

УДК 691.32

[https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-1\(40\)-92-104](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-1(40)-92-104)

EDN: NIYJLR

# МОДИФИЦИРОВАННЫЕ БЕТОНЫ: РЕАЛЬНОСТЬ И ПЕРСПЕКТИВЫ

С.С. КАПРИЕЛОВ, д-р техн. наук  
А.В. ШЕЙНФЕЛЬД<sup>✉</sup>, д-р техн. наук  
И.А. ЧИЛИН  
В.Г. ДОНДУКОВ  
Н.М. СЕЛЮТИН

*Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона (НИИЖБ) им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», 2-я Институтская ул., д. 6, к. 5, г. Москва, 109428, Российская Федерация*

## Аннотация

*Цель:* показать анализ тенденций мирового развития за последние 30 лет и определить современные задачи технологии бетонов.

*Реальность.* Приведены новые понятия и термины, которые характеризуют уровень современной науки и технологии бетона в мире. Показано, что выпускаемые в промышленном масштабе уникальные по составу, форме и технологичности комплексные органоминеральные модификаторы позволили за короткий срок организовать в России массовое производство бетонов с высокими эксплуатационными свойствами объемом около 5 млн м<sup>3</sup>. Представлены примеры возведения конструкций уникальных сооружений из новых модифицированных бетонов: высотных зданий, спортивных сооружений, мостов, путепроводов, тоннелей и др.

*Перспективы.* Сформулированы задачи развития технологии бетонов в РФ: разработка и улучшение физико-технических характеристик бетонов; широкое использование крупнотоннажных техногенных отходов в производстве бетонных смесей; актуализация и разработка новых нормативных документов по расчету, проектированию и возведению современных конструкций и сооружений, обладающих высокой эксплуатационной надежностью, долговечностью и эстетическими свойствами.

*Вывод.* Показано, что уровень развития технологии бетона в России соответствует мировым достижениям.

**Ключевые слова:** модифицированные бетоны, бетоны с высокими эксплуатационными свойствами, высокопрочные бетоны, самоуплотняющиеся бетоны, порошковые бетоны, сталефибробетоны, особо-тяжелые бетоны, бетоны высокой коррозионной стойкости, бетоны с компенсированной усадкой

**Для цитирования:** Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Чилин И.А., Дондуков В.Г., Селютин Н.М. Модифицированные бетоны: реальность и перспективы. *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2024;40(1):92–104. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-1\(40\)-92-104](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-1(40)-92-104)

## Вклад авторов

Каприелов С.С., Шейнфельд А.В. – являются одними из разработчиков органоминеральных модификаторов, новых модифицированных бетонов и технологии их применения в РФ.

Чилин И.А., Дондуков В.Г., Селютин Н.М. – являются одними из разработчиков новых модифицированных бетонов и технологии их применения в РФ.

## Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

## Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

*Поступила в редакцию 26.11.2023*

*Поступила после рецензирования 22.12.2023*

*Принята к публикации 11.01.2024*

## MODIFIED CONCRETE: REALITY AND PROSPECTS

S.S. KAPRIELOV<sup>✉</sup>, Dr. Sci. (Engineering)

A.V. SHEYNFELD, Dr. Sci. (Engineering)

I.A. CHILIN

V.G. DONDUKOV

N.M. SELYUTIN

*Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction,  
2nd Institutskaya str., 6, bld. 5, Moscow, 109428, Russian Federation*

### Abstract

**Aim.** To review the history of concrete technology over the past 30 years and to analyze current trends in the field.

**Reality.** New concepts and terms that manifest the level of modern science in the field of concrete technology are given. It is shown that the use of complex organomineral modifiers produced on an industrial scale, which are characterized by unique compositions, forms, and processability, allowed Russia to organize promptly mass production of concrete with high performance properties in the amount of about 5 million m<sup>3</sup>. Examples of construction of unique structures from new modified concretes are presented. The list of such structures includes high-rise buildings, sports facilities, bridges, overpasses, tunnels, etc.

**Prospects.** Priority tasks for further development of concrete technology in Russia have been formulated. Among them are the development and improvement of physical and technical characteristics of concretes; extended use of large-tonnage technogenic wastes in production of concrete mixtures; updating and development of new normative documents for calculation, design, and erection of modern structures with high operational reliability, durability, and aesthetic properties.

**Conclusions.** The current level of concrete technology in Russia meets international standards.

**Keywords:** modified concrete, high-performance concrete, high-strength concrete, self-compacting concrete, reactive powder concrete, fiber-reinforced concrete, heavy-weight concrete, high-corrosion resistance concrete, shrinkage compensated concrete.

**For citation:** Kaprielov S.S., Sheynfeld A.V., Chilin I.A., Dondukov V.G., Selyutin N.M. Modified concrete: reality and prospects. *Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2024;40(1):92–104. (In Russian). [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-1\(40\)-92-104](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-1(40)-92-104)

### Author contribution statements

Kaprielov S.S., Sheynfeld A.V. – a developer of organomineral modifiers, new modified concretes, and technologies for their use in the Russian Federation.

Chilin I.A., Dondukov V.G., Selyutin N.M. – a developer of new modified concretes, and technologies for their use in the Russian Federation.

### Funding

No funding support was obtained for the research.

### Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

*Received 26.11.2023*

*Revised 22.12.2023*

*Accepted 11.01.2024*

## Реальность

Развитие строительной отрасли и обеспечение безопасности зданий и сооружений – одно из основных условий устойчивого развития государства. В свою очередь наиболее важным критерием безопасности является высокая эксплуатационная надежность и долговечность несущих конструкций, из которых от 70 до 80 % ежегодно возводятся из бетона и железобетона.

Как известно, бетон является основным конструкционным строительным материалом благодаря наличию ряда достоинств:

- доступной технологии производства;
- использованию местных материалов и техногенных отходов;
- широкому диапазону физико-механических свойств;
- незначительным трудозатратам при производстве конструкций;
- возможности реализации различных архитектурных решений.

К этим достоинствам можно добавить, что это, пожалуй, единственный искусственный материал, свойства которого со временем улучшаются при условии их проектирования с учетом воздействия окружающей среды.

## Мировые тенденции

В XXI веке строительное материаловедение в области бетона претерпело значительные изменения за счет развития знаний о механизме формирования структуры цементного камня и возможности модифицировать цементную систему с помощью эффективных добавок [1–4]. Разработаны и производятся новые модифицированные бетоны, отличающиеся по своим свойствам от традиционных. Введены новые понятия и термины. Разработаны новые и актуализированы ранее существующие нормативы.

Основные понятия и термины, которые дают представление об уровне развития современной науки и технологии бетона, приводятся в [5, 6], в том числе:

- *высокопрочные бетоны (high-strength concrete)* прочностью на сжатие 80–150 МПа – для возведения каркасов высотных зданий, конструкции мостов, путепроводов и др.;
- *сверхвысокопрочные бетоны (ultrahigh-strength concrete)* прочностью на сжатие выше 150 МПа – для возведения специальных конструкций и элементов;
- *бетоны низкой проницаемости и высокой коррозионной стойкости (low-permeability and high-corrosion resistance concrete)*, не требующие «вторичной» защиты, – для возведения конструкций, эксплуатируемых в условиях агрессивного воздействия среды;
- *бетоны с компенсированной усадкой или самонапряжением (shrinkage compensated concrete)* – для возведения протяженных монолитных конструкций и массивных фундаментных плит;
- *самоуплотняющиеся бетоны (self-compacting concrete)*, не требующие виброуплотнения, – для возведения густоармированных конструкций сложной конфигурации;
- *порошковые бетоны (reactive powder concrete)* прочностью 180–250 МПа – для возведения мелкообъемных элементов и деталей;
- *бетон без макродефектов (macrodefect-free concrete)* пористостью менее 1 % и прочностью выше 150 МПа – для возведения мелкообъемных элементов и деталей.

Для обозначения вышеперечисленных материалов введен термин *бетоны с высокими эксплуатационными свойствами (high performance concrete)*, или сокращенно НПС, под которым понимают малоцементные, технологичные, высокопрочные и долговечные бетоны [6].

Получение и массовое производство НРС осуществилось за счет комплексного использования суперпластификаторов и высокоактивных минеральных добавок, которые, изменяя реологические характеристики смесей и структуру (фазовый состав и дифференциальную пористость) цементного камня на микро- и наноуровне [7–12], позволяют управлять свойствами бетонных смесей и бетонов и тем самым обеспечивать высокую эксплуатационную надежность конструкций в зависимости от условий их эксплуатации [7]. Вероятно, поэтому производство НРС относят к «высоким технологиям» [5].

Являющиеся основным конструкционным материалом современных сооружений, малоцементные, высокопрочные и самоуплотняющиеся бетоны с компенсированной усадкой, обладающие высокой коррозионной стойкостью, уже сейчас производятся в промышленных объемах и имеют важное практическое значение. Примеры применения НРС при возведении различных уникальных объектов за рубежом известны с конца XX века: тоннель под Ла-Маншем; мосты и путепроводы в Канаде, Китае и Японии; морские буровые платформы в Норвегии; комплексы высотных зданий в Нью-Йорке, Чикаго, Шанхае, Малайзии, на Тайване и самое высокое (828 м) в мире здание «Бурдж-Халифа» в Объединенных Арабских Эмиратах.

Сверхвысокопрочные, порошковые и бетоны без макродефектов являются материалами, которые производятся в несопоставимо меньших объемах и, по существу, представляют собой концептуальные направления развития технологии бетона.

### *Ситуация в России*

Рассмотрим, как на фоне мирового опыта выглядит ситуация в России. Надо отметить, что материально-техническая и нормативная база для массового производства НРС в России была создана еще в 1996–1999 гг.

К тому моменту были разработаны и начался выпуск уникальных по составу и форме добавок на органоминеральной основе, которые сейчас известны как модификаторы серии «МБ». Благодаря тому, что в их составе содержатся все необходимые добавки для НРС, а также удобству их применения (т. е. «технологичности»), практически каждый рядовой бетонный завод оказался в состоянии производить НРС.

Модификаторы серии «МБ» – это поликомпонентные порошкообразные продукты разных типов (МБ-01, МБ-С и ЭМБЭЛИТ), подразделяющиеся в свою очередь на марки, которые содержат в своем составе микрокремнезем, золу уноса, метакраин, суперпластификатор и регулятор твердения. В зависимости от соотношения ингредиентов отличаются потребительские свойства модификаторов и их назначение – от обеспечения высокой и сверхвысокой прочности до придания бетону специальных свойств (низкой проницаемости и повышенной коррозионной стойкости, компенсации усадки или расширения).

Использование технологичных и эффективных органоминеральных модификаторов позволило за короткий срок организовать в России массовое производство НРС общим объемом около 5 млн м<sup>3</sup>, в том числе:

- высокопрочных (В60–В100) – 1,5 млн м<sup>3</sup>;
- высокой коррозионной стойкости (W12–W20, F<sub>1</sub>300–F<sub>1</sub>1000) – 2,1 млн м<sup>3</sup>;
- малоцементных с низкой экзотермией (В40–В60) – 1,0 млн м<sup>3</sup>;
- с компенсированной усадкой и (или) самоуплотнением (S<sub>0,6</sub>–S<sub>2,0</sub>) – 650 тыс. м<sup>3</sup>;
- из самоуплотняющихся смесей (В40–В100, РК 60–70) – 500 тыс. м<sup>3</sup>;
- высокопрочных мелкозернистых (В45–В100) – 100 тыс. м<sup>3</sup>;

– конструкционного легкого бетона (B45–B65, D1800) – 13 тыс. м<sup>3</sup>.

Строительство уникальных объектов и принятие нестандартных конструктивных решений массивных и тонкостенных густоармированных железобетонных и сталежелезобетонных конструкций сложной конфигурации потребовало использование не только бетонов с высокими физико-техническими свойствами, но и разработку новых технологий и нормативных документов.

Разработаны и широко внедрены в практику строительства новые технологии возведения конструкций уникальных сооружений:

– конструкций каркасов высотных зданий и спортивных сооружений из высокопрочных тяжелых, мелкозернистых и конструкционных легких бетонов;

– густоармированных конструкций из самоуплотняющихся смесей;

– конструкций мостов, путепроводов и тоннелей из бетонов высокой коррозионной стойкости;

– ограждающих конструкций подземной части без внешней гидроизоляции из бетонов с компенсированной усадкой и (или) самоуплотнением;

– массивных фундаментных плит с повышенной термической трещиностойкостью из малопементных бетонов с низкой экзотермией.

Среди наиболее интересных сооружений (рис. 1): комплексы высотных зданий ММДЦ «Москва-Сити» и Capital Towers; стадионы «Локомотив», «Самара Арена» и «Екатеринбург Арена»; крытый конькобежный центр в Крылатском; ТРК «Охотный ряд»; мосты и путепроводы на МКАД; Лефортовский транспортный тоннель и мост через р. Язу на Третьем транспортном кольце; «Парящий мост» в парке «Зарядье» в Москве; конструкции фундамента турбоагрегата и свода 4-го энергоблока Белоярской АЭС; станции метрополитена «Славянский бульвар» в Москве и «Комсомольская» в Челябинске; дворец водных видов спорта в Казани; конструкции «Юмагузинского водохранилища» на р. Белая в Республике Башкортостан и другие.

Разработан и актуализирован комплекс нормативно-технической документации, позволяющий производить НРС, а также проектировать и контролировать качество конструкций из таких бетонов [13, 14], в том числе:

– ГОСТ 31914-2012. Бетоны высокопрочные тяжелые и мелкозернистые для монолитных конструкций. Правила контроля и оценки качества [15];

– ГОСТ Р 56178-2014. Модификаторы органо-минеральные типа МБ для бетонов, строительных растворов и сухих смесей. Технические условия [16];

– ГОСТ Р 58894-2020. Микрокремнезем конденсированный для бетонов и строительных растворов. Технические условия [17];

– ГОСТ Р 59536-2021. Метакаолин для бетонов и строительных растворов. Технические условия [18];

– ГОСТ Р 59535-2021. Бетоны тяжелые и мелкозернистые, дисперсно-армированные стальной фиброй. Технические условия [19];

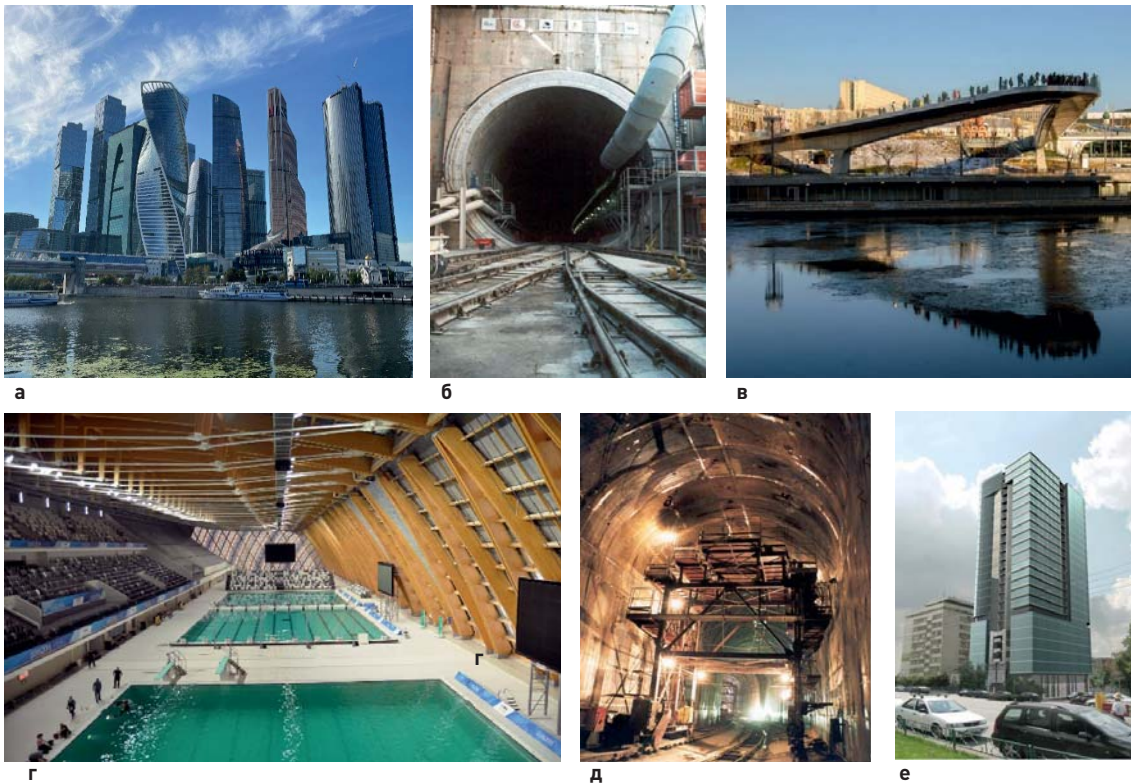
– ГОСТ Р 59714-2021. Смесей бетонные самоуплотняющиеся. Технические условия [20];

– ГОСТ Р 59715-2022. Смесей бетонные самоуплотняющиеся. Методы испытаний [21];

– СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения [22];

– СП 311.1325800.2017. Бетонные и железобетонные конструкции из высокопрочных бетонов. Правила проектирования [23];

– СП 28.13330.2017. Защита строительных конструкций от коррозии [24];



**Рис. 1.** Уникальные объекты строительства, в конструкциях которых использованы бетоны с высокими эксплуатационными свойствами: а – монолитные железо- и сталежелезобетонные конструкции каркасов высотных зданий ММДЦ «Москва-Сити» из самоуплотняющихся бетонов В60–В100; б – железобетонные туннели «Лефортовского» тоннеля из малоцементного бетона В45 W12 F<sub>2</sub>300; в – монолитное постнапряженное пролетное строение «Парящего моста» в парке Зарядье из малоцементного самоуплотняющегося бетона В60 W16 F<sub>2</sub>300; г – фундаментные плиты и три чаши бассейнов «Дворца водных видов спорта» в г. Казань из бетона В40 W12 с компенсированной усадкой; д – туннель донного водовыпуска «Юмагузинского водохранилища» на р. Белой из бетона В40 W16 (агрессивная среда: содержание аморфного SiO<sub>2</sub> в заполнителях до 101 ммоль/л, при высоком содержании (более 1 % щелочей цемента); е – монолитные конструкции каркаса здания «Газойл-Плаза» высотой 96 м из легкого бетона В45–В55 D1800

**Fig. 1.** Unique construction projects erected based on high-performance concretes: а – monolithic reinforced and steel-reinforced concrete structures of the frames of high-rise buildings of the Moscow International Business Center “Moscow City” from self-compacting concrete В60–В100; б – reinforced concrete tubings of the “Lefortovo Tunnel” made of low-cement concrete В45 W12 F<sub>2</sub>300; в – monolithic post-tensioned span structure of the “Soaring Bridge” in “Zaryadye Park” made of low-cement self-compacting concrete В60 W16 F<sub>2</sub>300; г – foundation slabs and three bowls of the swimming pools of the “Water Sports Palace” in Kazan made of concrete В40 W12 with compensated shrinkage; д – tunnel of the bottom water outlet of the “Yumaguzinsky Reservoir” on the river “Belaya” from concrete В40 W16 (aggressive environment: content of amorphous SiO<sub>2</sub> in aggregates up to 101 mmol/l, with a high content (more than 1 % of alkalis of cement); е – monolithic structures of the frame of the “Gazoil-Plaza” building, 96 m high, made of light-weight concrete В45–В55 D1800

- СП 412.1325800.2018. Конструкции фундаментов высотных зданий и сооружений. Правила производства работ [25];
- СП 250.1325800.2016. Здания и сооружения. Защита от подземных вод [26].

Реализация массового производства НРС с использованием органоминеральных модификаторов серии «МБ», объем производства которых составил более 300 тыс. т, позволила утилизировать более 270 тыс. т отходов (дымов) электрометаллургии и электроэнергетики, сэкономить около 800 тыс. т цемента, что способствовало понижению выбросов в атмосферу углекислого газа в количестве не менее 700 тыс. т и улучшению экологической обстановки.

Перспективы

В настоящее время можно выделить ряд задач, стоящих перед строительной отраслью, в частности касающихся технологии модифицированных бетонов, которые заключаются в следующем.

Исследования и разработка новых бетонов

Полученные в результате проведенных научно-исследовательских работ [27–33] и научно-технического сопровождения строительства [34–38] физико-технические характеристики НРС, представленные в табл. 1 и необходимые для расчета и проектирования конструкций, показывают, что значительная их часть требует дополнительных исследований прочностных, деформационных и коррозионных свойств тяжелых, легких, мелкозернистых, порошковых,

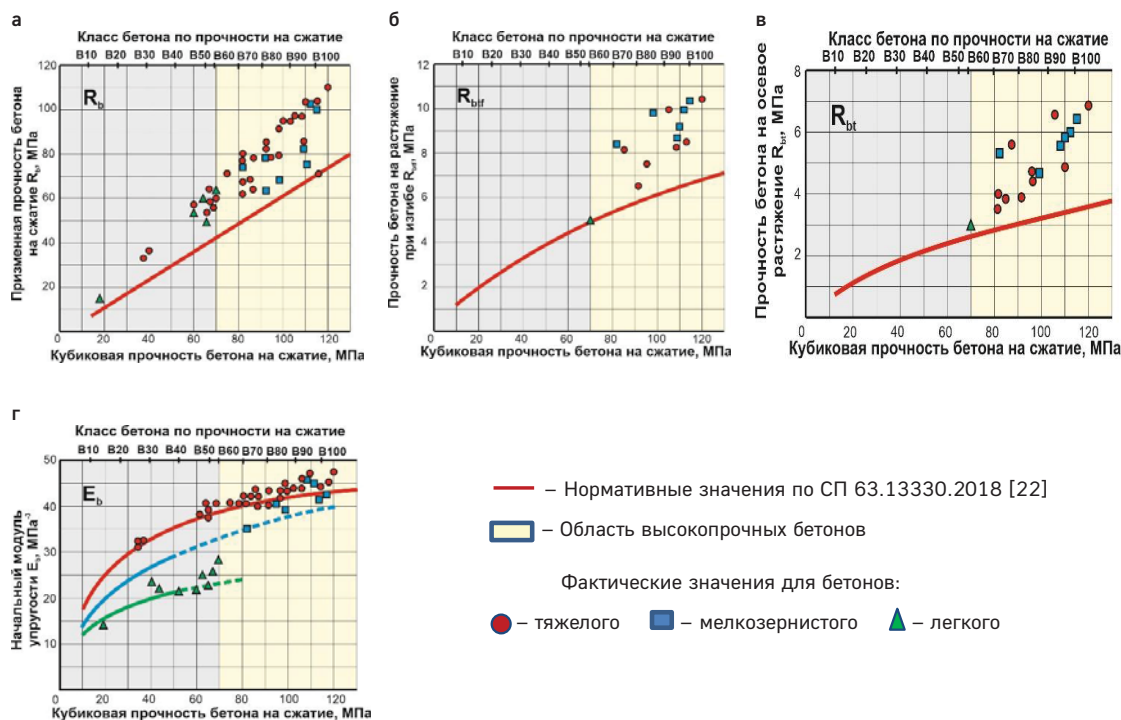
Таблица 1  
Прочностные и деформационные характеристики НРС

Table 1  
Strength and deformation characteristics of high-performance concretes (NPC)

| Вид бетона                   | $\gamma$  | Прочностные и деформационные характеристики бетона |         |           |          |       |              |         |
|------------------------------|-----------|----------------------------------------------------|---------|-----------|----------|-------|--------------|---------|
|                              |           | $R$                                                | $R_b$   | $R_{btf}$ | $R_{bt}$ | $E_b$ | $\epsilon_b$ | $C$     |
| Тяжелый бетон                | 2380–2450 | 80–120                                             | 75–105  | 6–10      | 5–7      | 40–47 | 0–39         | 1,8–2,3 |
| Конструкционный легкий бетон | 1600–1900 | 58–80                                              | 50–75   | 4–5       | 2–3      | 21–26 | –            | –       |
| Мелкозернистый бетон         | 2200–2300 | 64–115                                             | 60–105  | 8–10      | 4–7      | 38–45 | 0–74         | 2,0–2,5 |
| Порошковый бетон             | 2300–2400 | 112–145                                            | 100–125 | 10–14     | 4–6      | 43–45 | 60–65        | 2,0–2,2 |
| Порошковый фибробетон        | 2350–2450 | 125–150                                            | 100–130 | 8–23      | 9–11     | 44–49 | 43–55        | 1,3–1,7 |
| Порошковый легкий бетон      | 1600–1800 | 65–85                                              | –       | –         | –        | –     | –            | –       |
| Особотяжелый бетон           | 3500–4500 | 60–80                                              | –       | –         | –        | –     | –            | –       |
| Особотяжелый бетон с фиброй  | 3500–4500 | 160–190                                            | 140–170 | 20–22     | 8–10     | 58–62 | –            | –       |

Примечания:  $\gamma$  – средняя плотность (кг/м³);  $R$  – кубиковая прочность на сжатие (МПа);  $R_b$  – призматическая прочность на сжатие (МПа);  $R_{btf}$  – прочность на растяжение при изгибе (МПа);  $R_{bt}$  – прочность на осевое растяжение (МПа);  $E_b$  – начальный модуль упругости (ГПа);  $\epsilon_b$  – предельное значение деформации усадки ( $\times 10^5$ );  $C$  – предельное значение меры ползучести (МПа<sup>-1</sup> $\times 10^5$ ).

Notes:  $\gamma$  – average density (kg/m³);  $R$  – cubic compressive strength (MPa);  $R_b$  – prismatic compressive strength (MPa);  $R_{btf}$  – flexural tensile strength (MPa);  $R_{bt}$  – axial tensile strength (MPa);  $E_b$  – initial modulus of elasticity (GPa);  $\epsilon_b$  – shrinkage strain limit ( $\times 10^5$ );  $C$ , creep measure limit (MPa<sup>-1</sup> $\times 10^5$ ).



**Рис. 2.** Прочностные (а, б, в) и деформационные (г) характеристики НРС по сравнению с нормативными значениями по СП 63.13330.2018 [22]

**Fig. 2.** Strength (a, б, в) and deformation (г) characteristics of HPC compared to standard values according to SP 63.13330.2018 [22]

особотяжелых высокопрочных бетонов и фибробетонов из самоуплотняющихся смесей, в том числе:

- облегченных тяжелых бетонов B50–B80, D2000–D2100 с заданными деформационными характеристиками;
- конструкционных легких бетонов B45–B70, D1600–D1800;
- порошковых мелкозернистых и легких бетонов B60–B170, D1600–D2300;
- сталефибробетонов классов  $B_{f100}$ – $B_{f170}$ ,  $B_{fbt6}$ – $B_{fbt8}$ ,  $B_{fbtf10}$ – $B_{fbtf20}$ ;
- особотяжелых бетонов классов B60–B100, D3500–D4500.

Полученные высокие технико-экономические показатели и эксплуатационные характеристики НРС [7, 14, 34–38] говорят об эффективности, надежности и значительном потенциале технологии производства бетонов, основанной на применении комплексных органоминеральных модификаторов серии «МБ», что позволяет рекомендовать ее к широкому применению при проектировании и строительстве зданий и сооружений.

### Утилизация техногенных отходов

Распространение технологии производства НРС на основе органоминеральных модификаторов позволит довести возможный объем утилизации отходов электрометаллургических производств и тепловых электростанций в России до 6 млн т/год, что будет способствовать экономии цемента в объеме 10 млн т/год и предотвращению выбросов в атмосферу углекислого газа до 9 млн т/год.

## Актуализация нормативных документов

Сравнение фактических прочностных и деформационных характеристик новых модифицированных бетонов с высокими эксплуатационными свойствами, полученных в работах [6, 7, 11, 27, 28, 30–32, 34, 35], с нормативными значениями по СП 63.13330.2018 [22] приведено на рис. 2.

Представленные результаты показывают, что необходима актуализация нормируемых характеристик и разработка новых принципов расчета и проектирования железобетонных конструкций с использованием всех видов высокопрочных бетонов, в том числе:

- уточнение нормативных прочностных характеристик высокопрочных бетонов  $R_b$ ,  $R_{br}$ ,  $R_{bf}$ , а также коэффициентов надежности  $\gamma_b$  и условий работы  $\gamma_{b3}$  с учетом их фактических значений и обеспечения надежности конструкций;
- дополнение о возможности варьирования начального модуля упругости тяжелого бетона  $E_b$  одного класса по прочности на сжатие за счет технологических факторов (вида крупного заполнителя);
- расширение верхней границы параметрического ряда и нормативных значений модуля упругости  $E_b$  для высокопрочных конструкционных легких и мелкозернистых бетонов с класса В40 до классов В60 и В100 соответственно.

## Список литературы

1. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика. Москва: Технопроект; 1998.
2. Каприелов С.С. Общие закономерности формирования структуры цементного камня и бетона с добавкой ультрадисперсных материалов. Бетон и железобетон. 1995;(4):16–20.
3. Рамачандран В.С., Фельдман Р.Ф., Колепарди М., Мальхотра В.М., Долч В.Л., Мехта П.К., и др. Добавки в бетон. Справочное пособие. Москва: Стройиздат; 1998.
4. Malhotra V.V. Innovative Applications of Superplasticizers in Concrete – A Review. In: Cabrera J.G., Rivera-Villarreal R., eds. The Role of Admixtures in High Performance Concrete. Proceeding of the International Symposium. RILEM Publications; 1997, pp. 421–460.
5. Mather B. Concrete. In: Neville A.M., Malhotra V.M., eds. Adam Neville Symposium on Concrete Technology. American Concrete Institute, Canada Centre for Mineral and Energy Technology, CANMET/ACI International Symposium. Las Vegas, USA; 1995, pp. 1–9.
6. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Кардунян Г.С., Киселева Ю.А., Пригоженко О.В. Новые бетоны и технологии в конструкциях высотных зданий. Высотные здания. 2007;(5):94–101.
7. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Кардунян Г.С. Новые модифицированные бетоны. Москва: Парадиз; 2010.
8. Шейнфельд А.В. Особенности формирования иерархической микро- и наноструктуры цементных систем с комплексными органоминеральными модификаторами. Бетон и железобетон. 2016;(2):16–21.
9. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В. Некоторые особенности механизма действия органоминеральных модификаторов на цементные системы. Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2017;(1):40–47.
10. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Дондуков В.Г. Цементы и добавки для производства высокопрочных бетонов. Строительные материалы. 2017;(11):4–10.
11. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Кардунян Г.С., Дондуков В.Г. Модифицированные высокопрочные мелкозернистые бетоны с улучшенными деформативными характеристиками. Бетон и железобетон. 2006;(2):2–7.
12. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Карпенко Н.И., Кузнецов Е.Н. Влияние органоминерального модификатора МБ-50С на структуру и деформативность цементного камня и высокопрочного бетона. Бетон и железобетон. 2003;(3):2–7.

13. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Кардунян Г.С., Чилин И.А. О подборе составов высококачественных бетонов с органоминеральными модификаторами. *Строительные материалы*. 2017;(12):58–63.
14. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Киселева Ю.А. Особенности системы контроля качества высокопрочных бетонов. *Строительные материалы*. 2012;(2):63–67.
15. ГОСТ 31914-2012. Бетоны высокопрочные тяжелые и мелкозернистые для монолитных конструкций. Правила контроля и оценки качества. Москва: Стандартинформ; 2014.
16. ГОСТ Р 56178-2014. Модификаторы органо-минеральные типа МБ для бетонов, строительных растворов и сухих смесей. Технические условия. Москва: Стандартинформ; 2015.
17. ГОСТ Р 58894-2020. Микрокремнезем конденсированный для бетонов и строительных растворов. Технические условия. Москва: Стандартинформ; 2020.
18. ГОСТ Р 59536-2021. Метакаолин для бетонов и строительных растворов. Технические условия. Москва: Стандартинформ; 2021.
19. ГОСТ Р 59535-2021. Бетоны тяжелые и мелкозернистые, дисперсно-армированные стальной фиброй. Технические условия. Москва: Стандартинформ; 2021.
20. ГОСТ Р 59714-2021. Смеси бетонные самоуплотняющиеся. Технические условия. Москва: Российский институт стандартизации; 2021.
21. ГОСТ Р 59715-2022. Смеси бетонные самоуплотняющиеся. Методы испытаний. Москва: Российский институт стандартизации; 2022.
22. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Москва: Стандартинформ; 2019.
23. СП 311.1325800.2017. Бетонные и железобетонные конструкции из высокопрочных бетонов. Правила проектирования. Москва: Стандартинформ; 2018.
24. СП 28.13330.2017. Защита строительных конструкций от коррозии. Актуализированная редакция СНиП 2.03.11-85 [интернет]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/456069587>
25. СП 412.1325800.2018. Конструкции фундаментов высотных зданий и сооружений. Правила производства работ. Москва: Стандартинформ; 2019.
26. СП 250.1325800.2016. Здания и сооружения. Защита от подземных вод. [интернет]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200138448>
27. Карпенко Н.И., Каприелов С.С., Кузнецов Е.Н., Шейнфельд А.В., Безгодков И.В. Меры ползучести высокопрочных бетонов на основе МБ. *Вестник отделения строительных наук Российской академии архитектуры и строительных наук*. 2004;(8):203–214.
28. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Карпенко Н.И., Кузнецов Е.Н. О регулировании модуля упругости и ползучести высокопрочных бетонов с модификатором МБ-50С. *Бетон и железобетон*. 2003;(6):8–12.
29. Kapriyelov S.S., Sheynfeld A.V., Chilin I.A., Bezgodov I.M. Properties of Ultra-High-Strength Self-Compacting Fiber-Reinforced Concrete. In: SP-326: Durability and Sustainability of Concrete Structures (DSCS-2018). Moscow, Russia, June 6–7, 2018, pp. 60.1–60.7. <https://doi.org/10.14359/51711043>
30. Kapriyelov S., Sheynfeld A., Selyutin N. Control of heavy concrete characteristics affecting structural stiffness. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2022;18(1):24–39. <https://doi.org/10.22337/2587-9618-2022-18-1-24-39>
31. Bezgodov I., Kapriyelov S., Sheynfeld A. Relationship between strength and deformation characteristics of high-strength self-compacting concrete. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2022;18(2):175–183. <https://doi.org/10.22337/2587-9618-2022-18-2-175-183>
32. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Селютин Н.М. Самоуплотняющийся высокопрочный керамзитобетон классов В50–В65 – новое поколение легких бетонов для конструкций высотных зданий. *Строительные материалы*. 2023;(4):42–50. <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2023-812-4-42-50>
33. Шейнфельд А.В. Органоминеральные модификаторы как фактор, повышающий долговечность железобетонных конструкций. *Бетон и железобетон*. 2014;(3):16–21.
34. Каприелов С.С., Травуш В.И., Шейнфельд А.В., Карпенко Н.И., Кардунян Г.С., Киселева Ю.А., Пригоженко О.В. Модифицированные бетоны нового поколения в сооружениях ММДЦ «Москва-Сити». *Строительные материалы*. 2006;(10):8–12.

35. Каприелов С.С., Травуш В.И., Карпенко Н.И., Шейнфельд А.В., Кардумян Г.С., Киселева Ю.А., Пригоженко О.В. Модифицированные высокопрочные бетоны классов В80 и В90 в монолитных конструкциях. Строительные материалы. 2008;(3):9–13.
36. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Аль-Омаис Д., Зайцев А.С. Опыт производства и контроля качества высокопрочных бетонов на строительстве высотного комплекса «ОКО» в ММДЦ «Москва-Сити». Промышленное и гражданское строительство. 2018;(1):18–24.
37. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Аль-Омаис Д., Зайцев А.С., Амиров Р.А. Технология возведения конструкций каркасов высотных зданий из высокопрочных бетонов классов В60–В100. Вестник НИЦ «Строительство». 2022;33(2):106–121. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2\(33\)-106-121](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2(33)-106-121)
38. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Чилин И.А. Оптимизация параметров технологии бетона для обеспечения термической трещиностойкости массивных фундаментов. Строительные материалы. 2022;(10):41–51. <https://doi.org/10.31659/0585-403X-2022-807-10-41-51>

## References

1. Batrakov V.G. Modified Concrete. Theory and Practice. Moscow: Texnoproekt Publ.; 1998. (In Russian).
2. Kaprielov S.S. General patterns of formation of the structure of cement stone and concrete with the addition of ultrafine materials. Beton i Zhelezobeton = Concrete and Reinforced Concrete. 1995;(4):16–20. (In Russian).
3. Ramachandran V.S., Feldman R.F., Colepardi M., Malhotra V.M., Dolch V.L., Mehta P.K., et al. Additives in concrete. A reference guide. Moscow: Stroyizdat; 1998. (In Russian).
4. Malhotra V.V. Innovative Applications of Superplasticizers in Concrete – A Review. In: Cabrera J.G., Rivera-Villarreal R., eds. The Role of Admixtures in High Performance Concrete. Proceeding of the International Symposium. RILEM Publications; 1997, pp. 421–460.
5. Mather B. Concrete. In: Neville A.M., Malhotra V.M., eds. Adam Neville Symposium on Concrete Technology. American Concrete Institute, Canada Centre for Mineral and Energy Technology, CANMET/ACI International Symposium. Las Vegas, USA; 1995, pp. 1–9.
6. Kaprielov S.S., Sheinfeld A.V., Kardumyan G.S., Kiselyova Yu.A., Prigozhenko O.V. New Concretes and Technologies in Structures of Tall Buildings. Vysotnye Zdaniya = Tall Buildings. 2007;(5):94–101. (In Russian).
7. Kaprielov S.S., Sheinfeld A.V., Kardumyan G.S. New Modified Concretes. Moscow: Paradiz Publ.; 2010. (In Russian).
8. Sheinfeld A.V. Features of the formation of a hierarchical micro- and nanostructure of cement systems with complex organo-mineral modifiers. Beton i Zhelezobeton = Concrete and Reinforced Concrete. 2016;(2):16–21. (In Russian).
9. Kaprielov S.S., Sheinfeld A.V. Some Features of Organic-Mineral Modifiers Action on Cement Systems. Seismostoitkoe Stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii = Earthquake engineering. Constructions safety. 2017;(1):40–47. (In Russian).
10. Kaprielov S.S., Sheinfeld A.V., Dondukov V.G. Cements and additives for the production of high-strength concrete. Stroitel'nye materialy = Construction Materials. 2017;(11):4–10. (In Russian).
11. Kaprielov S.S., Sheynfeld A.V., Kardumyan G.S., Dondukov V.G. Modified high-strength fine-grained concrete with improved deformation characteristics. Beton i Zhelezobeton = Concrete and Reinforced Concrete. 2006;(2):2–7. (In Russian).
12. Kaprielov S.S., Sheynfeld A.V., Karpenko N.I., Kuznetsov E.N. Influence of the organomineral modifier MB-50C on the structure and deformability of cement stone and high-strength concrete. Beton i Zhelezobeton = Concrete and Reinforced Concrete. 2003;(3):2–7. (In Russian).
13. Kaprielov S.S., Sheinfeld A.V., Kardumyan G.S., Chilin I.A. On the selection of compositions of high-quality concretes with organo-mineral modifiers. Stroitel'nye materialy = Construction Materials. 2017;(12):58–63. (In Russian).
14. Kaprielov S.S., Sheynfeld A.V. Features of the quality control system for high-strength concrete. Stroitel'nye materialy = Construction Materials. 2012;(2):63–67. (In Russian).
15. State Standard 31914-2012. High-strength heavy-weight and fine-grane concretes for situ-casting structures. Rules for control and quality assessment. Moscow: Standartinform Publ.; 2014. (In Russian).
16. State Standard R 56178-2014. Modifiers of organic-mineral origin of MB type for concretes, mortars and dry mixes. Specifications. Moscow: Standartinform Publ.; 2015. (In Russian).

17. State Standard R 58894-2020. Silica fume for concretes and mortars. Specifications. Moscow: Standartinform Publ.; 2020. (In Russian).
18. State Standard R 59536-2021. Metakaolin for concretes and mortars. Specifications. Moscow: Standartinform Publ.; 2021. (In Russian).
19. State Standard R 59535-2021. Heavy-weight and fine-grained dispersed-reinforced concretes with steel fiber. Specifications. Moscow: Standartinform Publ.; 2021. (In Russian).
20. State Standard R 59714-2021. Self-compacting concrete mixtures. Specifications. Moscow: Russian Standardization Institute; 2021. (In Russian).
21. State Standard R 59715-2022. Self-compacting fresh concrete. Methods of testing. Moscow: Russian Standardization Institute; 2022. (In Russian).
22. SP 63.13330.2018. Concrete and reinforced concrete structures. General provisions. Moscow: Standartinform Publ.; 2019. (In Russian).
23. SP 311.1325800.2017. High strength concrete and reinforced high strength concrete structures. Design guideline. Moscow: Standartinform Publ.; 2018. (In Russian).
24. SP 28.13330.2017. Protection against corrosion of construction. Updated version of SNiP 2.03.11-85 [internet]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/456069587> (In Russian).
25. SP 412.1325800.2018. Design of foundations of high-rise buildings and structures. Work rules. Moscow: Standartinform Publ.; 2019. (In Russian).
26. SP 250.1325800.2016. Building and structures. Protection against groundwater [internet]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200138448> (In Russian).
27. *Karpenko N.I., Kapriylov S.S., Kuznetsov E.N., Sheinfeld A.V., Bezgodov I.M.* Creep measures for high-strength concretes based on MB. *Vestnik otdeleniya stroitel'nykh nauk Rossiiskoi akademii arkhitektury i stroitel'nykh nauk.* 2004;(8):203–214. (In Russian).
28. *Kapriylov S.S., Sheinfeld A.V., Karpenko N.I., Kuznetsov E.N.* On the regulation of the modulus of elasticity and creep of high-strength concrete with the MB-50C modifier. *Beton i Zhelezobeton = Concrete and Reinforced Concrete.* 2003;(6):8–12. (In Russian).
29. *Kapriylov S.S., Sheynfeld A.V., Chilin I.A., Bezgodov I.M.* Properties of Ultra-High-Strength Self-Compacting Fiber-Reinforced Concrete. In: SP-326: Durability and Sustainability of Concrete Structures (DSCS-2018). Moscow, Russia, June 6-7, 2018, pp. 60.1–60.7. <https://doi.org/10.14359/51711043>
30. *Kapriylov S., Sheynfeld A., Selyutin N.* Control of heavy concrete characteristics affecting structural stiffness. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering.* 2022;18(1):24–39. <https://doi.org/10.22337/2587-9618-2022-18-1-24-39>
31. *Bezgodov I., Kapriylov S., Sheynfeld A.* Relationship between strength and deformation characteristics of high-strength self-compacting concrete. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering.* 2022;18(2):175–183. <https://doi.org/10.22337/2587-9618-2022-18-2-175-183>
32. *Kapriylov S.S., Sheynfeld A.V., Selyutin N.M.* Self-compacting high-strength expanded clay concrete of classes B50–B65 – a new generation of expanded clay concrete for structures of high-rise buildings. *Stroitel'nye materialy = Construction materials.* 2023;(4):42–50. (In Russian). <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2023-812-4-42-50>
33. *Sheynfeld A.V.* Organomineral modifiers as a factor that increases the durability of reinforced concrete structures. *Beton i Zhelezobeton = Concrete and Reinforced Concrete.* 2014;(3):16–21. (In Russian).
34. *Kapriylov S.S., Travush V.I., Sheinfeld A.V., Karpenko N.I., Kardumyan G.S., Kiselyova Yu.A., Prigozhenko O.V.* Modified Concretes of a New Generation in Buildings of «Moscow city». *Stroitel'nye materialy = Construction Materials.* 2006;(10):8–12. (In Russian).
35. *Kapriylov S.S., Travush V.I., Karpenko N.I., Sheinfeld A.V., Kardumyan G.S., Kiseleva Yu.A., Prigozhenko O.V.* Modified high-strength concretes of classes B80 and B90 in monolithic structures. *Stroitel'nye materialy = Construction Materials.* 2008;(3):9–13. (In Russian).
36. *Kapriylov S.S., Sheinfeld A.V., Al Omais D., Zaitsev A.S.* Experience in the Production and Quality Control of High-Strength Concrete in Construction of Tall Buildings Complex «УКО» in “Moscow City» Business Center. *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo = Industrial And Civil Engineering.* 2018;(1):18–24. (In Russian).
37. *Kapriylov S.S., Sheinfeld A.V., Al Omais Dzh., Zaitsev A.S., Amirov R.A.* A technology of erecting high-rise building frame structures using B60-B100 classes high-strength concretes. *Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction.* 2022;33(2):106–121. (In Russian). [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2\(33\)-106-121](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2(33)-106-121)

**38. Kapriellov S.S., Sheinfeld A.V., Chilin I.A.** Optimization of technology parameters to ensure thermal crack resistance of massive foundations. *Stroitel' nye materialy = Construction Materials*. 2022;(10):41–51. (In Russian). <https://doi.org/10.31659/0585-403X-2022-807-10-41-51>

## Информация об авторах / Information about the authors

**Семен Суменович Каприелов**, д-р техн. наук, заведующий лабораторией № 16 НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва  
e-mail: kapriellov@masterbeton-mb.ru  
тел.: +7 (499) 171-05-73

**Semyon S. Kapriellov**, Dr. Sci. (Engineering), Head of Laboratory No. 16, Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow  
e-mail: kapriellov@masterbeton-mb.ru  
tel.: +7 (499) 171-05-73

**Андрей Владимирович Шейнфельд**✉, д-р техн. наук, заместитель заведующего лабораторией № 16 НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва  
e-mail: sheynfeld@masterbeton-mb.ru  
тел.: +7 (499) 174-76-35

**Andrey V. Sheynfeld**✉, Dr. Sci. (Engineering), Deputy Head of Laboratory No. 16, Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow  
e-mail: sheynfeld@masterbeton-mb.ru  
tel.: +7 (499) 174-76-35

**Игорь Анатольевич Чилин**, инженер, научный сотрудник лаборатории № 16 НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва  
e-mail: chilin@masterbeton-mb.ru  
тел.: +7 (499) 174-76-06

**Igor A. Chilin**, Engineer, Researcher of Laboratory No. 16, Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow  
e-mail: chilin@masterbeton-mb.ru  
tel.: +7 (499) 174-76-06

**Виктор Геннадиевич Дондуков**, инженер, научный сотрудник лаборатории № 16 НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва  
e-mail: dondukov@masterbeton-mb.ru  
тел.: +7 (499) 174-76-06

**Viktor G. Dondukov**, Engineer, Researcher of Laboratory No. 16, Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow  
e-mail: dondukov@masterbeton-mb.ru  
tel.: +7 (499) 174-76-06

**Никита Михайлович Селютин**, инженер, научный сотрудник лаборатории № 16 НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва  
e-mail: selyutin@masterbeton-mb.ru  
тел.: +7 (499) 174-76-06

**Nikita M. Selyutin**, Engineer, Researcher of Laboratory No. 16, Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow  
e-mail: selyutin@masterbeton-mb.ru  
tel.: +7 (499) 174-76-06

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author