

УДК 666.97.03

[https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-6\(631\)-15-27](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-6(631)-15-27)

**С.А. АМБАРЦУМЯН¹, Е.Ю. ЕЛКИНА², Е.Ю. ВОРОБЬЕВА²,
Л.А. КУЛИЕВА², И.А. ЧИЛИН^{3,✉}, Н.М. СЕЛЮТИН³**

¹ ООО «Группа Компаний «МонАрх»», Ленинградский проспект, д. 31А, стр. 1, г. Москва, 125284, Российская Федерация

² ООО «Комбинат Инновационных Технологий-МонАрх», Внуково, кв-л 48А, д. 2, стр. 10, вн. тер. г. муниципальный округ, г. Москва, 108809, Российская Федерация

³ 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

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЦЕПТУРНЫХ И ТЕМПЕРАТУРНО– ВРЕМЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КРУПНОГАБАРИТНЫХ МОДУЛЕЙ

Аннотация

Введение. Производство крупногабаритных модулей сопряжено с технологическими сложностями, такими как риск образования трещин при термообработке, неоднородность структуры бетона и необходимость достижения высокой ранней прочности для распалубки и транспортировки.

Цель. Оптимизация рецептурных параметров технологии бетонирования крупногабаритных панелей с учетом обеспечения требуемых характеристик как тяжелого, так и легкого бетонов в период до 5 суток с момента их изготовления при заданном режиме тепловлажностной обработки.

Материалы и методы. Рецептурная оптимизация: подбор и модификация состава бетона с использованием современных химических добавок (суперпластификаторов, ускорителей твердения), микрокремнезема и золы-уноса для улучшения удобоукладываемости, прочностных показателей и плотности структуры. Бетонирование конструкций является ключевым переделом всей технологической линии, так как является наиболее продолжительной стадией, состоящей из последовательного выполнения определенных процессов. В процессе подбора материалов было испытано большое количество инертных и вяжущих материалов, а также различных суперпластификаторов. Весьма значительный перечень производителей и поставщиков позволил произвести отбор партий проб

с последующим получением результатов испытаний и установлением соответствующих поставщиков.

Результаты. Разработана оптимизированная рецептура высокопрочной и облегченной бетонной смеси, обеспечивающей прочность на сжатие не менее 70 % от проектной в период до 5 суток с момента изготовления, снижающая вес конструкции.

Выводы. Комплексная оптимизация рецептурных и температурно-временных параметров позволяет существенно интенсифицировать технологический цикл производства железобетонных элементов крупногабаритных модулей без ущерба для их качества и долговечности. Внедрение предложенных решений обеспечивает снижение энергозатрат, сокращение продолжительности производственного цикла и повышение надежности готовых конструкций.

Ключевые слова: крупногабаритный модуль, производство панелей, прочность, модуль упругости, состав бетона, температура, себестоимость

Для цитирования: Амбарцумян С.А., Елкина Е.Ю., Воробьева Е.Ю., Кулиева Л.А., Чилин И.А., Селютин Н.М. Оптимизация рецептурных и температурно-временных параметров технологии производства железобетонных элементов крупногабаритных модулей // *Бетон и железобетон*. 2025. № 6 (631). С. 15–27. DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-6\(631\)-15-27](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-6(631)-15-27). EDN: UWQNSN.

Вклад авторов

Амбарцумян С.А., Чилин И.А., Селютин Н.М. – концепция и постановка цели исследования; разработка методологии и планирование эксперимента.

Елкина Е.Ю., Воробьева Е.Ю., Кулиева Л.А., Чилин И.А., Селютин Н.М. – проведение экспериментальной части работы: подготовка образцов, подбор и тестирование рецептур бетонных смесей; сбор и курирование данных в ходе лабораторных исследований.

Елкина Е.Ю., Воробьева Е.Ю., Кулиева Л.А. – визуализация данных (построение графиков, диаграмм); написание и редактирование разделов, связанных с методами и результатами экспериментов; проведение статистического анализа данных.

Все авторы принимали участие в обсуждении результатов, рецензировании и редактировании финальной версии рукописи, а также одобрили рукопись для публикации.

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 26.08.2025

Поступила после рецензирования 04.10.2025

Принята к публикации 09.10.2025

**S.A. AMBARTSUMYAN¹, E.Yu. ELKINA², E.Yu. VOROBYOVA²,
L.A. KULIEVA², I.A. CHILIN^{3,✉}, N.M. SELYUTIN³**

¹ "Monarch Group Companies Ltd", Leningradsky prospekt, 31A, bld. 1, Moscow, 125284, Russian Federation

² Combine of Innovative Technologies-MonArch LLC, Vnukovo, block 48A, 2, bld. 10, municipal district intracity territory, Moscow, 108809, Russian Federation

³ 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

OPTIMIZATION OF FORMULARY AND TEMPERATURE— TIME PARAMETERS OF THE PRODUCTION TECHNOLOGY OF REINFORCED CONCRETE ELEMENTS OF LARGE—SIZED MODULES

Abstract

Introduction. The production of large-sized modules is fraught with technological difficulties, such as the risk of cracking during heat treatment, the heterogeneity of the concrete structure and the need to achieve high early strength for demoulding and transportation.

Aim. Optimization of the formulation parameters of the technology of concreting of the large-sized panels, taking into account the provision of the required characteristics of both heavy and light concrete for up to 5 days from the moment of their manufacture under a given heat and humidity treatment regime.

Materials and methods. Formulation optimization: selection and modification of the concrete composition using modern chemical additives (superplasticizers, hardening accelerators), microsilica and fly ash to improve workability, strength and density of the structure. Concreting of the structures is a key stage of the entire production line, as it is the longest stage, consisting of the sequential execution of certain processes. During the selection of materials, a large number of inert and binding materials, as well as various superplasticizers, were tested. A very significant list of manufacturers and suppliers made it possible to select batches of samples, followed by obtaining test results and identifying the appropriate suppliers.

Results. An optimized formulation of a high-strength and lightweight concrete mix has been developed, providing compressive strength of at least 70 % of the design strength for up to 5 days from the moment of manufacture, reducing the weight of the structure.

Conclusions. Comprehensive optimization of prescription and temperature-time parameters makes it possible to significantly intensify the technological cycle of production of reinforced concrete elements of large-sized modules without compromising their quality and durability. The implementation of the proposed solutions ensures a reduction in energy consumption, a reduction in the duration of the production cycle and an increase in the reliability of finished structures.

Keywords: large-size module, panel production, strength, modulus of elasticity, concrete composition, temperature, cost

For citation: Ambartsumyan S.A., Elkina E.Yu., Vorobyova E.Yu., Kulieva L.A., Chilin I.A., Selyutin N.M. Optimization of formulary and temperature-time parameters of the production technology of reinforced concrete elements of large-sized modules. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2025, no. 6 (631), pp. 15–27. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-6\(631\)-15-27](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-6(631)-15-27). EDN: UWQNSN.

Authors contribution statement

Ambartsumyan S.A., Chilin I.A., Selyutin N.M. – the concept and setting of the research goal; development of methodology and planning of the experiment.

Elkina E.Yu., Vorobyova E.Yu., Kulieva L.A., Chilin I.A., Selyutin N.M. – the experimental part of the work conducting: preparation of samples, selection and testing of formulations of concrete mixtures; collection and curation of data during laboratory research.

Yolkina E.Yu., Vorobyova E.Yu., Kulieva L.A. – data visualization (diagrams plotting); sections related to experimental methods and results writing and editing; statistical data analysis conducting.

All the authors participated in the discussion of the results, reviewing and editing the final version of the manuscript, and also approved the manuscript for publication.

Funding

No funding support was obtained for the research.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 26.08.2025

Revised 04.10.2025

Accepted 09.10.2025

Введение

Как известно, одним из путей ускорения строительства зданий и сооружений, снижения себестоимости и повышения качества является индустриализация и унификация конструктивных решений с соответствующей оптимизацией производственных процессов.

В области жилищного строительства наиболее выразительным и во многих случаях эффективным примером ускоренного возведения зданий, включая многоэтажные, является крупномодульное домостроение.

Особого внимания и признания заслуживает опыт компании «МонАрх», которая является как инициатором проектирования и возведения домов из железобетонных крупногабаритных модулей (КГМ) нового поколения, так и разработчиком нормативной базы – СП 501.1325800.2021 [1], определяющей требования к габаритам, конструкциям, материалам и производству работ. Унификация конструктивных решений, предусмотренная вышеуказанным нормативным документом, оставляет возможность варьирования объемно-планировочными характеристиками КГМ, что позволяет придавать зданиям разнообразную архитектурную выразительность и реализуется в разных проектах [2].

Вместе с тем особенностью КГМ является высокая степень заводской готовности, достигающая до уровня 95–98 % [1, 3], основанная на условии, что модули должны быть с внутренней чистовой отделкой, установленными столярными изделиями и инженерными коммуникациями, а прочностные и жесткостные характеристики конструкций к моменту доставки на объект строительства и монтажа должны быть на уровне расчетных значений. Это требует использования высококачественных бетонов и обеспечения низкой деформативности конструкций, которые определяют как эксплуатационную надежность объемных конструкций, так и технологичность при монтаже.

Производство КГМ осуществляется на комбинате «КИТ-МонАрх», оснащенном современными технологическими линиями с высоким уровнем автоматизации.

Иллюстрация основных процессов бетонирования панелей наружных и внутренних стен и плит перекрытий, а также сборки модулей и монтажа на стройплощадке приведена на рис. 1.

Алгоритм производства заключается в выполнении и координации около 19-ти технологических процессов и операций [4], среди которых бетонирование железобетонных элементов (приготовление бетонной смеси, транспортировка и укладка ее в форму, выдерживание и заглаживание поверхности, тепловлажностная обработка и распалубка панелей) является наиболее протяженным по времени.

Учитывая мощность комбината «КИТ-МонАрх» и актуальную плановую производительность по вы-

пуску готовых КГМ, совокупность перечисленных технологических процессов должна обеспечить достижение бетоном конструкций расчетных характеристик к моменту сборки элементов модулей в раннем возрасте, то есть не позднее, чем на пятые сутки. При этом, несмотря на возможные изменения температурно-временных факторов технологии, должна быть обеспечена высокая однородность свойств бетона, которая оценивается по коэффициенту вариации прочности.

Исходными данными для оптимизации технологии являлись следующие условия:

- тепловлажностная обработка (ТВО) изделий по режиму 1,5 + 7,5 + 1 (часа) при температуре изотермической выдержки 38–45 °С, который зависит от модуля поверхности (типоразмеров) изделий, требуемая распалубочная прочность бетона при сжатии (R_t) должна быть не ниже 25 МПа;

- к моменту подачи на укрупнительную сборку, в возрасте до 5 сут после ТВО, начальный модуль упругости (E_p) должен быть не менее 27 ГПа;

- температура окружающей среды в зоне производства работ, соответственно температура бетонной смеси, оборудования, поддонов, форм и оснастки, в зависимости климатического сезона изменяется в широком диапазоне – от 10 до 25 °С.

- оптимизация параметров технологии должна осуществляться на примере производства конструкций как из тяжелого, так и легкого бетонов.

Предварительный анализ показал, что вышеуказанные значения прочности и модуля упругости целесообразно обеспечить не за счет энергозатратной интенсификации режима ТВО или регулирования температуры бетонной смеси, оборудования и оснастки, а путем повышения прочностного потенциала бетонных смесей с гарантией достижения требуемых параметров в ранние сроки, независимо от перепадов температуры.

Объектом исследований являлись бетоны из производственных партий бетонных смесей, твердевшие в производственных температурно-временных условиях.

Целью работы являлась оптимизация рецептурных параметров технологии бетонирования крупногабаритных панелей с учетом обеспечения требуемых характеристик как тяжелого, так и легкого бетонов в период до 5 суток с момента их изготовления при заданном режиме ТВО.

Для этого решались следующие задачи:

1. Подбирались и воспроизводились в условиях массового производства составы самоуплотняющихся бетонных смесей, обеспечивающих достижение распалубочной и требуемых значений ранней прочности и начального модуля упругости бетона при выдерживании конструкций в разных температурно-влажностных условиях в летний и зимний периоды.

2. Оценивалась однородность свойств бетонов разного состава, в том числе приготовленных на разных заполнителях и с водной суспензией – продуктом рециклинга бетона, путем анализа значений коэффициента вариации прочности бетона в конструкциях, производимых в летний и зимний периоды.

3. Оценивалась экономическая эффективность путем анализа себестоимости бетонов разных составов в условиях массового производства конструкций.

Характеристики материалов и методы испытаний

Материалы для производства бетонов

- Цемент:
 - портландцемент марки ЦЕМ I 52,5 (ГОСТ 31108-2020 [5], ГОСТ 30515-2013 [6], ООО «Хайдельберг-Цемент Рус»);
 - портландцемент марки ЦЕМ II А-Ш 52,5Н (ГОСТ 31108-2020 [5], ООО «ХайдельбергЦемент Рус»).
- Песок с $M_k = 2,0-2,5$ (ГОСТ 8736-2014 [7], АО «Богаевский карьер»).
- Крупный заполнитель:
 - щебень гранитный фракцией 5–10 мм (ГОСТ 8267-93 [8], месторождение – карьер «Ляскеля», Республика Карелия);
 - щебень из гравия из плотной породы фракцией

3–10 мм (ГОСТ 8269.0-97 [9], АО «Богаевский карьер»);
 – гравий керамзитовый фракцией 5–10 мм, марки по прочности П-150, насыпной плотностью $M500 \text{ кг/м}^3$ (ГОСТ 32497-2013 [10], ООО «Алексинский керамзитовый завод»).

- Модификатор бетона марки МБ2-50С (ГОСТ Р 56178-2014 [11], ТУ 5743-083-46854090-98 [12], ООО «Предприятие МБ»).
- Минеральный порошок МП-1 (ГОСТ Р 52129-2003 [13], ООО «Владимирское карьероуправление»).
- Суперпластификатор марки SikaViskoCrete-240 HE PLUS (ТУ 20.59.59-141-13613997-2025 [14], ГОСТ 24211-2008 [15], ООО «Зика»).
- Суперпластификатор марки Полипласт S (ТУ 20.59.59-098-58042865-2022 [16], ГОСТ 24211-2008 [15], ООО «Полипласт Новомосковск»).
- Цементно-водная суспензия 30%-ной концентрации, содержащая в качестве твердой фазы смесь вышеуказанных цемента и модификатора, получаемая путем контролируемого рециклинга – отмывки остатков бетонной смеси из бетоносмесителей и другого оборудования, соответствующая документации на технологические процессы производства бетонных смесей – «Технологической карте № 1 ИЛ/КИТ».
- Вода затворения (ГОСТ 23732-2011 [17]).

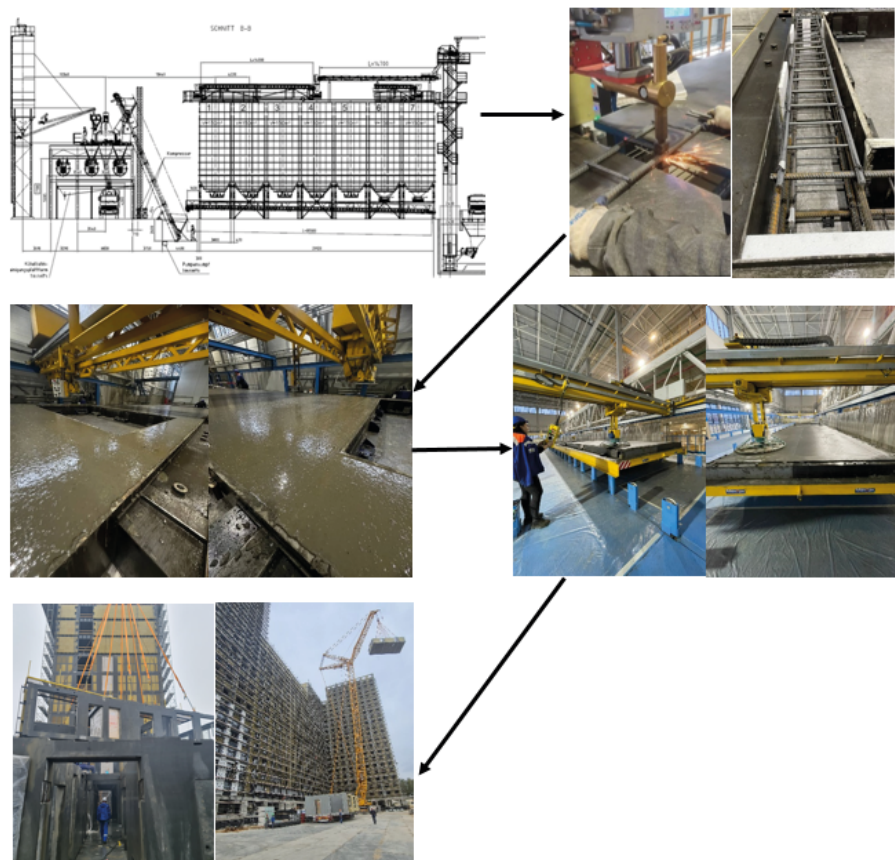


Рис. 1. Общая схема технологической линии производства
Fig. 1. General scheme of the technological production line

Составы бетонных смесей и приготовление

С использованием вышеуказанных материалов по составам с дозировками основных компонентов (табл. 1) готовились производственные партии бетонных смесей, которые сгруппированы в таблице по виду крупного заполнителя. Рабочие составы смесей отличались дозировками цемента, модификатора МБ, которые оптимизированы с учетом коэффициентов вариации прочности на сжатие.

Приготовление бетонных смесей осуществлялось в смесителе принудительного действия емкостью 2,5 м³, погрешность дозирования вяжущего, воды, добавок составляет ± 1 % по массе, для заполнителей составляет ± 2 %, что находится в пределах допусков, предусмотренных ГОСТ 27006-2019 [18].

Формование конструкций осуществлялось в экспериментальном цехе в зимний и летний периоды при разной температуре. Общее количество экспериментальных конструкций и партий бетонных смесей, подвергнутых испытаниям, составило более 2 570 единиц, а общий объем бетонной смеси составил 30 000 м³.

Методы испытаний бетонов

Из партий бетонных смесей были изготовлены образцы-кубы размером 100 × 100 × 100 мм для определения предела прочности при сжатии в соответствии с ГОСТ 10180-2012 [19] и призмы 100 × 100 × 400 мм для определения модуля упругости в соответствии с ГОСТ 24452-2023 [20].

Испытания по определению прочности проводили после ТВО, а также в возрасте 5 и 28 суток после ТВО. Испытания по определению модуля упругости проводили выборочно в возрасте 5 и 28 суток.

Определение прочности бетона непосредственно в конструкциях производилось, согласно ГОСТ 22690-2015 [21], комплексом неразрушающих методов:

- упругого отскока, с использованием склерометра Silver SCHMIDT OS 8200;
- ультразвуковым, с использованием тестера UK1401.

Результаты испытаний и анализ

О влиянии дозировок и качества компонентов на свойства бетона

В соответствии с поставленными задачами определяли прочность при сжатии (R), плотность (γ) и модуль упругости (E_b) после ТВО, в промежуточном и проектном возрастах, в зависимости от состава бетонных смесей (дозировок основных компонентов и вида крупного заполнителя) и температуры в цехе, в зоне производства работ. Статистическая обработка результатов испытаний на прочность в летний (с апреля по октябрь) и зимний (с ноября по май) периоды позволила оценить однородность свойств бетонов, которая выражалась коэффициентом вариации прочности на сжатие в зависимости от темпера-

туры в момент бетонирования, дозировок органо-минерального модификатора, а также рециклинговой воды, применяемой совместно с водой затворения.

Результаты испытаний и анализ приводятся ниже.

Данные наблюдений в течение года за изменением температуры бетонных смесей на месте формирования свидетельствуют об изменении этого параметра в зависимости от климатического сезона (рис. 2). Предельная разность температуры в зимний и летний периоды достигает 15 °С.

В табл. 1 приведены данные о свойствах бетонов, приготовленных с использованием разных заполнителей и с разными дозировками основных ценообразующих компонентов: цемента, добавок, керамзитового гравия. Дозировки компонентов соответствовали номинальным составам бетонных смесей, которые назначены с учетом обеспечения заданных характеристик бетонов в ранние сроки: после ТВО прочность на сжатие не менее 25 МПа, через 5 сут после ТВО прочность не менее 55,9 МПа, модуль упругости не менее 27 ГПа. Бетонные смеси имели расплыв конуса от 60 до 70 см, что соответствовало маркам РК1-РК2 для самоуплотняющихся смесей.

Состав бетонной смеси № 1.1, приготовленный на гранитном щебне, до начала экспериментальных работ являлся номинальным и использовался изначально при производстве изделий, поэтому принят в качестве контрольного.

Из полученных данных следует, что:

- при дозировке цемента 470–480 кг/м³ и использовании рециклинговой цементно-водной суспензии дозировка модификатора МБ2-50С может быть снижена от 120 до 80 кг/м³, то есть на 30 %, без негативного влияния на требуемую прочность и модуль упругости;
- при использовании минерального порошка МП-1 в качестве микрозаполнителя, при условии обеспечения требуемой прочности, дозировка цемента может быть сокращена от 480 до 440 кг/м³, то есть на 8 %, а модификатора – от 120 до 90 кг/м³, то есть на 25 %;
- сокращение дозировок наиболее значимых ценообразующих компонентов в бетонной смеси – цемента и модификатора МБ2-50С – обеспечивает снижение себестоимости бетона на 4–25 %;
- замена гранитного щебня на менее прочный гравий из плотных пород практически не влияет на требуемые (нормируемые) характеристики (после ТВО и ТВО + 5 сут), но способствует снижению себестоимости бетонных смесей на 13 %.

Обеспечение требуемых характеристик бетона в раннем возрасте (после ТВО и ТВО + 5 сут) за счет рецептурных параметров по-существу сводится к повышению прочностного потенциала бетона. Об этом свидетельствуют приведенные в табл. 1 данные о прочностях в возрасте 28 сут, из которых следует, что пределы прочности при сжатии со временем повышаются, достигая величин 76–87 МПа, что

при значениях коэффициента требуемой прочности $K_t = 1,14$ (согласно ГОСТ 31914-2012 [22]) соответствует классам В67–В73.

Значимый прирост прочностных характеристик и модуля упругости высокопрочных бетонов, к которым относятся исследованные бетоны, является характерной закономерностью, что отмечено как в известных публикациях [23, 24], так и в EN 1992-1-1 [25].

Наиболее эффективной с точки зрения себестоимости представляется смесь № 2.4, приготовленная на цементе ЦЕМ II/A-Ш 52,5Н без модификатора МБ2-50С с повышенным расходом цемента. Снижение себестоимости в сравнении со смесями на гранитном щебне доходит до 21 %, а на гравии, который используется в настоящее время при производстве панелей, – до 8 %. При этом, несмотря на пониженные прочностные свойства и модуль упругости, смесь

обеспечивает достижение требуемых характеристик бетона (пороговых значений, заданных температурно-временными факторами технологии).

Особого внимания заслуживают результаты испытаний легких бетонов на керамзитовом гравии (составы № 3.1 и 3.2.): при плотности 1950–1980 кг/м³ обеспечиваются прочностные параметры как после ТВО, так и в более поздние сроки, аналогичные свойствам тяжелых бетонов, а модуль упругости – на уровне не ниже требуемого порогового значения.

Несмотря на повышенную в сравнении с тяжелыми бетонами составов № 2.1–2.4 себестоимость (которая при массовом производстве должна уменьшаться), эти смеси могут оказаться эффективными из-за пониженной до 20 % массы панелей КГМ, изготовленных из легких бетонов.

Таблица 1

Дозировки основных компонентов бетонных смесей, свойства бетонов и себестоимость относительная в %

Table 1

Dosages of the main components of concrete mixtures, concrete properties and relative cost in %

№ состава	Расход основных компонентов, кг/м ³							Плотность	Свойства бетонов			Модуль упругости после ТВО + 5 сут	Себестоимость относительная, %
	Цемент	МБ2-50С	МП-1	СП Sika VC	СП Полипласт S	Вода	Рециклинг суспензия		Прочность на сжатие, МПа				
									После ТВО	После ТВО + 5 сут	После 28 сут норм. тв.		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1. На гранитном щебне													
1.1	480	120	–	6,3	–	180	–	2380	45,6	65,7	82,6	39,5	100
1.2	480	100	–	6,3	–	180	–	2370	43,8	64,8	79,8	38,8	96
2. На щебне из гравия из плотной породы													
2.1	480	100	–	6,3	–	180	–	2370	44,2	68,2	80,4	39,1	87
2.2	480	80	–	5,4	–	180	–	2365	41,3	64,2	76,4	39,7	84
2.3	470	80	–	5,2	–	126	54	2360	43,4	63,1	77,6	39,8	83
2.4	570*)	–	–	4,56	–	126	54	2345	32,5	54,4	74,9	37,9	75
3. На керамзитовом гравии													
3.1	500	100	–	–	8,5	170	–	1980	34,8	44,2	69,2	28,5	97**)
3.2	440	90	80	–	7,8	175	–	1950	35,3	45,6	65,3	27,8	96**)

Примечания: *) цемент марки ЦЕМ II/A-Ш 52,5Н; **) себестоимость кубометра бетонных смесей на керамзитовом гравии рассчитана без учета массового производства КГМ из легких бетонов, в отличие от расчета себестоимости тяжелых бетонов, применяемых в настоящее время в поточно-агрегатном производстве.

О влиянии цементной суспензии – продукта рециклинга – на свойства бетонной смеси и бетона

Благодаря использованию совместно с водой за-творения продукта рециклинга остатков бетонной смеси – цементно-водной суспензии 30%-ной кон-центрации, получаемой на производстве, при соот-ветствующем снижении расхода цемента (состав № 2.3, табл. 1) также возможно снижение себесто-имости. Как известно, снижение расхода цемента на единицу объема бетона (производство малоце-ментных бетонов) является одним из путей умень-шения выбросов CO₂. Подсчитано, что таким путем может быть получено снижение выбросов CO₂ допол-нительно на 5 % [26].

Таким образом, использование в качестве вторич-ного сырья продукта рециклинга остатков бетонных смесей может быть рекомендовано для производства всей номенклатуры бетонов.

Об однородности прочностных свойств бетонов в зимний и летний периоды

Вышеизложенная информация о влиянии каче-ства материалов-компонентов бетонов и составов бе-тонных смесей на требуемые характеристики бетонов нуждалась в подтверждении путем анализа фактиче-ских данных, полученных в производственных усло-виях в течение длительного времени в летний и зим-ний климатические периоды.

Проанализирована информация о колебаниях температуры бетонной смеси при укладке в зим-

ний и летний периоды. Результаты, представленные на рис. 2 и 3, свидетельствуют о том, что диапазон колебания температуры может достигать 15 °С. В те-чение года изменяются и другие температурно-влаж-ностные параметры технологического процесса.

На рис. 3 приведены результаты наблюдений за некоторыми технологическими параметрами, за-висящими от климатического периода производства изделий в цехе, – температурой окружающей среды, поддонов (паллет) и относительной влажности.

Выявлено, что в зависимости от климатическо-го периода температура бетонных смесей, оснастки и оборудования (форм) изменяется.

Предстояло оценить изменчивость прочностных свойств бетонов, приготовленных по составам, при-веденным в табл. 1.

На рис. 4 приведены среднемесячные статисти-ческие данные о пределах прочности бетонов при сжатии непосредственно в конструкциях комплексом неразрушающих методов за весь период наблюдений в возрасте 5 суток после ТВО (возраст соответствует отгрузке КГМ на монтаж), а также в возрасте 28 суток после ТВО (в проектном возрасте).

Из полученных данных следует, что все составы, приведенные в табл. 1, обеспечивают достижение требуемой прочности бетона как в момент транспор-тировки панелей на укрупненную сборку в проектном возрасте независимо от температурно-влажност-ных условий (рис. 4а), так и в проектном возрасте (рис. 4б).

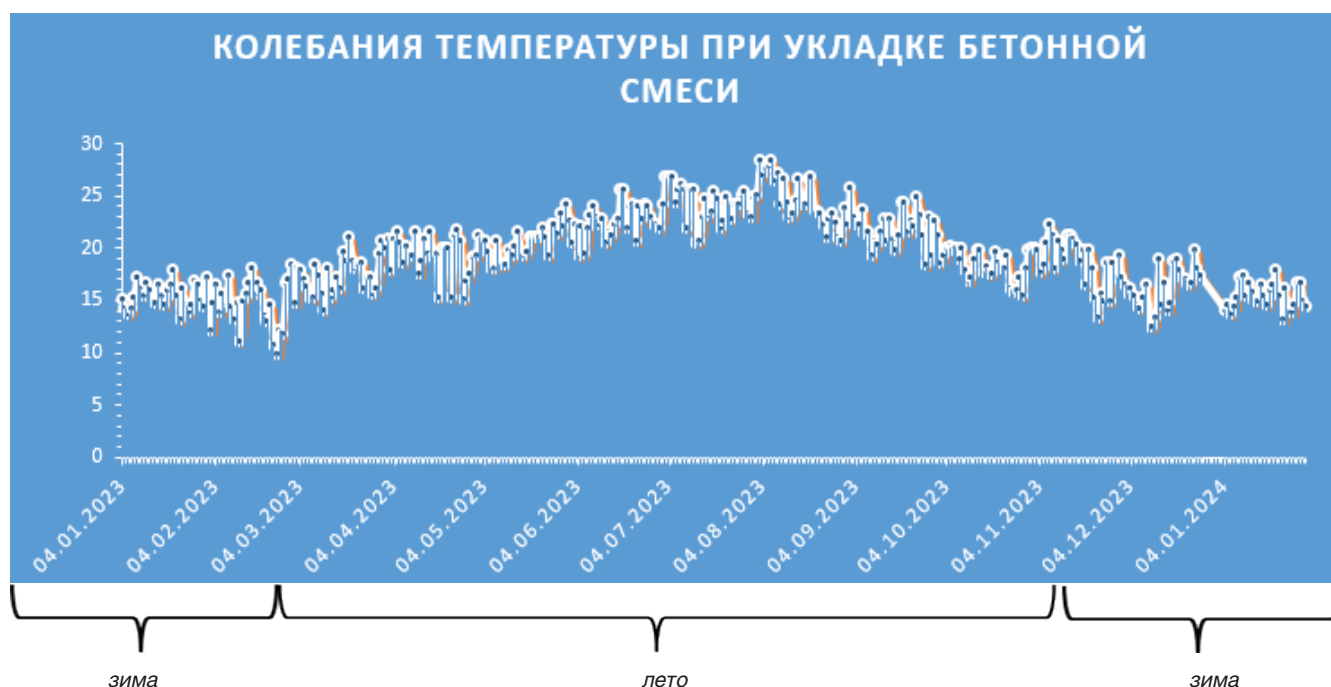


Рис. 2. Колебания температуры при укладке бетонной смеси
Fig. 2. Temperature fluctuations during the laying of the concrete mix

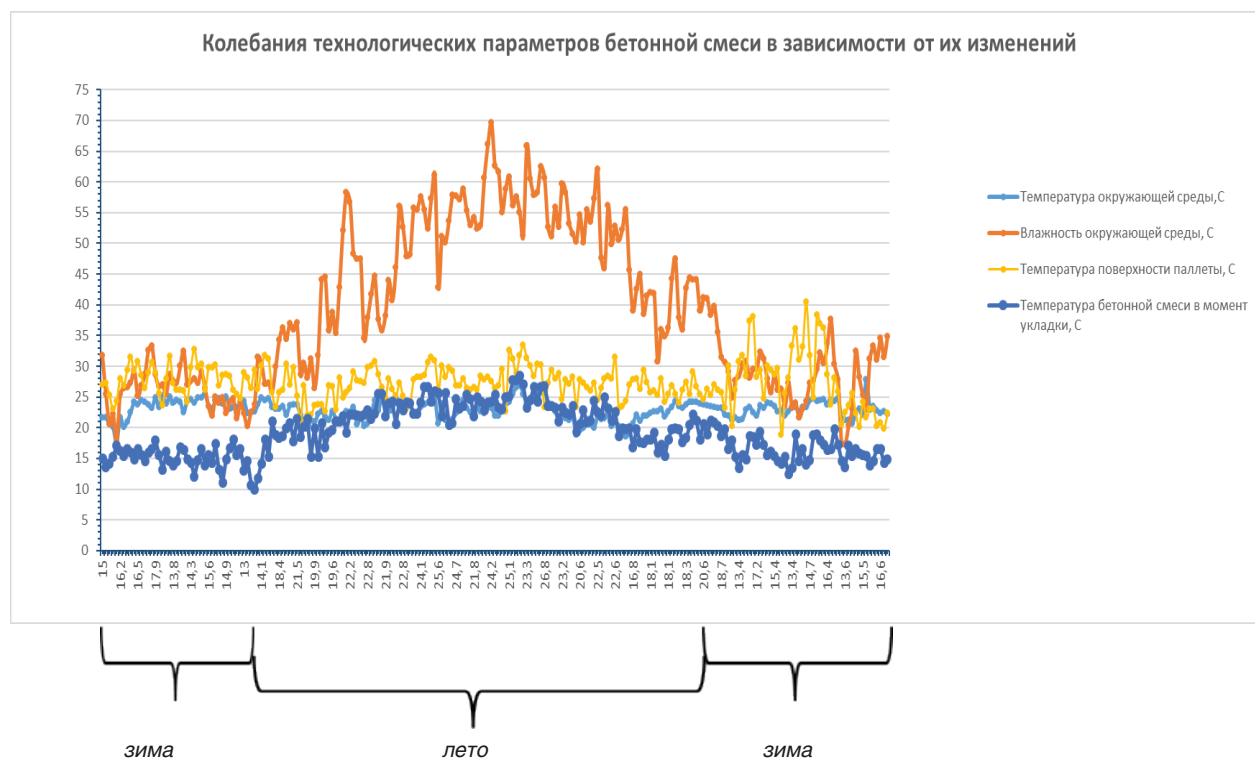


Рис. 3. Колебания параметров технологического процесса в течение года
Fig. 3. Fluctuations in the parameters of the technological process during the year

Фактические значения ежемесячных коэффициентов вариации, рассчитанные на основании данных о прочности за период наблюдений (12 месяцев), оказались в диапазоне 3,4–10,6 %, при среднегодовом значении 6,15. Это свидетельствует о том, что все бетоны, приготовленные по номинальным составам № 1.1–2.4 (табл. 1), независимо от температурных условий производства обеспечивают достижение требуемой характеристики по прочности.

Статистические данные по коэффициенту вариации на анализируемый период времени [22] показаны на рис. 5.

Выводы

На действующих технологических линиях предприятия ООО «Комбинат Инновационных Технологий-МонАрх» удалось за счет оптимизации только рецептурных параметров технологии уменьшить себестоимость бетонных смесей при обеспечении требуемого качества бетона. Достигнуто следующее:

1. Оптимизирован выбор крупного заполнителя: гранитный щебень фракцией 5–10 мм заменен на более дешевый гравий фракцией 3–10 мм, что позволило сократить себестоимость до 13 %.

С применением гравия фракцией 3–10 мм оптимизированы дозировки и соотношения других компонентов в составах бетонных смесей, в частности: расход органо-минерального модификатора МБ2-50С сокращен от 120 до 80 кг/м³, расход цемента сокращен от 480 до 470 кг/м³.

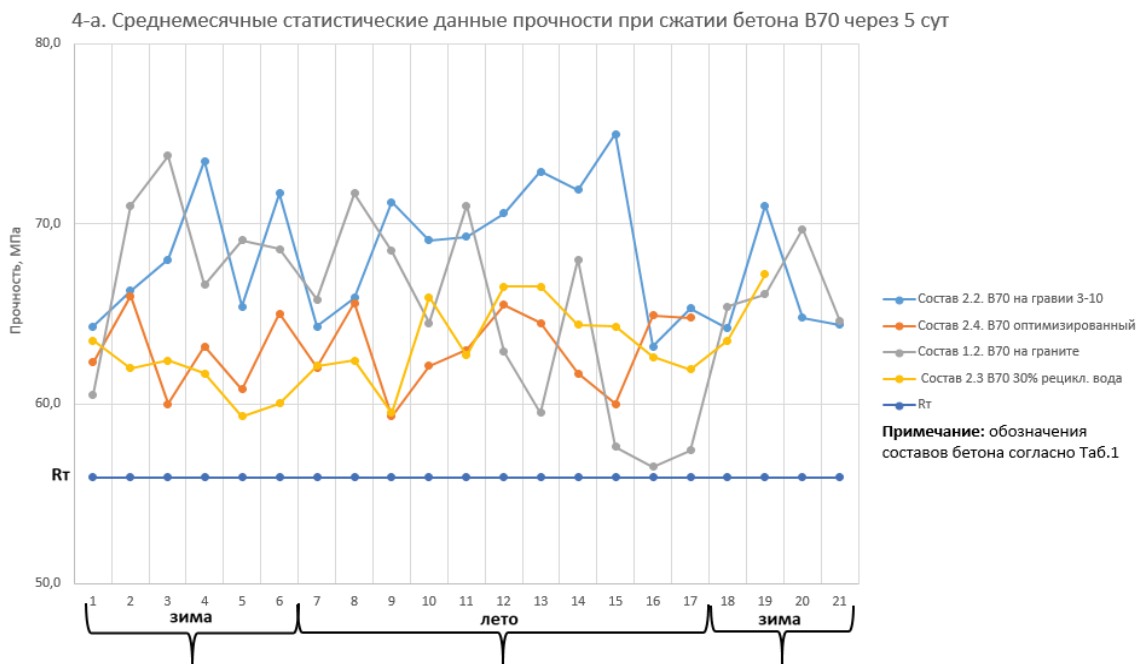
Обоснована возможность применения при производстве бетонной смеси, совместно с водой затворения, продукта рециклинга бетонной смеси – суспензии 30%-ной концентрации.

Указанные изменения позволяют в совокупности сократить себестоимость бетонных смесей, в сравнении с аналогом на гранитном щебне, до 17 %.

2. Обоснована возможность замены цемента марки ЦЕМ I 52,5 на ЦЕМ II/A-Ш 52,5Н с обеспечением прочности к моменту подачи изделий на укрупнительную сборку (после ТВО + 5 сут) на уровне требуемого значения, а класса бетона в возрасте 28 сут после ТВО на уровне В65 с перспективой повышения в дальнейшем. В этом случае снижение себестоимости, в сравнении с аналогичным бетоном на гравии с органо-минеральным модификатором, составит 8 %.

3. Обоснована возможность промышленного выпуска высокопрочного легкого бетона класса В60–В70 плотностью ниже 2000 кг/м³ для производства облегченных до 20 % панелей КГМ. Экономический эффект от использования этих бетонов должен быть рассчитан с учетом фактической себестоимости смесей при массовом производстве и факторов, связанных со строительными-монтажными работами, такими как: сокращение затрат на устройство оснований и фундаментов, транспортировка и монтаж КГМ и др.

а (а)



б (б)

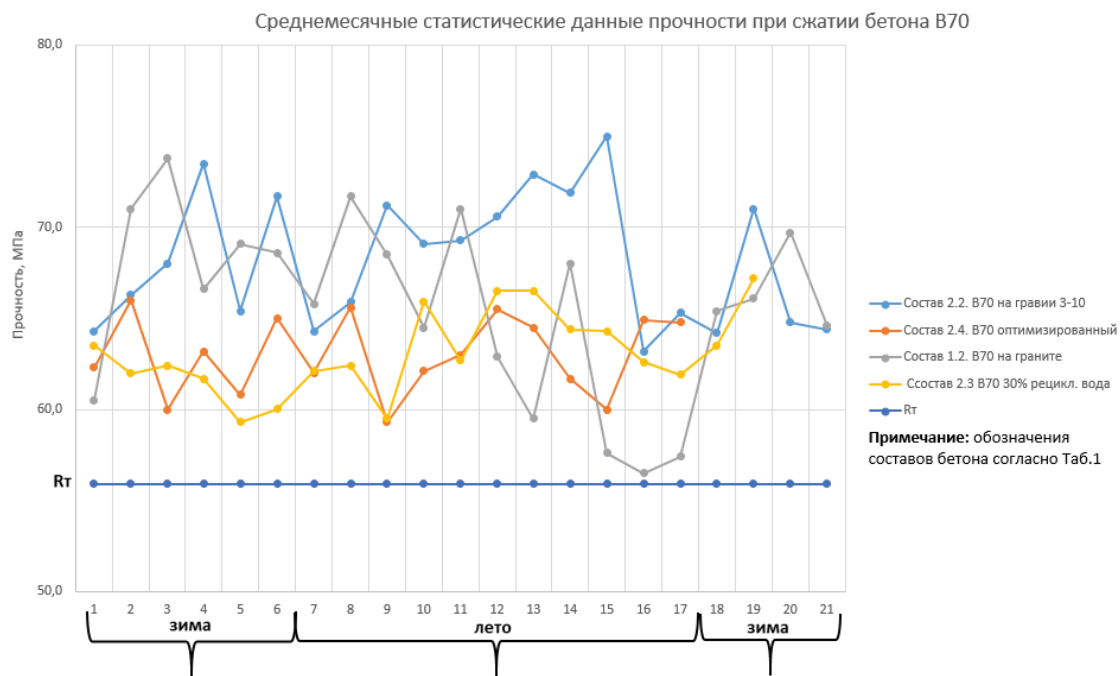


Рис. 4. Среднемесячные статистические данные о прочности бетонов через 5 (а) и 28 сут после ТВО (б)
Fig. 4. Average monthly statistical data on concrete strength after 5 days (a) and 28 days after heat and humidity treatment (b)

		За анализируемый период/ На контролируемый период												
КЛАСС БЕТОНА / МЕСЯЦ		График динамики	01.04.	01.05.	01.06.	01.07.	01.08.	01.09.	01.10.	01.11.	01.12.	01.01.	01.02.	01.03.
В70	Vm, %		8,9	6,8	10,5	4,1	5,7	5,7	6,7	5,2	8,3	3,6	4,9	3,4
После ТВО 5 сут	Rт		54,4	52,9	57,8	52,4	52,4	52,4	52,9	52,4	53,4	52,4	52,4	52,4

Рис. 5. Рассчитанный коэффициент вариации на основные технологические параметры
Fig. 5. Calculated coefficient of variation for the main technological parameters

Список литературы

- СП 501.1325800.2021. Здания из крупногабаритных модулей. Правила проектирования и строительства. Основные положения. Москва, 2021.
- Проект 01-05-002-11КЖ.И.67.50.37-2. ООО «Параметрика».
- Пахомова Л.А., Мещеряков А.С. Аспекты организации проектирования для крупномодульного домостроения // *Системные технологии*. 2022. № 1 (42). С. 15–21. DOI: https://doi.org/10.55287/22275398_2022_1_15.
- Лapidus А.А., Амбарцумян С.А., Долгов О.С., Колпаков А.М., Мещеряков А.С., Горбачевский В.П. Исследование и влияние технологических параметров и особенностей мобильных конвейерных роботизированных технологических линий на конструкцию железобетонных стен и перекрытий мобильных крупногабаритных модулей // *Строительное производство*. 2022. № 3 (43). С. 2–10.
- ГОСТ 31108-2020. Цементы общестроительные. Технические условия. Москва: Стандартинформ, 2020.
- ГОСТ 30515-2013. Цементы. Общие технические условия. Москва: Стандартинформ, 2014.
- ГОСТ 8736-2014. Песок для строительных работ. Технические условия. Москва: Стандартинформ, 2015.
- ГОСТ 8267-93. Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия. Москва: Стандартинформ, 2018.
- ГОСТ 8269.0-97. Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний. Москва: Стандартинформ, 2018.
- ГОСТ 32497-2013. Заполнители пористые теплоизоляционные для зданий и сооружений. Технические условия. Москва: Стандартинформ, 2014.
- ГОСТ Р 56178-2014. Модификаторы органо-минеральные типа МБ для бетонов, строительных растворов и сухих смесей. Технические условия. Москва: Стандартинформ, 2015.
- ТУ 5743-083-46854090-98. Модификатор бетона МБ-С (с Изменением № 1).
- ГОСТ Р 52129-2003. Порошок минеральный для асфальтобетонных и органо-минеральных смесей. Технические условия. Москва: Госстрой России, ФГУП ЦПП, 2004.
- ТУ 20.59.59-141-13613997-2025. Добавки суперпластифицирующие для бетонов и растворов серии «Sika® ViscoCrete®». Лобня, 2025.ГОСТ 24211-2008. Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия. Москва: Стандартинформ, 2010.
- ТУ 20.59.59-098-58042865-2022. Поликарбонатный суперпластификатор «Полипласт ПК». Технические условия. Москва, 2022.
- ГОСТ 23732-2011. Вода для бетонов и строительных растворов. Технические условия. Москва: Стандартинформ, 2012.
- ГОСТ 27006-2019. Бетоны. Правила подбора состава. Москва: Стандартинформ, 2019.
- ГОСТ 10180-2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. Москва: Стандартинформ, 2018.
- ГОСТ 24452-2023. Бетоны. Методы определения призмочной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона. Москва: Российский институт стандартизации, 2024.
- ГОСТ 22690-2015. Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля. Москва: Стандартинформ, 2019.
- ГОСТ 31914-2012. Бетоны высокопрочные тяжелые и мелкозернистые для монолитных конструкций. Правила контроля и оценки качества. Москва: Стандартинформ, 2014.
- Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Травуш В.И., Карпенко Н.И., Крылов С.Б. Оценка прочностных и деформационных характеристик высокопрочных бетонов в конструкциях и динамики их изменения во времени // *Строительные материалы*. 2023. № 11. С. 28–38. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2023-819-11-28-38>. EDN: EDLAQV.
- Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Кардумян Г.С. Новые модифицированные бетоны. Москва: ООО «Предприятие Мастер Бетон», 2010. 258 с.
- EN 1992-1-1. Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings. 2004.
- Травуш В.И., Кузеванов Д.В., Каприелов С.С., Волков Ю.С. Бетон как экофактор стабилизации изменения климата // *Бетон и железобетон*. 2024. № 1 (620). С. 34–41. [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-1\(620\)-34-41](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-1(620)-34-41).

References

- SP 501.1325800.2021. Building from large modules. Design and construction code. Basic statements. Moscow, 2021. (In Russian).
- Project 01-05-002-11KJ.I.67.50.37-2. Parametrica LLC. (In Russian).
- Pakhomova L.A., Meshcheryakov A.S. Aspects of design organization for large-scale housing construction. *System technologies*. 2022, no. 1 (42), pp. 15–21. (In Russian). DOI: https://doi.org/10.55287/22275398_2022_1_15.
- Lapidus A.A., Ambartsumyan S.A., Dolgov O.S., Kolpakov A.M., Meshcheryakov A.S., Gorbachevsky V.P. Investigation and influence of technological parameters and features of mobile robotic conveyor technological lines on the construction of reinforced concrete walls and floors of mobile bulky modules. *Construction production*. 2022, no. 3 (43), pp. 2–10. (In Russian).

5. State Standard 31108-2020. Common cements. Specifications. Moscow: Standartinform Publ., 2020. (In Russian).
6. State Standard 30515-2013. Cements. General specifications. Moscow: Standartinform Publ., 2014. (In Russian).
7. State Standard 8736-2014. Sand for construction works. Specifications. Moscow: Standartinform Publ., 2015. (In Russian).
8. State Standard 8267-93. Crushed stone and gravel of solid rocks for construction works. Specifications. Moscow: Standartinform Publ., 2018. (In Russian).
9. State Standard 8269.0-97. Mountainous rock road-metal and gravel, industrial waste products for construction works. Methods of physical and mechanical tests. Moscow: Standartinform Publ., 2018. (In Russian).
10. State Standard 32497-2013. Porous aggregate for thermal insulation buildings and facilities. Specifications. Moscow: Standartinform Publ., 2014. (In Russian).
11. 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).
12. TC 5743-083-46854090-98. MB-S concrete modifier (with Change No. 1). (In Russian).
13. State Standard R 52129-2003. Mineral powders for asphaltic concrete and organomineral mixtures. Specifications. Moscow: Gosstroy of Russia, FSUE CPP, 2004. (In Russian).
14. TU 20.59.59-141-13613997-2025. Superplasticizing additives for concrete and mortars of the «Sika® ViscoCrete®» series. Lobnya, 2025. (In Russian).
15. State Standard 24211-2008. Admixtures for concretes and mortars. General specifications. Moscow: Standartinform Publ., 2010. (In Russian).
16. TU 20.59.59-098-58042865-2022. Polycarboxylate superplasticizer «Polyplast PC». Technical specifications. Moscow, 2022. (In Russian).
17. State Standard 23732-2011. Water for concrete and mortars. Specifications. Moscow: Standartinform Publ., 2012. (In Russian).
18. State Standard 27006-2019. Concretes. Rules for mix proposing. Moscow: Standartinform Publ., 2019. (In Russian).
19. State Standard 10180-2012. Concretes. Methods for strength determination using reference specimens. Moscow: Standartinform Publ., 2018. (In Russian).
20. State Standard 24452-2023. Concretes. Methods for determination of prismatic compressive strength, modulus of elasticity and Poisson's ratio. Moscow: Russian Institute of Standardization, 2024. (In Russian).
21. State Standard 22690-2015. Concretes. Determination of strength by mechanical methods of nondestructive testing. Moscow: Standartinform Publ., 2019. (In Russian).
22. 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).
23. Kapriellov S.S., Kapriellov S.S., Travush V.I., Karpenko N.I., Krylov S.B. Assessment of strength and deformation characteristics of high-strength concrete in structures and the dynamics of their changes over time. *Stroitel'nye Materialy = Construction Materials*. 2023, no. 11, pp. 28–38. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2023-819-11-28-38>. EDN: EDLAQV.
24. Kapriellov S.S., Kapriellov S.S., Kardumyan G.S. New modified concretes. Moscow: «Master Concrete Enterprise» LLC, 2010, 258 p. (In Russian).
25. EN 1992-1-1. Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings. 2004.
26. Travush V.I., Kuzevanov D.V., Kapriellov S.S., Volkov Yu.S. Concrete as an eco-factor for climate change stabilization. *Beton i Zhelezobeton = Concrete and Reinforced Concrete*. 2024, no. 1 (620), pp. 34–41. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-1\(620\)-34-41](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-1(620)-34-41).

Информация об авторах / Information about the authors

Сергей Александрович Амбарцумян, д-р техн. наук, профессор, генеральный директор, ООО «Группа Компаний «Монарх»», Москва

e-mail: sergey.ambartsumyan@mon-arch.ru

Sergey A. Ambartsumyan, Dr. Sci. (Engineering), Professor, CEO, «Monarch Group Companies Ltd», Moscow
e-mail: sergey.ambartsumyan@mon-arch.ru

Елена Юрьевна Елкина, заместитель директора по контролю качества, ООО «Комбинат Инновационных Технологий-МонАрх», Москва

e-mail: e.elkina@mon-arch.ru

Elena Yu. Elkina, Deputy Director for Quality Control, Combine of Innovative Technologies-MonArch LLC, Moscow

e-mail: e.elkina@mon-arch.ru

Евгения Юрьевна Воробьева, начальник испытательной лаборатории, ООО «Комбинат Инновационных Технологий-МонАрх», Москва

e-mail: ev.vorobeva@mon-arch.ru

Evgeniya Yu. Vorobyova, Head of the Testing Laboratory, Combine of Innovative Technologies-MonArch LLC, Moscow

e-mail: ev.vorobeva@mon-arch.ru

Лариса Анатольевна Кулиева, заместитель начальника испытательной лаборатории, ООО «Комбинат Инновационных Технологий-МонАрх», Москва

e-mail: l.kulieva@mon-arch.ru

Larisa A. Kulieva, Depute Head of the Testing Laboratory, Combine of Innovative Technologies-MonArch LLC, Moscow
e-mail: l.kulieva@mon-arch.ru

Игорь Анатольевич Чилин[✉], инженер, научный сотрудник лаборатории химических добавок и модифицированных бетонов, НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: pgsnik87@mail.ru

Igor A. Chilin[✉], Engineer, Researcher of the Laboratory of Chemical Additives and Modified Concretes, Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: pgsnik87@mail.ru

Никита Михайлович Селютин, инженер лаборатории химических добавок и модифицированных бетонов, НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: 89165046672@mail.ru

Nikita M. Selyutin, Engineer of the Laboratory of Chemical Additives and Modified Concretes, Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: 89165046672@mail.ru

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ «ВЕСТНИК НИЦ «СТРОИТЕЛЬСТВО»

Печатное и сетевое рецензируемое научно-техническое издание, в котором публикуются результаты теоретических и экспериментальных исследований по строительным материалам, конструкциям, сооружениям, основаниям и фундаментам при статических и динамических воздействиях.

«Вестник НИЦ «Строительство» (Print) включен в Перечень ВАК с 03.10.2019 г. по научным специальностям:

2.1.1 – Строительные конструкции, здания и сооружения (технические науки);

2.1.2 – Основания и фундаменты, подземные сооружения (технические науки);

2.1.5 – Строительные материалы и изделия (технические науки).

Журнал издается на платформе Epub Национального консорциума российских библиотек (НЭИКОН). Журнал индексируется в академических базах данных и информационных системах: ROAD, CrossRef, Академия Google. Входит в систему РИНЦ (Российский индекс научного цитирования) на платформе eLIBRARY.ru.

Тираж печатного издания – 500 экземпляров.

Подробная информация на сайте vestnik.cstroy.ru

Подписной индекс ООО «Урал Пресс» – 36569.



**Приглашаем к сотрудничеству ученых,
аспирантов, исследователей!**

Адрес редакции: г. Москва, 2-я Институтская ул., дом 6, корпус 1, кабинет 400/2
Тел. редакции: +7(495)602-00-70 доб. 1022, 1023
Выпускающий редактор – Починина Наталья
e-mail: pochininane@cstroy.ru

