Химический состав используемых материалов показывает, что они представляют собой кислые и малоактивные добавки. Для использования их в цементной матрице необходимо довести удельную поверхность этих компонентов до величины 500–600 м<sup>2</sup>/кг. По результатам исследования полученных образцов сделаны следующие выводы: при увеличении удельной поверхности минерального порошка средняя плотность бетона увеличивается за счет формирования более плотного бетонного камня вследствие заполнения пустот между частицами наполнителя продуктами гидратации ультрадисперсных добавок. Средняя плотность образцов, приготовленных на основе активированного порошка, 2262–2560 кг/м<sup>3</sup>, что превышает на 10% плотность бетонных образцов, приготовленных без добавок. Прочность при сжатии готового бетона увеличивается по мере увеличения удельной поверхности минеральных добавок. Было установлено, что прочность при сжатии образцов с активированным товузским цеолитом на 9% выше, а с активированным мартеновским шлаком на 12% выше по сравнению с бездобавочным бетоном. Таким образом, замена 1% цемента тонкомолотым мартеновским шлаком с удельной поверхностью более 1136,6 м<sup>2</sup>/кг, позволяет добиться увеличения прочности бетона при сжатии до 92,55 МПа.

**Ключевые слова:** товузский цеолит, мартеновский шлак, минеральный порошок, сверхпрочный бетон, механическая активация, гидротехнический бетон.

**Для цитирования:** Ахвердиева Т.А., Джафаров Р. Современные технологии в производстве гидротехнического бетона // *Строительные материалы*. 2020. № 3. С. 76–79. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-779-3-76-79>

T.A. AHVERDIEVA, Doctor of Sciences (Engineering) (tahirehaqverdi@gmail.com), R. JAFAROV, Magister (R.Jafarov@bos-shelf.com)  
Azerbaijan University of Architecture and Construction (5, A. Sultanova Street, Baku, AZ 1073 Azerbaijan)

### Modern Technologies in the Production of Hydrotechnical Concrete

It has been experimentally established that the use of local natural materials and production wastes subjected to mechanical activation can significantly change the physical and mechanical properties of cement composites. For this purpose, it is planned to use local natural Tovuz zeolite and open-hearth slag of the metallurgical industry. The chemical composition of the materials used shows that they are acidic and low-activity additives. To use them in a cement matrix, it is necessary to bring the specific surface area of these components to a value of 500–600 m<sup>2</sup>/kg. Based on the results of the study of the obtained samples, the following conclusions are made: when the specific surface area of the mineral powder increases, the average density of concrete increases due to the formation of a denser concrete stone due to filling the voids between the filler particles with the products of hydration of ultrafine additives. The average density of samples prepared on the basis of activated powder is 2262–2560 kg/m<sup>3</sup>, which is 10% higher than the density of concrete samples prepared without additives. The compressive strength of the finished concrete increases as the specific surface area of the mineral additives increases. It was found that the compressive strength of samples with activated Tovuz zeolite is 9% higher, and with activated open-hearth slag is 12% higher compared to concrete without additives. Thus, the replacement of 1% of cement with fine-ground open-hearth slag with a specific surface area of more than 1136.6 m<sup>2</sup>/kg, makes it possible to achieve an increase in the compressive strength of concrete to 92.55 MPa.

**Keywords:** tovuz zeolite, open-hearth slag, mineral powder, ultra-tough concrete, mechanical activation, hydrotechnical concrete.

**For citation:** Ahverdieva T.A., Jafarov R. Modern technologies in the production of hydrotechnical concrete. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2020. No. 3, pp. 76–79. (In English). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-779-3-76-79>

**Introduction:** The development of nanotechnology is related to physics, chemistry and molecular biology. Reduction of a mechanical size and electrical inertia of any equipment is one of the most important features of nanotechnology. Nanotechnology is a new field of science requiring a high level of regulation and clarification of the currently applied devices and equipment over the course of enhancing development of technological knowledge. This is a very complex technology that covers chemical industry, food and biotechnology, electronics, materials industry, and many other areas of science and technology.

There are different hypotheses regarding nanotechnology. Two of them have been widely acknowledged. The

first approach considers the nanoparticles parameters of nanoworld objects in which certain boundaries of the possible changes are determined. The second approach characterizes specific properties of the nanoworld objects expressed by the specific nanoparticle sizes [1–2].

Emergence of nanostructured objects and their use are obtained at the expense of self-formation of substances at the atomic molecular level. Generally, nanotechnology is the technology of obtaining and using new high-quality materials by manipulating atoms and molecules, and the technology of nanoparticles, materials and products. Such substances of atomic molecular level plays an important role in the creation of unique objects without being exposed. Nano or ultra-fine (ultradispers) materials are of-

ten referred to a system or material with a small morphological element. So this system characterizes one or several fundamental physical size of a substance (changing of the crystal cell etc.). Moreover, the size of a grain or particle is further reduced, with a greater number of atoms reaching the ultimate limit or having free surface. With a 6 nm unit structure and one atomic thickness, more than half of the atoms in the system will be on the surface. Thus, the surface atomic share in the nanomaterial becomes 10%, but it determines the surface condition, volume properties and surface properties. Surface formation affects both the cell and the electronic subsystems. For example, nanoceramic material may have plastic deformation property to a significant degree [1–5].

The possibilities of nanotechnology are enormous. At present, the improvement of the properties of nanotechnology materials and the modification of the technology are being implemented by using more nanoparticles and nanodusts (nanosized powders) in the production of construction materials. Colloid suspensions are among the first nanomaterials used. The analogue of this material has long been used in the production of materials such as aerosols, dye pigments, and painting of colloidal glass parts of metal [2–3].

Interest in nanostructured materials has arisen from the unique properties of these materials. Different groups are now being used in the study and production of disperse systems. If the structural and morphological composition of the material elements is within 10–100 nm, they are referred as nanomaterials, nanocrystals, nanoparticles, nanocomposites, nanophases, nanoscale environment, as well as microclasts, grain, ultra-fine, colloidal, subcolloidal particles, ultra-dispersed, high-dispersed, sub-microcrystalline, and ultra-fine powders [2–3].

Which technological processes in construction can be referred to nanotechnologies? Nowadays, nanotechnology in construction can be understood as the use of nanoparticles and nano additives, i.e. nanoobjects in the form of special nanoparticles, with linear dimensions of less than 100 nm. The most commonly used nanoparticles and nanosized powders for modifying the properties and technologies of construction composites are [1–5]:

- Carbon nanotubes;
- Shungite – natural fullerene of haydite, carbon minerals with haydite, carbonaceous minerals. Shungite is an exceptional carbonaceous rock, its uniqueness is in the structure and properties of shungite carbon, and the nature of its interaction with silicate components of cement. The unique properties of shungite rock are gained through fullerenes – dozens of molecules of carbon atoms.
- Serpentinite and magnesium rocks: Chrysotile –  $Mg_6(OH)_8Si_4O_{10}$ , antigorite –  $Mg_3(OH)_4Si_2O_5$ ;
- Taurate is a new type of mineral. It is a natural cluster type mineral containing both organic and mineral particles in its structure, and does not resemble already known carbon-containing minerals. It contains globular «nongraphitizable» carbon with a metastable molecular structure of silicate or carbonate type. Due to its geological metamorphosis, it is neither graphite nor diamond. Taurate is not magnetic but conducts electricity. The di-

mensions of the taurate carbon sphere are up to 10 nm. The use of taurate in the construction industry depends on its properties. It is a natural black pigment and filler for the production of various construction materials with special properties (tile, brick, pavement and facade panels, dyes from gray to black).

- metal dioxides.

Considering that one of the most widely used building materials in construction is concrete, and the main component of concrete production is cement, the application of nanotechnology in the cement technology is of great interest. The first level nano-particles for cement composites are the particles ranging from 1 to 20 nm, and the second level nano-particles are the particles ranging from 21 to 100 nm in size [4–8].

It has been experimentally determined that the use of sodium sulfate makes a significant effect on the basic physical and mechanical properties of cement composites. It has also been determined that a particular attention should be paid to the modification of properties in the period of selection and development of its content for an effective practical use of composites prepared with the use of biocidal additives [6–8].

Nanocement – is obtained by grinding a portland cement clinker together with a polymeric modifier of mineral additives (through physical and chemical activation). A surface area of nanocement is within 400–600 m<sup>2</sup>/kg. Portlandcement clinker is a complex polymineral which is partially glazed system. Grains sizes range from 1 micron to several microns. Such particles are conglomerates. Three main minerals of the clinker are 3 calcium silicate (alit), 2 calcium silicate (belit), 3 calcium aluminate and a thin layer of hardened glass phases – partially crystallized phase (depending on clinker cooling) from  $4CaOAl_2O_3Fe_2O_3$  up to  $6CaOAl_2O_3Fe_2O_3$  [4–9].

Zone-scanning microscopy revealed that conglomerate-shaped minerals that form the Portland cement clinker were formed by a combination of small particles of 100 nm. The surface of the nanocement minerals granulated together with the polymer modifier is coated with a thin nano layer. Nano-cement has a grade of 72,5–97,5 MPa. Such cement enables the production of high-strength concrete of class B40–B100. Nano-cement based concrete has a high performance indicators, concrete and reinforced concrete products distinguishes for the durability, cement consumption is reduced by 2 times and mountain rock wastes like open-hearth furnace slag, ash can be used as a small filler when nano-cement is used. There is no need for steam processing because it is fast-hardening. It is effective in the production of bulky (large), hollow and pre-tensioned concrete and reinforced concrete products [6–9].

**Aim of the study.** The study shows that the components grinded to the ultra disperse granularity (below 100 nm) can also be used as a nano powder. For this purpose it is intended to use local natural Tovuz zeolite and open-hearth furnace slag of the metallurgical industry. The impact of a granularity of finely grinded powders on the physical and mechanical properties of cement and concrete have been studied.

Таблица 1  
Table 1

Химический состав  
The Chemical Composition

Name / Название	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	TiO <sub>2</sub>	LOI / ППП
Tovuz zeolite / Товузский цеолит	52,4	16,7	10,7	0,29	0,61	0,25	0,54	0,03	0,09	0,43	17,6
Open-hearth furnace slag / Мартеновский шлак	40	15,5	22,2	10,2	8,1	3,35	0,7	0,52	0,05	0,87	5,6

Таблица 2  
Table 2

Минералогический состав и начальная зернистость порошковых компонентов  
Mineralogical Composition and Initial Granularity of Powder Components

Material name / Название материала	Mineral composition / Минеральный состав	Sieve residue 0063, % Остаток на сите 0063, %	Surface area, m <sup>2</sup> /kg / Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /кг
Tovuz zeolite / Товузский цеолит	Silica (Кварц) SiO <sub>2</sub> ; Calcite (Кальцит) CaCO <sub>3</sub> ; Plagioclase (плаггиоклаз) 0,83NaAlSi <sub>2</sub> O <sub>8</sub> · 0,16CaAl <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>8</sub> ; Clinoptilolite (Клиноптилолит) (Na <sub>2</sub> K <sub>2</sub> )O · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · 10SiO <sub>2</sub> · 8H <sub>2</sub> O	6	300
Open-hearth furnace slag / Мартеновский шлак	Wustite (Вюстит) FeO; Goethite (Гетит) FeO(OH); Calcium silicate (Силикат кальция) Ca <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub> ; Merwinite (Мервинит) Ca <sub>3</sub> Mg(SiO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ; Kirschsteinite (Кирхинстит) CaFeSiO <sub>4</sub> ; Calcite (Кальцит) CaCO <sub>3</sub>	8	290

**The components used.** The chemical and mineral components of Tovuz zeolite and open-hearth furnace slag are shown in Table 1 and Table 2.

Hydraulic activity of finely grained mineral powders has been determined as per the following basic parameters and shown in Table 3.

Basicity index:

$$BI = \frac{CaO + MgO}{SiO_2 + Al_2O_3};$$

Activity index:

$$AI = \frac{Al_2O_3}{SiO_2};$$

Quality coefficient:

$$Q = \frac{CaO + MgO + Al_2O_3}{SiO_2 + MnO} [9].$$

Chemical composition of the used powder components shows that the amount of basic oxides is significantly less in these compositions. According to the well-known classification the additives are considered basic if BI ≥ 1, acid if BI < 1, high active if AI > 1,9, active if AI = 1,6–1,9, and less active if AI < 1,6. As we can see, the minerals used are acidic and less active powders. This requires solutions for the activation of the studied components.

**Work progress.** At this stage of the experiments, Tovuz zeolite (local volcanic rock) and open-hearth furnace slag (human-induced waste) were used. For comparison, the experiments were also carried out using fine dispersed micro-silica.

To this end, the components were grained to the extent of 250, 370, 470, 560 m<sup>2</sup>/kg, test samples prepared and tested after 28 days of hardening. The test results of the samples are given in table 4.

Таблица 3  
Table 3

Показатели гидравлической активности материалов  
Hydraulic Activity Indicators of Powder Components

Name of material / Название материала	BI / M <sub>0</sub>	AI / M <sub>a</sub>	Q / K <sub>кач</sub>
Tovuz zeolite / Товузский цеолит	0,19	0,01	0,2
Open-hearth furnace slag / Мартеновский шлак	0,56	0,04	0,62

Based on the analysis of the test results we can say the following:

– Average density of reinforced concrete increases with the raise of the surface area of mineral dusts. This suggests that the additives used allow the formation of denser concrete by filling the gaps between the filler particles used in the concrete with ultra-disperse additives.

– It has been determined that an average density of the samples prepared on the basis of activated powders is 2262–2560 kg/cm<sup>3</sup>, which is 10% of the average density of the concrete prepared on the basis of an ordinary concrete mixture.

– Test results of the compressive strength of the obtained stone materials with the same content show that this parameter in the compressive strength of concrete stone consequently rises as the surface area of mineral dusts increases. It was determined that the indicators of the samples with activated Tovuz zeolite is 2–9% higher, the samples based on the open-hearth furnace slag is 12% higher compared to the ordinary concrete prepared on the basis of concrete mixture without additive.

Comparative analysis of the test results with active mineral additives and based on the used ultra disperse silicon-oxide shows that compressive strength of the sam-



Таблица 4

Table 4

**Влияние удельной поверхности активных минеральных добавок на основные физико-механические свойства бетона**  
**Influence of the Surface Area of Active Mineral Admixtures on the Basic Physical and Mechanical Properties of Concrete**

Admixture Name / Название добавки	Basic physical and mechanical parameters of concrete / Физико-механические свойства бетона							
	Surface area of mineral dusts / Удельная поверхность минеральной добавки							
	250 m <sup>2</sup> /kg		370 m <sup>2</sup> /kg		470 m <sup>2</sup> /kg		560 m <sup>2</sup> /kg	
	Average density of concrete, kg/m <sup>3</sup> Средняя плотность бетона, кг/м <sup>3</sup>	Compressive strength of concrete, MPa Прочность бетона при сжатии, МПа	Average density of concrete, kg/m <sup>3</sup> Средняя плотность бетона, кг/м <sup>3</sup>	Compressive strength of concrete, MPa Прочность бетона при сжатии, МПа	Average density of concrete, kg/m <sup>3</sup> Средняя плотность бетона, кг/м <sup>3</sup>	Compressive strength of concrete, MPa Прочность бетона при сжатии, МПа	Average density of concrete, kg/m <sup>3</sup> Средняя плотность бетона, кг/м <sup>3</sup>	Compressive strength of concrete, MPa Прочность бетона при сжатии, МПа
Free from admixture / Без примесей	2310 2325	39,02 38,8						
Tovuz zeolite / Товузский цеолит	2267 2295	36,2 36,4	2310 2322	38,24 38,55	2373 2355	40,2 40,5	2499 2510	41,59 42,7
Open-hearth furnace slag / Мартеновский шлак	2259 2262	37,41 38,12	2329 2329	40,59 40,02	2398 2390	41,8 42,5	2560 2550	43,97 43,43
Micro-silica / Микрокремнезем					2399 2384	36,21 36,19		

ples is 0,3–12,4% higher. This allows us to say that the additives used are more active and effective.

Based on these results, the effect of granularity of the dust materials has been studied through the method of mathematical statistical planning of the experiments. For this purpose, the experiment plan 2<sup>2</sup> has been developed, the experiments have been implemented and a mathematical model, regression equation has been established:

$$R_s = 43,41 - 1,81x_1 + 4,78x_2 - 2,68 x_1x_2.$$

As it can be seen from the equation, higher values can be achieved by reducing the amount of powder component and increasing its granularity. Through the short progress method it was determined that by reducing the amount of open-hearth furnace slag by 1% of cement consumption and increasing granularity to the extent of more than 1136,6 m<sup>2</sup>/kg, we can achieve a compressive strength of the concrete higher than 92,55 MPa.

**Conclusion.** As the surface area of mineral dusts increases, the average density of the hardened concrete rises. When the mineral dusts are applied in the amount of 100 nm small particles they take a more active part in the process of hardening and mineral formation. By using nano-powders up to 1% of cement consumption, the compressive strength can be increased by 213% or 2,13 times.

## References

- Jafarov R.M., Hagverdiyeva T.A. Determination of compressive strength of the concrete retaining wall of the harbor located at Baku Deep Water Jacket Plant by non-destructive method. *Materials of the International Conference on the Perspectives for Development of the Construction Materials Industry in Azerbaijan, dedicated to the 40th Anniversary of the Azerbaijan University of*
- Rashad A. Preliminary study on the effect of fine aggregate replacement with metakaolin on strength and abrasion resistance of concrete. *Construction and Building Materials*. 2013. Vol. 44, pp. 487–495.
- Abramchuk N.S., Avdoshenko N.S., Baranov A.N. Nanotechnology. The Alphabet for All. Moscow: Fizmatlit, 2009, pp. 367. (In Russian).
- Selyaev V.P., Osipov A.K., Pisareva A.S. Nanoparticles – Powders – structures, technologies: an analytical review. Saransk: 2010. (In Russian).
- Hagverdiyeva T.A., Jafarov R.M. Impact of Fine Ground Mineral Additives on Properties of Concrete. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2019. No. 3, pp. 73–76. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-768-3-73-76>
- Hagverdiyeva T.A., Jafarov R.M. The Possibility of Developing New Organic-Mineral Additives Using Industrial Wastes and Their Application in the Production of Hydraulic Concrete. *International Concrete Congress*. Turkey, Bursa 2019, pp. 367–372. (In English).
- Hagverdiyeva T.A., Jafarov R.M. Investigation of the Influence of Metal Production Waste on the Properties of Concrete. *Scientific Works. Azerbaijan University of Architecture and Construction*. Baku. 2017, No. 2, pp. 24–27. (In English).
- Hagverdiyeva T.A., Jafarov R.M. Development of Efficient Hydraulic Concrete Composition by Use of Industrial Wastes. *Building Innovations, Collection of Materials of the II International Ukrainian-Azerbaijani Conference*. Poltava, Ukraine, 2019, pp. 395–398. (In English).
- Usherov-Marshak A.V. Concrete science: lexicon. Moscow: Snroyaterialy. 2009. 112 p.

# Как подготовить к публикации научно-техническую статью



Журнальная научно-техническая статья – это сочинение небольшого размера, что само по себе определяет границы изложения темы статьи.

Необходимыми элементами научно-технической статьи являются:

- постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими задачами;
- анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и на которые опирается автор, выделение ранее не решенных частей общей проблемы, которым посвящена статья;
- формулирование целей статьи (постановка задачи);
- изложение основного материала исследования с полным обоснованием полученных результатов;
- выводы из данного исследования и перспективы дальнейшего поиска в избранном направлении.

Научные статьи рецензируются специалистами. Учитывая открытость журнала «Строительные материалы»® для ученых и исследователей многих десятков научных учреждений и вузов России и СНГ, представители которых не все могут быть представлены в редакционном совете издания, желательно представлять одновременно со статьей отношение ученого совета организации, где проведена работа, к представляемому к публикации материалу в виде сопроводительного письма или рекомендации.

Библиографические списки цитируемой, использованной литературы должны подтверждать следование автора требованиям к содержанию научной статьи.

### НЕ РЕКОМЕНДУЕТСЯ:

1. Включать ссылки на федеральные законы, подзаконные акты, ГОСТы, СНИПы и др. нормативную литературу. Упоминание нормативных документов, на которые опирается автор в испытаниях, расчетах или аргументации, лучше делать непосредственно по тексту статьи.
2. Ссылаться на учебные и учебно-методические пособия; статьи в материалах конференций и сборниках трудов, которым не присвоен ISBN и которые не попадают в ведущие библиотеки страны и не индексируются в соответствующих базах.
3. Ссылаться на диссертации (ссылки на авторефераты диссертаций не допускаются).
4. Самоцитирование, т. е. ссылки только на собственные публикации автора. Такая практика не только нарушает этические нормы, но и приводит к снижению количественных публикационных показателей автора.

### ОБЯЗАТЕЛЬНО следует:

1. Ссылаться на статьи, опубликованные за последние 2–5 лет в ведущих отраслевых научно-технических и научных изданиях, на которые опирается автор в построении аргументации или постановке задачи исследования.
2. Ссылаться на монографии, опубликованные за последние 5 лет. Более давние источники также негативно влияют на показатели публикационной активности автора.

Несомненно, что возможны ссылки и на классические работы, однако не следует забывать, что наука всегда развивается поступательно вперед и незнание авторами последних достижений в области исследований может привести к дублированию результатов, ошибкам в постановке задачи исследования и интерпретации данных.

Статьи, направляемые для опубликования, должны оформляться в соответствии с техническими требованиями изданий:

- текст статьи должен быть набран в редакторе Microsoft Word и сохранен в формате \*.doc, \*.docx или \*.rtf и не должен содержать иллюстраций;
- графический материал (графики, схемы, чертежи, диаграммы, логотипы и т. п.) должен быть выполнен в графических редакторах: CorelDraw, Adobe Illustrator и сохранен в форматах \*.cdr, \*.ai, \*.eps соответственно. Сканирование графического материала и импортирование его в перечисленные выше редакторы недопустимо;
- иллюстративный материал (фотографии, коллажи и т. п.) необходимо сохранять в формате \*.tif, \*.psd, \*.jpg (качество «8 – максимальное») или \*.eps с разрешением не менее 300 dpi, размером не менее 115 мм по ширине, цветовая модель CMYK или Grayscale.

Материал, передаваемый в редакцию в электронном виде, должен сопровождаться: рекомендательным письмом руководителя предприятия (института); лицензионным договором о передаче права на публикацию; **распечаткой, лично подписанной авторами**; рефератом объемом не менее 150 слов на русском и английском языках; подтверждением, что статья предназначена для публикации в журнале «Строительные материалы»®, ранее нигде не публиковалась и в настоящее время не передана в другие издания; сведениями об авторах с указанием полностью фамилии, имени, отчества, ученой степени, должности, контактных телефонов, почтового и электронного адресов. Иллюстративный материал должен быть передан в виде оригиналов фотографий, негативов или слайдов, распечатки файлов.

В 2006 г. в журнале «Строительные материалы»® был опубликован ряд статей «Начинающему автору», ознакомиться с которыми можно на сайте издательства [www.rifsm.ru/files/avtoru.pdf](http://www.rifsm.ru/files/avtoru.pdf)

Подробнее можно ознакомиться с требованиями на сайте журнала <https://journal-cm.ru/index.php/ru/avtoram>

ЕКАТЕРИНБУРГ • 2020

# BALTI MIX

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ СУХИХ  
СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ

**19-21 августа**  
2020 года

**20**  
**ЛЕТ** С ВАМИ  
В ОТРАСЛИ

 **BANG & BONSONOMER**  
DELIVERING SMART MATERIAL TECHNOLOGIES



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
СТРОИТЕЛЬНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

КВИТЕТ

**baltimix.ru**



Широкий ассортимент преднапряженных железобетонных изделий отвечает требованиям самой сложной спецификации



Формовочные установки NORDIMPIANTI способны производить широкий ассортимент преднапряженных железобетонных изделий таких, как пустотные плиты перекрытий, пустотные стеновые панели, ригели таврового и двутаврового сечения, столбики для винограда и перемычки, преднапряженные плиты, элементы U-образного сечения, плиты с интегрированными тавровыми ригелями и т.д.

Преднапряженные изделия, произведенные на установках Экструдер, Слипформер, Вибролитьевая формовочная машина фирмы NORDIMPIANTI, демонстрируют множество преимуществ, которые обеспечивают им успех по всему миру.