

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

BUILDING CONSTRUCTIONS, BUILDINGS AND ENGINEERING STRUCTURES



УДК 678.027

Оригинальное эмпирическое исследование

<https://doi.org/10.23947/2949-1835-2026-5-1-8-14>

Технология формирования трубобетонных колонн

А.Л. Кришан¹ , В.В. Парфенов² , Н.В. Вавилин² , М.А. Астафьева¹ 

¹ Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск, Российская Федерация

² ООО «Структура Эксперт», г. Екатеринбург, Российская Федерация

✉ kris_al@mail.ru



EDN: TIJSMW

Аннотация

Введение. При изготовлении трубобетонных колонн следует обратить внимание на технологию заполнения стальной трубы бетонной смесью. Практика показывает, что при подаче бетонной смеси в трубу сверху должно быть обеспечено качество бетонирования конструкции не гарантируется. В данном исследовании ставилась цель опытной проверки эффективности технологии формирования колонн самоуплотняющейся бетонной смесью методом напорного бетонирования.

Материалы и методы. Эксперименты по исследованию эффективности предложенной технологии формирования трубобетонной колонны с насыщенным содержанием продольной и спиральной арматуры проводились на прозрачном макете. Подобран состав самоуплотняющейся смеси, обеспечивающий требуемую удобоукладываемость, текучесть, однородность и отсутствие расслоения. В ходе экспериментов подобраны технологические параметры формирования, среди которых наиболее важным была скорость заполнения конструкции бетонной смесью. Контролировалась равномерность распределения бетона по всему макету.

Результаты исследования. В результате эксперимента выявлено, что бетонная смесь легко достигала всех зон конструкции без потерь качества. Наблюдалось отсутствие выделения воздушных пузырей с поверхности конструкции, что свидетельствует о высоком качестве уплотнения смеси. Разброс прочности и плотности бетона в верхней, средней и нижней зонах конструкции минимальный. Полученный в конструкции бетон характеризуется однородной структурой, имеющей однородный, равномерно распределенный состав без значительных пустот или неоднородностей по всему объему.

Обсуждение и заключение. Отсутствие опалубки, подмостей и прочих приспособлений, высокая скорость бетонирования значительно снижают продолжительность и трудоемкость монтажа колонн. Все это, в совокупности с достигнутым качеством бетона, открывает хорошие перспективы для широкого применения метода напорного бетонирования в строящихся объектах в РФ. В дальнейшем необходимо разработать методику ультразвукового контроля качества бетона трубобетонных колонн.

Ключевые слова: трубобетонные колонны, самоуплотняющаяся бетонная смесь, метод восходящей бетонной смеси, прочность и плотность бетона, однородность структуры

Благодарности. Авторы выражают благодарность редакции и рецензентам за внимательное отношение к статье и указанные замечания, которые позволили повысить ее качество.

Для цитирования. Кришан А.Л., Парфенов В.В., Вавилин Н.В., Астафьева М.А. Технология формирования трубобетонных колонн. *Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий*. 2026;5(1):8–14. <https://doi.org/10.23947/2949-1835-2026-5-1-8-14>

Technology of Forming Tubular Concrete Columns

Anatoly L. Krishan¹  , Vyacheslav V. Parfenov² , Nikita V. Vavilin²  Mariia A. Astafeva¹ 

¹ Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation

² LLC Struktura Expert, Yekaterinburg, Russian Federation

 kris_al@mail.ru

Abstract

Introduction. In manufacturing tubular concrete columns, attention should be paid to a technology of filling a steel tube with a concrete mixture. In practice when a concrete mixture is being fed into a tube from the top, a proper quality of concreting a structure is not guaranteed. In this study, the aim was to test the effectiveness of a technology of forming columns with a self-sealing concrete mixture by means of pressure concreting.

Materials and Methods. Experiments to study the effectiveness of the suggested technology for forming a tubular concrete column with a saturated content of longitudinal and spiral reinforcement were conducted on a transparent model. A self-compacting mix composition was selected that ensured the required workability, flowability, homogeneity, and absence of stratification. Through the course of the experiments, the process parameters were adjusted with the speed of filling the structure with the concrete mixture as the most important one. The uniformity of concrete distribution throughout the model was monitored.

Research Results. The experiment indicated that the concrete mixture easily reached all of the areas of the structure with no loss of quality. No air bubbles were observed on the surface of the structure, indicating high-quality compaction of the mixture. Concrete strength and density variations in the upper, middle, and lower zones of the structure were minimum. The resulting concrete is characterized by a homogeneous structure, with a uniform, evenly distributed composition with no significant voids or inhomogeneities throughout the entire volume.

Discussion and Conclusion. The absence of formwork, scaffolding, and other equipment, high speed of concreting significantly reduce the time and labor intensity of column installation. All of these, combined with the achieved concrete quality, open up avenues for a broad-scale use of the pressure concreting method in construction projects in the Russian Federation. Further work is needed in order to develop a method for ultrasonic quality control of concrete in tubular concrete columns.

Keywords: tubular concrete columns, self-compacting concrete, method of ascending concrete mixture, strength and density of concrete, homogeneity of a structure

Acknowledgements. The authors would like to thank the editors and reviewers for their attentive attitude to the article and the above comments making it possible to improve its quality.

For citation. Krishan AL, Parfenov VV, Vavilin NV, Astafeva MA Technology of Forming Tubular Concrete Columns. *Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning*. 2026;5(1):8–14. <https://doi.org/10.23947/2949-1835-2026-5-1-8-14>

Введение. При проектировании каркасов высотных зданий в РФ все чаще начинают использовать трубобетонные колонны (ТБК). Этому способствует целый ряд значимых достоинств экономического, технологического, конструктивного плана, а также архитектурная выразительность данных конструкций [1–6]. Одним из сдерживающих факторов для более широкого применения ТБК в нашей стране является недостаточно проработанная технология заполнения стальной трубы бетонной смесью. Ввиду значительной длины стальных труб относительно небольшого диаметра, обеспечивающих «несъемную опалубку» для колонн на два-три этажа и более, традиционные технологии заполнения их бетонной смесью сверху не гарантируют должного качества бетонирования. Обеспечить и контролировать качество укладки и уплотнения бетонной смеси в таких условиях довольно сложно.

Опыт строителей Японии, являющихся одними из лидеров по объемам применения ТБК, свидетельствует о том, что наиболее перспективной технологией их формирования является применение метода восходящей бетонной смеси (ВБС), который известен также под наименованием метода напорного бетонирования. По этой технологии бетонная смесь бетононасосом под давлением подается через специально выполненное отверстие в стальной трубе снизу вверх.

Исследования [7, 8] показали, что такая технология бетонирования приводит к уменьшению количества воздушных пузырьков в контактном слое арматуры с бетоном. Формируемый бетонный слой под арматурой характеризовался лучшим качеством по сравнению с традиционным бетонированием сверху формы, что привело к увеличению сцепления арматуры с бетоном.

Для обеспечения необходимых высоких пластичности и подвижности здесь следует применять самоуплотняющиеся бетонные смеси (СУБС). Такие смеси еще в прошлом веке начали применять за рубежом, но в настоящее время уже достаточно широко применяются и в нашей стране [9–11]. Использование СУБС позволяет достичь еще ряд положительных результатов, среди которых наиболее важными являются:

- отсутствие необходимости в вибрации при укладке;
- отсутствие расслаиваемости смеси;
- снижение содержания цемента;
- высокая прочность, плотность и долговечность бетона.

Цель данного исследования состояла в опытной проверке эффективности технологии формирования колонн ТБК из СУБС методом напорного бетонирования.

Материалы и методы. На первом этапе выполнен подбор состава СУБС и проверка ее качества. Для этого осуществлялся контроль удобоукладываемости смеси с помощью конуса Абрамса и определялась текучесть методом блокирующего кольца. Второй метод использовали для оценки способности смеси проникать при ее заливке в узкие пространства, включая просветы между арматурными стержнями, без расслоения или закупоривания.

Отбор проб для определения нормируемых параметров смесей проводили в соответствии с ГОСТ Р 59715 «Смеси бетонные самоуплотняющиеся. Методы испытаний» с учетом указаний ГОСТ 10181 «Смеси бетонные. Методы испытаний».

Контроль прочности бетона производился по результатам испытаний на сжатие контрольных образцов-кубов с размером ребра 100 мм в возрасте 3, 7, 28 суток в соответствии с ГОСТ 18105 «Бетоны. Правила контроля и оценки прочности», ГОСТ 10181 и ГОСТ 31914 «Бетоны высокопрочные тяжелые и мелкозернистые для монолитных конструкций. Правила контроля и оценки качества».

После получения смеси требуемого качества на масштабном прозрачном макете трубобетонной колонны (рис. 1) выполнялись модельные эксперименты по формированию изделия. Макет трубобетонной колонны имел высоту — 1973 мм, диаметр — 300 мм. Труба-оболочка была изготовлена из оргстекла. Арматурный каркас выполнялся из 7-ми продольных стержней диаметром 25 мм и спирали из стержней диаметром 8 мм с шагом 50 мм. Дополнительно в нижней части арматурного каркаса установлены два продольных стержня диаметром 25 мм с расстоянием в свету между друг другом и остальными стержнями 30 мм. Это позволяло оценить способность проникновения СУБС между стержнями густоармированных ТБК.

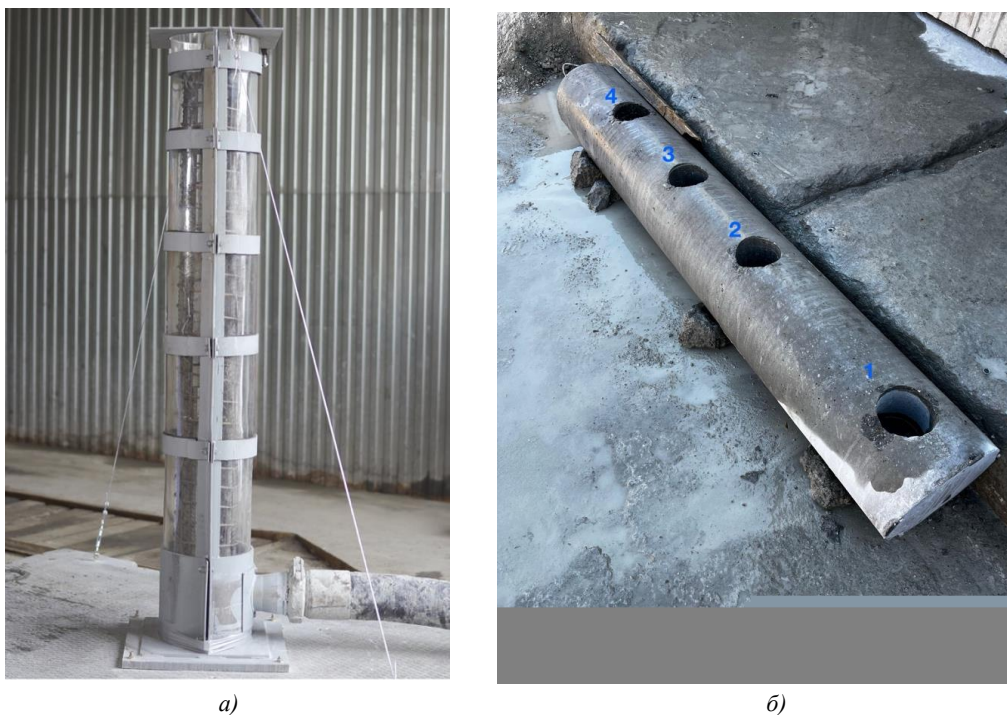


Рис. 1. Исследуемый образец ТБК: а — общий вид макета для проверки метода ВБС; б — места выбуривания кернов

Для подачи бетонной смеси использовалась система бетоновода диаметром 125 мм, соединяющаяся с макетом посредством специальной быстроръемной фурнитуры. Подача смеси осуществлялась бетононасосом Cifa PC 709.

Через 72 часа после формирования железобетонного ядра из макета извлекались керны для набора бетоном прочности в естественных условиях. Керны выбуривались из четырех участков, расположенных внизу, вверху и в средних зонах макета (рис. 1 б).

Контроль прочности бетона осуществлялся в возрасте 28 суток по результатам испытаний на сжатие цилиндров диаметром 100 мм и высотой порядка 100 мм согласно ГОСТ 28570 «Бетоны. Методы определения прочности по образцам, отобраным из конструкций» и ГОСТ 31914.

Результаты исследования. Результаты определения удобоукладываемости СУБС по величине диаметра расплыва стандартного конуса и времени расплыва до диаметра 500 мм представлены в таблицах 1,2 и продемонстрированы на рис. 2.

Смесь получена высокостабильная. Цементное тесто и вода не отделялись от заполнителя по окружности расплыва, признаков расслоения бетонной смеси не наблюдалось. Время остановки расплыва — 62 сек. Контуры четкие. Смесь была плотная, однородная на протяжении всего испытания до завершения укладки в конструкцию. Сохраняемость удобоукладываемости — 180 мин.

Прочность бетона контрольных образцов кубов на сжатие по результатам контроля прочности кубов соответствует классу В70.

Таблица 1

Результаты контроля удобоукладываемости смеси

№ состава	Время t_{500} , сек	Диаметр расплыва, см			Марка по расплыву	Марка вязкости
		d_1	d_2	d_{cp}		
#1	3	77,5	77	77,25	РК3	V2

Таблица 2

Результаты контроля расплыва конуса в блокирующем кольце

№ состава	Диаметр расплыва, см			Измеренные высоты, см					Марка по текучести
	d_1	d_2	d_{cp}	h_0	h_{x1}	h_{x2}	h_{y1}	h_{y2}	
#1	80	79,5	79,75	12,3	12,8	12,9	12,9	12,7	T4

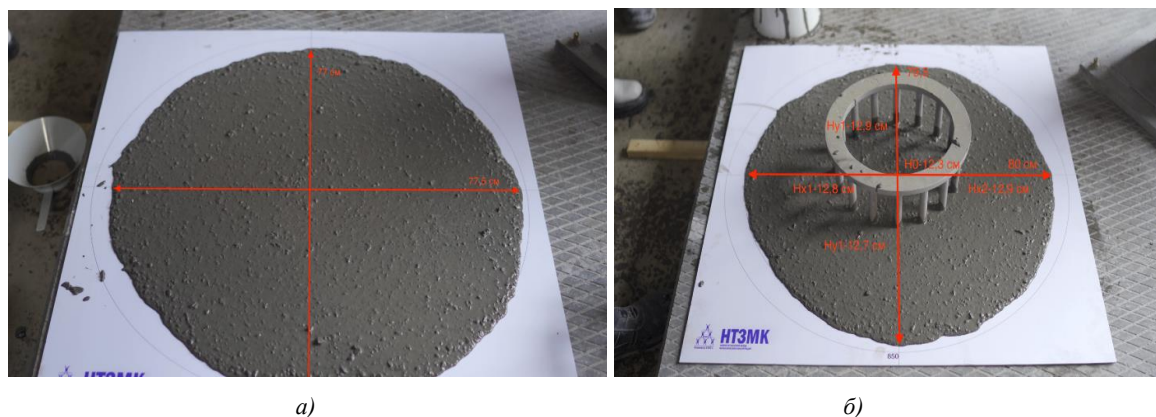


Рис. 2. Результаты испытаний бетонной смеси: а — определение марок по расплыву, вязкости; б — определение марок по текучести

Результаты формирования макета ТБК следующие. Время заполнения смесью — 42 сек, скорость заполнения — 229,5 л/мин. В процессе заполнения макета ТБК важно было обеспечить равномерное распределение бетона по всему объему конструкции. Визуальное наблюдение через прозрачные стенки за процессом заполнения показало, что смесь начинала подниматься внутри арматурного каркаса, но при достижении перепада высот более 50 мм распространялась по периферийным зонам конструкции. Смесь легко достигала всех зон без потерь качества. По завершении процесса бетонирования наблюдалось отсутствие выделения воздушных пузырей с поверхности конструкции, что свидетельствует о высоком качестве уплотнения бетонной смеси. Состояние наружной поверхности железобетонного ядра представлено на рис. 3.

По результатам испытания четырех цилиндров прочность бетона на сжатие составляла от 77,9 МПа до 81,2 МПа. Плотность образцов также находилась в очень узком диапазоне — от 2549 кг/м³ до 2588 кг/м³. Такие результаты свидетельствуют об отсутствии расслоения смеси и равномерном распределении заполнителей по всему объему и высоте.

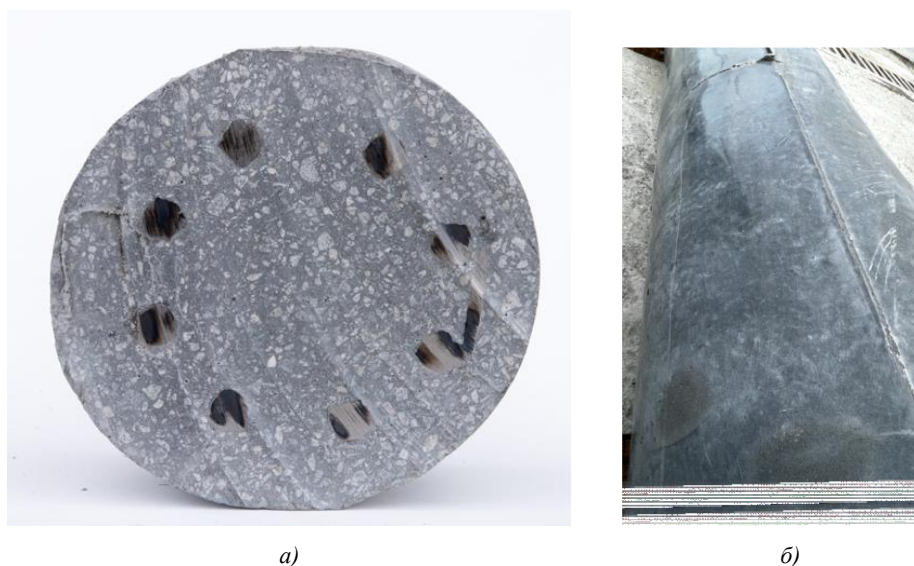


Рис. 3. Качество уплотнения бетона: а — железобетонный сердечник в разрезе; б — боковая поверхность железобетонного ядра

Обсуждение и заключение. Проведенное исследование показало, что метод ВБС может обеспечивать хорошее качество формирования и уплотнения бетона ТБК. Тиксотропное поведение СУБС уменьшает вязкость смеси и противодействует возникновению ее сегрегации за счет сдвигового напряжения в процессе непрерывного перемещения смеси в объеме конструкции под давлением восходящего потока. В результате достигается высокая однородность бетона в конструкции, в том числе и по ее высоте. Разброс прочности и плотности бетона в верхней, средней и нижней зонах конструкции минимальный.

Для ТБК, чаще используемых в каркасах высотных зданий, однородность бетона по всему объему элемента является не менее важным параметром, чем его абсолютная прочность. Неоднородность приводит к локальным концентрациям напряжений и снижению общей несущей способности конструкции, что может отрицательно сказаться на механической безопасности здания в целом.

Следует отдельно отметить, что в расчетах прочности трубобетонных колонн, бетонируемых этим методом, к расчетному сопротивлению бетона сжатию не требуется применять коэффициент условий работы $\gamma_{бз} = 0,85$ (п. 6.1.12 СП 63.13330.2018 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения»). В сочетании с возможностью практического использования низкой вариативности прочности (при определении класса бетона) это позволяет получать более высокие расчетные значения сжимающих усилий в бетоне конструкций. В результате появляется возможность заметно улучшить технико-экономические показатели колонн.

Проведенные исследования позволяют сделать вывод о целесообразности практического применения технологии формирования ТБК методом ВБС, когда самоуплотняющаяся бетонная смесь внутри стальной трубы под давлением подается снизу вверх.

Отметим очевидные преимущества этого метода перед традиционными методами с подачей смеси сверху:

- значительное уменьшение возможности захвата дополнительного воздуха внутри СУБС;
- практическое исключение возможности сегрегации смеси из-за ударов об арматуру и стенки трубы опалубки при свободном падении;
- существенное уменьшение времени заполнения конструкции;
- исключение образования рабочих швов и операций с их организацией;
- сокращение сроков монтажа конструкции;
- сокращение количества рабочих на строительной площадке;
- исключение необходимости использования подмостей, лестниц, стремянок.

Полученный в конструкции бетон характеризуется гомогенной структурой, имеющей однородный, равномерно распределенный состав без значительных пустот или неоднородностей по всему объему. Появляется возможность получения более высоких значений расчетного сопротивления бетона по сравнению с бетоном того же состава, но заформованным с использованием традиционных технологий.

Однако ввиду отсутствия нормативных документов с рекомендуемыми значениями технологических параметров формирования для метода ВБС (верхнего и нижнего пределов скорости заполнения ТБК, диаметров бетононасосов, величин избыточного давления), целесообразно провести более широкие комплексные исследования

в данном направлении. Для строительной практики также необходимо разработать методику ультразвукового контроля качества бетона в колоннах.

Список литературы / References

1. Ведерникова А.А. Совершенствование методики расчета трубобетонных элементов обратным численно-аналитическим методом и ее применение. *Инженерный вестник Дона*. 2023;11(107):437–449. URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2023/8798> (дата обращения: 29.12.2025).
Vedernikova AA Development and Implementation of the Concrete Filled Steel Tube Elements Inverse Numerical-Analytical Method. *Engineering Journal of Don*. 2023;11(107):437–449. (In Russ.) URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2023/8798> (accessed: 29.12.2025)
2. Кришан А.Л., Римшин В.И., Астафьева М.А., Парфенов В.В. Оценка несущей способности трубобетонных колонн при стандартном пожаре. *Сборник трудов, посвященных памяти академиков РААСН В.М. Бондаренко и Г.Л. Осипова*. Москва: НИИСФ РААСН; 2025. С. 233–241.
Krishan AL, Rimshin VI, Astafeva MA, Parfenov VV Evaluation of the Bearing Capacity of Concrete Filled Steel Tube Columns under Standard Fire. *Collection of Works Dedicated to the Memory of Academicians of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences V.M. Bondarenko and G.L. Osipov*. Moscow. Publishing House of the Research Institute of Construction Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences; 2025. 233–241. (In Russ.)
3. Кондратьева Т.Н., Чепурненко А.С. Применение искусственного интеллекта к прогнозированию прочности трубобетонных колонн. *Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий*. 2024;3(3):40–48. <https://doi.org/10.23947/2949-1835-2024-3-3-40-48>
Kondratieva TN, Chepurnenko AS Prediction of the Strength of the Concrete-Filled Tubular Steel Columns Using the Artificial Intelligence. *Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning*. 2024;3(3):40–48. (In Russ.) <https://doi.org/10.23947/2949-1835-2024-3-3-40-48>
4. Хазов П.А., Помазов А.П. Экспериментальное исследование продольного и поперечного изгиба трубобетонных стержней. *Жилищное строительство*. 2023;12:66–72. <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-12-66-71>
Khazov PA, Pomazov AP Experimental Study of Longitudinal and Transverse Bending of Pipe Concrete Rods. *Housing Construction*. 2023;12:66–72. (In Russ.) <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-12-66-71>
5. Chen L., Fakharian P., Eidgahee D.R., Haji M., Arab A., Nouri Y. Axial compressive strength predictive models for recycled aggregate concrete filled circular steel tube columns using ANN, GEP, and MLR. *Journal of Building Engineering*. 2023;77:107439. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2023.107439>
6. Kakizaki M., Abe Y., Ookita Y., Abe A., Hara H. Application of super workable concrete to basement columns and walls caused by concrete construction by upside-down method. *AIJ Journal of Technology and Design*. 1995;1(1):24–29. <https://doi.org/10.3130/aijt.1.24>
7. Phan HD, Le TC Mechanical Behavior of Concrete Filled Steel Tubular Columns with High Strength Materials Subjected to Various Compression Loading Scenarios. *Journal of Science and Technology in Civil Engineering*. 2025;19(1):93–107. [https://doi.org/10.31814/stce.huace2025-19\(1\)-08](https://doi.org/10.31814/stce.huace2025-19(1)-08)
8. Kakizaki M, Aoki H, Nagao K, Asamura T, Abe Y, Suzuki K Pushing Up of Super Workable Concrete into Steel Tubular Columns of Subway Station Constructions. *AIJ Journal of Technology and Design*. 1997;3(5):1–6. (In Japanese) https://doi.org/10.3130/aijt.3.1_2
9. Ерофеев В.Т., Тараканов О.В., Ананьев С.В., Леснов В.В., Ерофеева И.В., Санягина Я.А. и др. Повышение эффективности дисперсного армирования в высокопрочных самоуплотняющихся и каркасных бетонах. *Строительные материалы*. 2024;3:15–24. <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2024-822-3-15-24>
Erofeev VT, Tarakanov OV, Ananyev SV, Lesnov VV, Erofeeva IV, Sanyagina YaA et al. The Increasing the Efficiency of Fiber Reinforced High-Strength Self-Compacting and Carcass Concrete. *Construction Materials*. 2024;3:15–24. (In Russ.) <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2024-822-3-15-24>
10. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Селютин Н.М. Самоуплотняющийся высокопрочный керамзитобетон класса 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>
Kaprielov SS, Sheinfeld AV, Selyutin NM Self-Compacting High-Strength Expanded Clay Concrete of B50-B65 Classes – a New Generation of Expanded Clay Concretes for Structures of High-Rise Building. *Construction Materials*. 2023; 4:42–50 (In Russ.) <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2023-812-4-42-50>
11. Zende A.A., Momin A.I.A., Khadiranaikar R.B., Alsabhan A.H., Alam S., Khan M.A. et al. Mechanical properties of high-strength self-compacting concrete. *ACS Omega*. 2023;8(20):18000–18008. <https://doi.org/10.1021/acsomega.3c01204>

Об авторах:

Кришан Анатолий Леонидович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры промышленного и гражданского строительства Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова (455000, Российская Федерация, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38), [ResearcherID](#), [ScopusID](#), [ORCID](#), kris_al@mail.ru

Парфенов Вячеслав Викторович, директор ООО «Структура Эксперт» (620026, Российская Федерация, г. Екатеринбург, ул. Горького, 65), [ORCID](#), vvp@structura-expert.com

Вавилин Никита Вячеславович, главный конструктор ООО «Структура Эксперт» (620026, Российская Федерация, г. Екатеринбург, ул. Горького, 65),

Астафьева Мария Анатольевна, кандидат технических наук, доцент кафедры промышленного и гражданского строительства Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова (455000, Российская Федерация, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38), [ResearcherID](#), [ScopusID](#), [ORCID](#), skymanika@mail.ru

Заявленный вклад соавторов:

А.Л. Кришан: научное руководство, анализ результатов исследования, корректировка выводов.

В.В. Парфенов: формирование основной концепции, цели и задачи исследования.

Н.В. Вавилин: проведение расчетов, подготовка текста.

М.А. Астафьева: доработка текста, анализ результатов, формулирование выводов.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

About the Authors:

Anatoly L. Krishan, Dr. Sc. (Eng.), Professor of the Department of Industrial and Civil Engineering, Nosov Magnitogorsk State Technical University (38 Lenin Ave., Magnitogorsk, 38455000, Russian Federation), [ResearcherID](#), [ScopusID](#), [ORCID](#), kris_al@mail.ru

Vyacheslav V. Parfenov, Head of LLC Struktura Expert (65 Gorky Str., Yekaterinburg, 620026, Russian Federation), [ORCID](#), vvp@structura-expert.com

Nikita V. Vavilin, Chief Architect of LLC Struktura Expert (65 Gorky Str., Yekaterinburg, 620026, Russian Federation), [ORCID](#), vavilin@structura-expert.com

Mariia A. Astafeva, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department of Industrial and Civil Engineering, Nosov Magnitogorsk State Technical University (38 Lenin Ave., Magnitogorsk, 38455000, Russian Federation), [ResearcherID](#), [ScopusID](#), [ORCID](#), skymanika@mail.ru

Claimed Contributorship:

AL Krishan: scientific supervision, analysis of research results, revision of conclusions.

VV Parfenov: formation of the main concept, goals and objectives of the study.

NV Vavilin: calculations, text preparation.

MA Astafeva: text revision, analysis of results, formulation of conclusions.

Conflict of interest statement: the authors do not have any conflict of interest.

All authors have read and approved the final version of manuscript.

Поступила в редакцию / Received 09.01.2026

Поступила после рецензирования / Reviewed 19.01.2026

Принята к публикации / Accepted 08.02.2026