

Трубобетонные системы на этапах жизненного цикла высотных и инфраструктурных объектов

П.А. Ермилов^{1✉}, Т.Л. Дмитриева², Н.А. Слободчикова³, В.В. Молодин⁴

¹⁻³Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

⁴Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин), Новосибирск, Россия

Аннотация. Рассмотрены ключевые особенности производства и применения трубобетонных конструкций как одного из наиболее перспективных направлений современного строительства. На основе обобщения отечественной практики, а также опыта зарубежного применения подобных конструкций при строительстве большепролетных мостов и высотных зданий, раскрывается сущность трубобетона, описываются его конструктивные преимущества по сравнению с традиционными железобетонными и металлическими решениями, к которым можно отнести повышенную несущую способность, улучшенную работу при сжатии, высокую огнестойкость и пониженную материалоемкость. Отмечено, что растущий интерес к трубобетонным элементам связан с потребностью в повышении несущей способности, технологической эффективности и устойчивости строительных объектов, особенно в высотном и инфраструктурном строительстве. В работе также проанализировано действующее нормативно-правовое поле, включающее российские и международные стандарты, регулирующие проектирование и эксплуатацию трубобетонных конструкций. Подчеркнута недостаточность проработки этих вопросов, показаны направления их актуализации. В результате анализа был сделан вывод о значительном потенциале в области дальнейшего внедрения трубобетонных систем в практику строительства. Показаны перспективы данного направления, такие как совершенствование технологий изготовления, создание единого специализированного нормативного документа, полностью охватывающего специфику расчета и проектирования трубобетонных элементов, внедрение автоматизированных методов проектирования на основе численных расчетов. Одним из ключевых исследований в данной области является также анализ влияния сейсмического воздействия на трубобетонные конструкции.

Ключевые слова: высотные и инфраструктурные объекты, трубобетонные системы, жизненный цикл, проектирование, строительство, прочность, устойчивость, сейсмостойкость

Для цитирования: Ермилов П.А., Дмитриева Т.Л., Слободчикова Н.А., Молодин В.В. Трубобетонные системы на этапах жизненного цикла высотных и инфраструктурных объектов // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2026. Т. 16. № 2. С. 324–333. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2026-2-324-333>. EDN: GTBUZO.

Original article

Tube-concrete systems at the stages of the life cycle of high-rise and infrastructural facilities

Pavel A. Ermilov^{1✉}, Tatyana L. Dmitrieva²,
Nadezhda A. Slobodchikova³, Vladimir V. Molodin⁴

¹⁻³Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

⁴Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering, Novosibirsk, Russia

Abstract. The key features of the production and application of pipe-concrete structures as one of the most promising areas of modern construction are considered. Based on the generalization of domestic practice, as well as the experience of foreign application of such structures in the construction of large-

span bridges and high-rise buildings, the essence of pipe concrete is revealed, its constructive advantages in comparison with traditional reinforced concrete and metal solutions are described, which include increased load-bearing capacity, improved compression performance, high fire resistance and reduced material consumption. It is noted that the growing interest in tube-concrete elements is related to the need to increase the load-bearing capacity, technological efficiency and sustainability of construction facilities, especially in high-rise and infrastructure construction. The paper also analyzes the current regulatory framework, including Russian and international standards governing the design and operation of pipe-concrete structures. The lack of elaboration of these issues is emphasized, and the directions of their actualization are shown. As a result of the analysis, it was concluded that there is significant potential in the field of further implementation of pipe-concrete systems in construction practice. The prospects of this area are shown, such as the improvement of manufacturing technologies, the creation of a single specialized regulatory document fully covering the specifics of the calculation and design of pipe-concrete elements, the introduction of automated design methods based on numerical calculations. One of the key studies in this field is also the analysis of the impact of seismic effects on pipe-concrete structures.

Keywords: high-rise and infrastructure facilities, tube-concrete systems, life cycle, design, construction, strength, stability, earthquake resistance

For citation: Ermilov P.A., Dmitrieva T.L., Slobodchikova N.A., Molodin V.V. Tube-concrete systems at the stages of the life cycle of high-rise and infrastructural facilities. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2026;16(2):324-333. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2026-2-324-333>. EDN: GTBUZO.

ВВЕДЕНИЕ

Современная строительная отрасль характеризуется постоянным поиском оптимальных конструктивных решений, способных сочетать высокую несущую способность, технологичность и экономическую эффективность. Это требование связано с поиском новых конструктивных решений, сочетающих в себе комбинированную работу стальных и бетонных либо железобетонных конструкций [1–8]. Одним из таких решений является применение трубобетонных конструкций, интерес к которым за последние годы возрастает по мере развития современных строительных технологий, а также корректных подходов к их расчетным обоснованиям [9–11]. Данная статья посвящена анализу особенностей применения трубобетона перед традиционными железобетонными аналогами, а также анализу нормативной литературы, регламентирующей его применение.

МЕТОДЫ

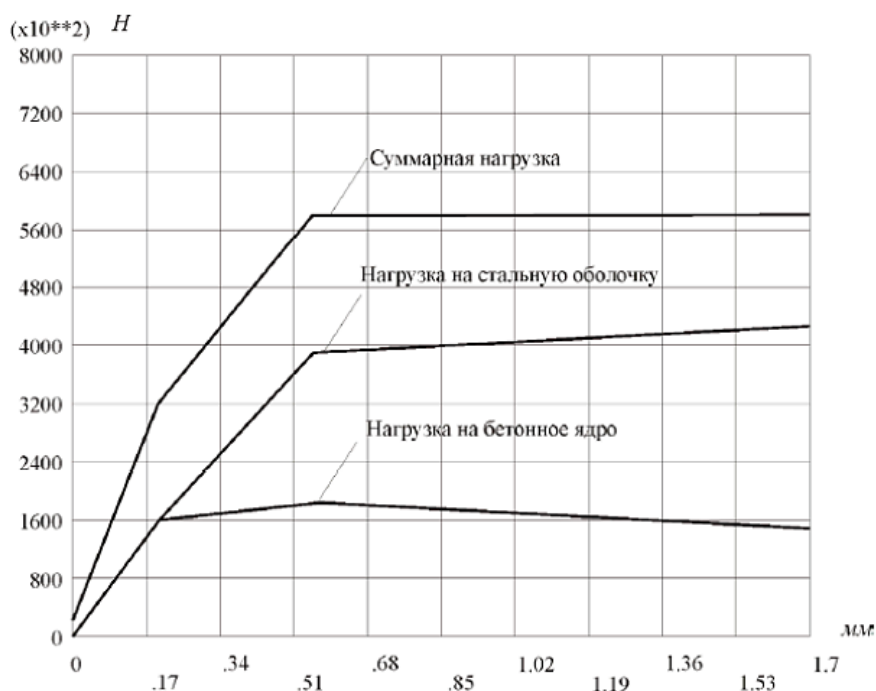
В ходе работы был проведен анализ научной литературы. Поиск релевантной мировой литературы осуществлялся путем составления списка терминов по предметной области, который сопоставлялся с наиболее часто употребляемыми ключевыми словами в реферативных базах научного цитирования. Следовательно, поиск проводился по этим базовым ключевым словам. В результате было отобрано 32 релевантных источников литературы.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Трубобетон принято рассматривать как композитную конструкцию, в которой стальная труба

играет роль внешней оболочки, а бетон выполняет функцию силового ядра. Эта совместная работа материалов дает эффект, который не удастся получить в традиционных железобетонных или металлических колоннах. Так, к примеру, на рисунке показано распределение нагрузок между бетонным ядром и металлической оболочкой, где выявлен лучший эффект именно у трубобетона по сравнению с другими видами конструкций. Как отмечают в работе [17], интерес к подобным решениям возник из-за постоянного поиска более эффективных несущих систем в высотном и крупнопролетном строительстве.

По результатам анализа видно, что структура, где бетон находится в условиях трехосного сжатия, демонстрирует высокую несущую способность и устойчивость к разрушению. Опыт строительства зарубежных объектов также подтверждает высокую эффективность таких элементов. Как считает автор работы [30], многочисленные примеры строительства в Китае показывают, что трубобетонные колонны уверенно выдерживают и эксплуатационные, и сейсмические нагрузки. Наблюдения за зданиями, пережившими сильные землетрясения, позволяют предположить, что эффект ограниченного объема повышает «живучесть» бетонного ядра – оно не склонно к резкому разрушению, а переходит в пластическое состояние постепенно. Следует отметить, что именно пластичность работы элемента снижает вероятность внезапного обрушения конструкции в целом.



Распределение нагрузок между бетонным ядром и металлической оболочкой
Distribution of loads between the concrete core and the metal shell

С точки зрения механики материала этот эффект объясняется равномерным обжатием бетона металлической оболочкой. Как указано в работе [24], в замкнутом объеме бетон способен слегка расширяться, что создает постоянное внутреннее давление и улучшает его структуру. Исходя из вышеизложенного можно предположить, что стальная труба не просто передает нагрузки, но и формирует условия, при которых бетон демонстрирует прочность, превышающую его призматические характеристики.

Такой подход имеет и технологические преимущества. Стальная оболочка используется

как несъемная опалубка, ускоряя процесс строительства.

В качестве дополнительного аргумента, который представлен в работе [30], можно указать повышение устойчивости трубы к локальной потере устойчивости – внутреннее бетонное ядро поддерживает стенки трубы и уменьшает вероятность формирования складок и гофров.

Это позволяет применять трубы меньшей толщины без потери несущей способности. По результату аналитического сравнения был систематизированы основные преимущества, которые отражены в табл. 1.

Таблица 1. Основные преимущества трубобетонных конструкций

Table 1. The main advantages of tube-concrete structures

Конструктивно-эксплуатационные преимущества	Технологические преимущества	Экономические преимущества
Повышенная несущая способность, связанная с работой бетонного ядра под пространственным сжатием	Стальная оболочка выполняет функцию постоянной опалубки, сокращая этапы подготовки	Существенное уменьшение металлоемкости конструкции по сравнению с традиционными стальными колоннами
Металлическая труба одновременно выполняет роль продольного и поперечного армирования, улучшая распределение напряжений	Возможность ускоренного монтажа каркаса благодаря готовности трубобетонных элементов к непосредственной установке	Ускорение сроков возведения зданий, что в ряде случаев сокращает календарный цикл строительства в 1,5–2 раза
Пластичность работы элемента в предельных состояниях, снижающая вероятность мгновенного разрушения	Сокращение объема сварочных операций за счет заводской подготовки элементов	Уменьшение затрат на сооружение за счет сокращения объемов работ и снижения стоимости материалов

Конструктивно-эксплуатационные преимущества	Технологические преимущества	Экономические преимущества
Высокая устойчивость к воздействию сейсмических нагрузок, ударных и ветровых эффектов	Возможность получения прочного бетонного ядра при применении смесей средней прочности и легких заполнителей	—
Лучшие показатели огнестойкости по сравнению со стальными колоннами открытого профиля	—	—
Увеличение долговечности бетонного ядра и его устойчивости к внешним атмосферным воздействиям	—	—
Улучшенные деформационные и реологические свойства бетона благодаря ограничению его объема металлической оболочкой	—	—
Меньшая масса несущего элемента при сохранении высокой несущей способности	—	—

Исходя из данных табл. 1. можно сделать вывод, что трубобетон представляет собой не просто конструктивную альтернативу, а целостную технологию, которая увеличивает надежность и устойчивость каркасных систем при одновременном снижении материалоемкости. Корректность и полнота расчетов, а также развитие нормативной базы постепенно расширяют сферы применения таких систем, что подтверждает уже накопленный мировой опыт. Так, нормативная база, регулирующая проектирование и применение трубобетонных конструкций в России, складывается из нескольких групп документов, охватывающих как общие требования к бетону и железобетону, так и специальные положения, связанные со сталежелезобетонными и комбинированными элементами. Основой нормативного регулирования остаются положения СП 63.13330.2018, где задаются базовые принципы расчета обычных и армированных бетонных конструкций. Документ описывает критерии безопасности, долговечности, требования к трещиностойкости и эксплуатации – все это напрямую относится и к трубобетонным элементам, поскольку расценивать их следует как разновидность композитных систем, где бетонное ядро и металлическая оболочка работают совместно.

Применительно к условиям производства элементов, значимым остается СП 130.13330.2018, который регламентирует производство сборных железобетонных конструкций. Требования этого свода правил особенно важны при заводском изготовлении трубобетонных колонн, поскольку технологическая

часть качества бетона, условия ухода и формирования определяет эксплуатационные свойства будущего элемента. Важным является СП 131.13330.2020, задающий климатические параметры, которые обязательно учитываются в расчете трубобетонных колонн. Так как работа таких элементов чувствительна к температурным перепадам, морозостойкости и влажностным воздействиям, этот документ выполняет функцию общей климатической рамки для проектировщика.

Ключевым специализированным документом, непосредственно затрагивающим трубобетон, является СП 266.1325800.2016. В нем собраны требования к сталежелезобетонным конструкциям и положения о колоннах с бетонным ядром и стальной оболочкой. Данный документ фактически является отправной точкой для расчета трубобетона, поскольку содержит правила выбора материалов, требования к прочности, расчетные предпосылки и схемы совместной работы компонентов. В этом своде правил также описан перечень ссылочных документов, которые необходимо проверять на актуальность через Федеральный информационный фонд стандартов. Дополнительно на сферу трубобетонных конструкций влияют документы, посвященные новым видам материалов, такие как СП 295.1325800.2017, СП 297.1325800.2017, СП 360.1325800.2017, СП 405.1325800.2018, где рассматриваются конструкции с композитной арматурой, неметаллической фиброй, полимерными элементами и фибробетонами. Несмотря на то, что они не регламентируют трубобетон напрямую,

часть принципов, например, учет деформационных свойств или особенности работы фибробетона, могут использоваться при проектировании комбинированных систем.

В различных конструктивных схемах, в которых применяются труботетонные колонны, особое внимание следует уделить СП 337.1325800.2017. Данный документ позволяет установить четкие требования к материалам, нагрузкам и воздействиям, а также требования по расчету отдельных элементов.

В результате анализа нормативной литературы можно сделать вывод, что нормативная база развивается фрагментарно, а специализированный документ фактически один – СП 266.1325800.2016. На практике это означает, что необходимо комплексно применять несколько документов сразу.

Как подчеркивается в предписаниях СП, проектировщику рекомендуется регулярно проверять действие всех ссылочных стандартов, поскольку актуальность материалов напрямую влияет на корректность расчетов и надежность конструкций. Нормативная база по труботетонным конструкциям в целом сформирована, однако нуждается в дальнейшем развитии, особенно в части расчетных методик, описания совместной работы материалов и интеграции новых высокопрочных бетонов и сталей.

По результату анализа современной строительной практики видно, что труботетонные конструкции постепенно переходят из разряда экспериментальных решений в группу технологий массового применения.

По мнению автора [18], интерес к труботетонным конструкциям в мировой практике сформировался как ответ на потребность в более надежных и технологичных несущих элементах.

Автор подчеркивает, что объединение прочности стали и жесткости бетонного сердечника обеспечивает конструкциям высокую устойчивость к ударным и динамическим воздействиям. По результату анализа ее работы видно, что труботетон занял особое место в строительстве объектов с уникальными нагрузками – мостов, высотных зданий и сооружений, работающих в сейсмоопасных районах.

В работе [18] подробно описываются ранние этапы становления технологии: начиная с опытов Джонса Севела в 1902 г. и последующей методики расчета, предложенной Алексеем Алексеевичем Гвоздевым. На основе этих исторических наблюдений автор делает вывод о длительном и последовательном развитии конструкции, что подтверждается уже реализованными объектами.

Наиболее масштабный опыт внедрения труботетона сформировался в Китае, где данная технология получила широкое распространение.

Одним из ярких примеров проекта с применением данной технологии выделяют арочный мост Chongqing Wushan Bridge с пролетом 460 м, построенный в 2005 г. Диаметр труб может достигать 1,22 м, а масса конструктивных элементов составлять порядка 128 т. Это наглядно демонстрирует технический потенциал труботетонных систем. Также приводится пример успешного использования труботетона в высотном строительстве. Небоскреб SEG Plaza в г. Шэньчжэне, высотой 356 м, находится в сейсмоопасной зоне, и при этом конструктивная схема здания способна воспринимать сейсмическое воздействие до семи баллов по шкале MSK-64. Еще одним примером использования труботетонных конструкций является небоскреб Two Union Square (США), в котором сочетаются бетон сверхвысокой прочности и металлическая труба в виде несъемной опалубки.

Такой системе было дано название Skilling Word Magnusson Berkshire Inc. Расходы на строительство сократились на 30 % по сравнению с традиционным железобетонным. Таким образом, перспективы развития труботетонных конструкций связаны с дальнейшим применением в высотных и мостовых проектах, где требуется обеспечить высокий уровень несущей способности, экономичности и сейсмостойчивости. Также в перечне объектов можно выделить 62-этажный небоскреб коммерческого банка Commerzbank Tower в г. Франкфурте-на-Майне, где применяются нестандартные труботетонные колонны треугольного сечения

Таким образом, масштабная практика применения труботетона в мире (Китай, Германия, США и пр.) доказывают эффективность и самостоятельность такого типа конструктивной схемы.

В работе [23] авторы предлагают иной подход к применению труботетонных конструкций. Такие конструкции обладают высокой эффективностью именно в каркасных зданиях, где малые поперечные размеры колонн и повышенная несущая способность позволяют оптимизировать объемно-планировочные решения. Авторы отмечают, что стальная оболочка создает эффект обоймы, который обеспечивает бетонному ядру условия всестороннего сжатия, а это значительно повышает его фактическую прочность.

По мнению авторов, мировой опыт применения труботетонных конструкций в Китае,

США, Японии, Германии и Австралии показывает очевидный потенциал для развития технологии в странах с активным ростом высотного строительства.

За рубежом трубобетон применяется уже более полувека, а нормативная база в Китае настолько развита, что более 50 % высотных зданий последних лет проектируются именно на его основе.

Отдельный интерес представляет пример строительного проекта мега-района «Сайран» в г. Алматы. Трубобетон позволяет обеспечить

компактные несущие сечения, устойчивость к сейсмическим воздействиям и значительное снижение трудоемкости монтажа за счет отсутствия опалубочных работ.

Использование таких колонн в условиях сейсмичности девяти баллов стало ключевым аргументом для выбора данной технологии в проекте.

Для наглядности и более удобного сопоставления ключевых идей, обобщенные сведения по направлениям применения трубобетонных конструкций сведены в табл. 2.

Таблица 2. Основные направления применения трубобетона

Table 2. The main directions of application of pipe concrete

Основные направления применения	Примеры объектов	Ключевые эффекты
Мосты, высотные здания, сейсмостойкие сооружения	Chongqing Wushan Bridge, SEG Plaza, Commerzbank Tower, Two Union Square	Высокая устойчивость, снижение массы каркаса, устойчивость к землетрясениям
Каркасные здания, строительство в сейсмических регионах	Мега-район «Сайран» (Алматы)	Компактные сечения, ускорение монтажа, уменьшение трудозатрат

Авторы приводят разные группы примеров, но сходятся в одном – технология демонстрирует высокую эффективность в условиях повышенных нагрузок и сложных геотехнических параметров.

По результату выполненного исследования видно, что трубобетон остается одной из наиболее технологичных и перспективных конструктивных систем современного строительства.

Эмпирическим путем было установлено, что в результате объединения металлической оболочки и бетонного ядра, прочность конструкций возрастает в 1,6–2,7 раза.

Подобных показателей невозможно достичь при использовании традиционного вида колонн (железобетонных, металлических).

Теоретические исследования также подтверждают высокую несущую способность при малых поперечных сечениях.

При всех рассмотренных преимуществах, сохраняется проблема внедрения и развития отечественного применения трубобетонных конструкций.

Для полного раскрытия потенциала и возможности повсеместного применения требуется пересмотр текущей нормативной базы. Действующие своды правил содержат требования только к стандартным конструкциям (железобетонные, стальные, композитные и пр.), в то время как трубобетон не регламентируется.

Без специализированного документа с четкой структурой правил успешная реализация

крупных решений с использованием трубобетонных конструкций не представляется возможным. При дальнейшем совершенствовании нормативов и углублении научно-технических исследований, использование трубобетонных систем станет передовой технологией в современном строительстве.

Это даст возможность воплощать новые объемно-планировочные решения с улучшением качества создаваемых сооружений. Адаптация зарубежного опыта позволит выйти на один уровень с мировым строительным сообществом в области применения трубобетонных конструкций.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ мировой практики показал широкое распространение технологии в Китае, США и Германии при строительстве большепролетных мостов и высотных зданий, где применение трубобетона позволяет сократить расход материалов и ускорить темпы монтажа. Вместе с тем, изучение российской нормативной базы свидетельствует о необходимости ее дальнейшей гармонизации и детализации – специализированные требования к трубобетону рассредоточены по нескольким сводам правил, что требует от проектировщика комплексного подхода. В целом, технологию трубобетона следует рассматривать как готовое инженерное решение, способное существенно повысить эффективность и надежность строительных объектов при условии дальнейшего развития методик расчета и адаптации нормативной

базы под современные материалы. Перспективными направлениями развития являются:

1. Создание единого специализированного нормативного документа, полностью охватывающего специфику расчета и проектирования трубобетонных элементов.

2. Адаптация успешного зарубежного опыта возведения трубобетонных конструкций в отечественной строительной практике.

3. Исследование анализа влияния сейсмического воздействия на трубобетонные конструкции.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Конин Д.В., Крылов А.С., Гаврилов Д.Н., Жданова А.А., Воропаева М.И. О работе сталежелезобетонных конструкций при внецентренном сжатии // Промышленное и гражданское строительство. 2023. № 12. С. 31–37. <https://doi.org/10.33622/0869-7019.2023.12.31-37>. EDN: SSHTRX.
2. Konin D. The Coefficient of Longitudinal Bending For Composite Steel-Concrete Rods under Short-Term Loads // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2024. Vol. 20. Iss. 2. P. 177–191. <https://doi.org/10.22337/2587-9618-2024-20-2-177-191>.
3. Habibi A., Fanaie N., Shahbazpanahi S. Experimental and Numerical Investigation of I-Beam to Concrete-Filled Tube (CFT) Column Moment Connections with Pipe-Stiffened Internal Diaphragm // Journal of Constructional Steel Research. 2023. Vol. 200. P. 107648. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2022.107648>.
4. Yuyang Wang, Shengli Yang, Lianchang Han, Yong Liu, Bo Xue, Jian Li Application Research on Composite Support Technology of Concrete-Filled Steel Tube Support in High Stress and Large Deformation Soft Rock Roadway: A Case Study // Structures. 2024. Vol. 60. P. 105814. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2023.105814>.
5. Ding Faxing, Lu Deren, Lai Zhichao, Liu Xuemei Study on Restraint Coefficient of the Stirrups-Stiffened Square Concrete Filled Double-Skin Steel Tube Axial Compression Stub Columns // Structures. 2024. Vol. 60. P. 105847. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2023.105847>.
6. Ren-ke He, Hong-sheng Xu, Dong-huang Yan, Zhuang-peng Yi, Hao Li Calculation of Ultimate Bearing Capacity of Concrete-Filled Double Steel Tubular under Compression Based on the Unified Strength Theory // Structures. 2023. Vol. 58. P. 105384. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2023.105384>.
7. Le Huang, Tao Yu, Guan Lin, Shi-Shun Zhang Confinement Mechanism of FRP-Confined Concrete-Encased Cross-Shaped Steel Columns // Engineering Structures. 2023. Vol. 276. P. 115349. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2022.115349>.
8. Yueyang Sun, Shaowei Hu, Yiqun Huang, Xiang Xue Analytical Stress Model for Embedded Bar-Wrapped Cylinder Concrete Pressure Pipe under Internal Load // Thin-Walled Structures. 2020. Vol. 149. P. 106540. <https://doi.org/10.1016/j.tws.2019.106540>.
9. Kozhanov D., Khazov P., Shkoda I., Likhacheva S. Strength and Stability of a Pipe-Concrete Column of a High-Rise Building // Magazine of Civil Engineering. 2024. Vol. 17. Iss. 2. P. 1–11. <https://doi.org/10.34910/MCE.126.1>. EDN: KOTQFJ.
10. Римшин В.И., Кришан А.Л., Астафьева М.А. Самозаклинивающиеся элементы в трубобетонных колоннах // Academia. Архитектура и строительство. 2023. № 3. С. 140–148. <https://doi.org/10.22337/2077-9038-2023-3-140-148>. EDN: OJSKYD.
11. Анищенко В.М., Миронов А.Н. Применение трубобетонных конструкций в строительстве // Металлические конструкции. 2022. Т. 28. № 4. С. 183–194. EDN: HDREOU.
12. Guofeng Du, Andjelic A., Zhao Li, Zhen Lei, Xuemeng Bie Residual Axial Bearing Capacity of Concrete-Filled Circular Steel Tubular Columns (CFCSTCs) after Transverse Impact // Applied Sciences. 2018. Vol. 8. Iss. 5. P. 1–17. <https://doi.org/10.3390/app8050793>.
13. Кришан А.Л., Римшин В.И., Сагاداتов А.И. Прочность контакта бетонного ядра и стальной оболочки сжатых трубобетонных элементов // БСТ: бюллетень строительной техники. 2016. № 6. С. 68–69. EDN: VZKYQN.
14. Долженко А.А. Трубобетонные конструкции на строительстве производственного здания // Промышленное строительство. 1965. № 6. С. 23–26.
15. Долженко А.А. Усадка бетона в трубчатой обойме // Бетон и железобетон. 1960. № 8. С. 353–358.
16. Ерофеев В.Т., Черкасов В.Д., Лаптев Г.А., Ерофеев П.С., Меркулов А.И. Экспериментально-теоретическое обоснование создания металлобетонных с оптимальной структурой и повышенной долговечностью // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 2015. № 1. С. 70–76. EDN: TVOWDZ.
17. Засорина Е.С., Салатов Е.К. Особенности применения трубобетона в современном строительстве // Вестник Московского информационно-технологического университета – Московского архитектурно-строительного института. 2021. № 2. С. 34–38. https://doi.org/10.52470/2619046X_2020_2_34. EDN: IWBPRW.
18. Исаева Е.П. Современный опыт применения трубобетонных конструкций // Вестник науки. 2024. Т. 3. № 1. С. 817–822. EDN: BWPQDI.
19. Кришан А.Л., Гареев М.Ш., Сагاداتов А.И. Предварительно обжатые трубобетонные элементы кольцевого сечения // Бетон и железобетон. 2008. № 4. С. 7–11. EDN: JUKFIR.

20. Колчунов В.И. Основные направления развития конструктивных решений и обеспечение безопасности жилища // Известия Орловского государственного технического университета. Серия: Строительство и транспорт. 2007. № 2-14. С. 154–159. EDN: KZHKVB.
21. Кришан А.Л., Римшин В.И., Астафьева М.А., Трошкина Е.А. Прочность и деформативность бетона сжатых и изгибаемых железобетонных элементов с косвенным армированием // Строительные материалы. 2019. № 6. С. 8–11. <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-771-6-8-11>. EDN: ZXTMXJ.
22. Кришан А.Л., Кришан М.А., Сабиров Р.Р. Перспективы применения трубобетонных колонн на строительных объектах России // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2014. № 1. С. 137–140. EDN: RZPTUD.
23. Курманов А.К., Абденбаева А.Б. Перспектива развития строительства с применением трубобетонных конструкций в Казахстане // Наука и техника Казахстана. 2019. № 1. С. 15–21. EDN: KXSWYL.
24. Михайлова Т.Я. Преимущества и недостатки трубобетонных конструкций. практика и перспектива применения трубобетона // Вестник науки. 2024. Т. 4. № 1. С. 610–613. EDN: YRSQKY.
25. Серых И.Р., Дегтярь А.Н., Наумов А.Е. Эффект применения сталебетонных колонн // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2014. № 5. С. 63–66. EDN: SXDJQZ.
26. Семененко Я.П. Определение несущей способности бетонного ядра, заключенного в сплошную стальную обойму // Бетон и железобетон. 1960. № 3. С. 125–129.
27. Травуш В.И. Безопасность и устойчивость в приоритетных направлениях развития России // Academia. Архитектура и строительство. 2006. № 2. С. 9.
28. Травуш В.И., Конин Д.В., Рожкова Л.С., Крылов А.С., Каприелов С.С., Чилин И.А. и др. Экспериментальные исследования сталежелезобетонных конструкций, работающих на внецентренное сжатие // Academia. Архитектура и строительство. 2016. № 3. С. 127–135. EDN: WWOVFZ.
29. Травуш В.И., Каприелов С.С., Конин Д.В., Крылов А.С., Чилин И.А. Экспериментальные исследования сталежелезобетонных конструкций, работающих на изгиб // Строительство и реконструкция. 2017. № 4. С. 63–71. EDN: ZHHHJJ.
30. Тюкин К.П. Трубобетон: актуальность применения // Шаг в науку. 2016. № 1. С. 183–187. EDN: YSRCJF.

REFERENCES

1. Konin D.V., Krylov A.S., Gavrilov D.N., Zhdanova A.A., Voropaeva M.I. On the Operation of Steel-Reinforced Concrete Structures with Eccentric Compression. *Industrial and Civil Engineering*. 2023;12:31-37. (In Russ.). <https://doi.org/10.33622/0869-7019.2023.12.31-37>. EDN: SSHTRX.
2. Konin D. The Coefficient of Longitudinal Bending For Composite Steel-Concrete Rods under Short-Term Loads. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2024;20(2):177-191. <https://doi.org/10.22337/2587-9618-2024-20-2-177-191>.
3. Habibi A., Fanaie N., Shahbazpanahi S. Experimental and Numerical Investigation of I-Beam to Concrete-Filled Tube (CFT) Column Moment Connections with Pipe-Stiffened Internal Diaphragm. *Journal of Constructional Steel Research*. 2023;200:107648. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2022.107648>.
4. Yuyang Wang, Shengli Yang, Lianchang Han, Yong Liu, Bo Xue, Jian Li Application Research on Composite Support Technology of Concrete-Filled Steel Tube Support in High Stress and Large Deformation Soft Rock Roadway: A Case Study. *Structures*. 2024;60:105814. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2023.105814>.
5. Ding Faxing, Lu Deren, Lai Zhichao, Liu Xuemei Study on Restraint Coefficient of the Stirrups-Stiffened Square Concrete Filled Double-Skin Steel Tube Axial Compression Stub Columns. *Structures*. 2024;60:105847. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2023.105847>.
6. Ren-ke He, Hong-sheng Xu, Dong-huang Yan, Zhuang-peng Yi, Hao Li Calculation of Ultimate Bearing Capacity of Concrete-Filled Double Steel Tubular under Compression Based on the Unified Strength Theory. *Structures*. 2023;58:105384. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2023.105384>.
7. Le Huang, Tao Yu, Guan Lin, Shi-Shun Zhang Confinement Mechanism of FRP-Confined Concrete-Encased Cross-Shaped Steel Columns. *Engineering Structures*. 2023;276:115349. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2022.115349>.
8. Yueyang Sun, Shaowei Hu, Yiqun Huang, Xiang Xue Analytical Stress Model for Embedded Bar-Wrapped Cylinder Concrete Pressure Pipe under Internal Load. *Thin-Walled Structures*. 2020;149:106540. <https://doi.org/10.1016/j.tws.2019.106540>.
9. Kozhanov D., Khazov P., Shkoda I., Likhacheva S. Strength and Stability of a Pipe-Concrete Column of a High-Rise Building. *Magazine of Civil Engineering*. 2024;17(2):1-11. <https://doi.org/10.34910/MCE.126.1>. EDN: KOTQFJ.
10. Rimshin V.I., Krishan A.L., Astafeva M.A. Self-Locking Elements in Pipe-Concrete Columns. *Academia. Architecture and Construction*. 2023;3:140-148. (In Russ.). <https://doi.org/10.22337/2077-9038-2023-3-140-148>. EDN: OJSKYD.

11. Anishchenkov V.M., Mironov A.N. Application of Pipe Concrete Structures in Construction. *Metal Constructions*. 2022;28(4):183-194. (In Russ.). EDN: HDREOU.
12. Guofeng Du, Andjelic A., Zhao Li, Zhen Lei, Xuemeng Bie Residual Axial Bearing Capacity of Concrete-Filled Circular Steel Tubular Columns (CFCSTCs) after Transverse Impact. *Applied Sciences*. 2018;8(5):1-17. <https://doi.org/10.3390/app8050793>.
13. Krishan A.L., Rimshin V.I., Sagadatov A.I. Durability of Contact of the Concrete Kernel and Steel Cover of the Squeezed Trubobetonny Elements. *BST: byulleten' stroitel'noi tekhniki*. 2016;6:68-69. (In Russ.). EDN: VZKYQN.
14. Dolzhenko A.A. Tube-Concrete Structures in the Construction of an Industrial Building. *Promyshlennoe stroitel'stvo*. 1965;6:23-26. (In Russ.).
15. Dolzhenko A.A. Shrinkage of Concrete in a Tubular Shell. *Beton i zhelezobeton*. 1960;8:353-358. (In Russ.).
16. Erofeev V.T., Cherkasov V.D., Laptev G.A., Erofeev P.S., Merkulov A.I. Heoretical and Experimental Study for the Establishment of Metallobeta with Optimal Structure and Enhanced Durability. *Academic Bulletin of the UralNIIProekt RAASN*. 2015;1:70-76. (In Russ.). EDN: TVOWDZ.
17. Zazorina E.S., Salatov E.K. Features of Tube-Confined Concrete in Modern Construction. *Vestnik Moskovskogo informatsionno-tekhnologicheskogo universiteta – Moskovskogo arkhitekturno-stroitel'nogo instituta*. 2021;2:34-38. (In Russ.). https://doi.org/10.52470/2619046X_2020_2_34. EDN: IWBPRW.
18. Isaeva E.P. Modern Experience in the Use of Pipe-Concrete Structures. *Vestnik nauki*. 2024;3(1):817-822. (In Russ.). EDN: BWPQDI.
19. Krishan A.L., Gareev M.Sh., Sagadatov A.I. Pre-Stressed Concrete-Filled Steel Tubular Elements of Annular Cross-Section. *Concrete and Reinforced Concrete*. 2008;4:7-11. (In Russ.). EDN: JUKFIR.
20. Kolchunov V.I. Main Directions of Development of Design Solutions and Ensuring Home Safety. *Izvestiya Orlovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i transport*. 2007;2-14:154-159. (In Russ.). EDN: KZHKVB.
21. Krishan A.L., Rimshin V.I., Astaf'eva M.A., Troshkina E.A. Strength and Deformability of Concrete of Compressed and Bending Reinforced Concrete Elements with Shear Reinforcement. *Construction Materials*. 2019;6:8-11. (In Russ.). <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-771-6-8-11>. EDN: ZXTMXJ.
22. Krishan A.L., Krishan M.A., Sabirov R.R. Perspectives to Apply Concrete Filled Steel Tube Columns in Construction Projects of Russia. *Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University*. 2014;1:137-140. (In Russ.). EDN: RZPTUD.
23. Kurmanov A.K., Abdenbayeva A.B. The Perspective of Building Development with Using the Tube-Concrete Constructions in Kazakhstan. *Science and Technology of Kazakhstan*. 2019;1:15-21. (In Russ.). EDN: KXSUYL.
24. Mikhailova T.Ya. Advantages and Disadvantages of Tube Concrete Structures. Practice and Prospects of Using Tube Concrete. *Vestnik nauki*. 2024;4(1):610-613. (In Russ.). EDN: YRSQKY.
25. Serykh I.R., Degtyar' A.N., Naumov A.E. The Effect of Using Steel-Concrete Columns. Bulletin of Belgorod State Technological University Named After. V.G. Shukhov. 2014;5:63-66. (In Russ.). EDN: SXDJQZ.
26. Semenenko Ya.P. Determination of the Load-Bearing Capacity of a Concrete Core Enclosed in a Solid Steel Shell. *Beton i zhelezobeton*. 1960;3:125-129. (In Russ.).
27. Travush V.I. Security and Sustainability in Priority Areas of Russia's Development. *Academia. Architecture and Construction*. 2006;2:9. (In Russ.).
28. Travush V.I., Konin D.V., Rozhkova L.S., Krylov A.S., Kaprielov S.S., Chilin I.A. et all. Experimental Study of Composite Structures, Working for Eccentric Compression. *Academia. Architecture and Construction*. 2016;3:127-135. (In Russ.). EDN: WWOFVZ.
29. Travush V.I., Kaprielov S.S., Konin D.V., Krylov A.S., Chilin I.A. Experimental Study of Composite Structures for Bending Elements. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*. 2017;4:63-71. (In Russ.). EDN: ZHHHJJ.
30. Tyukin K.P. Tube Concrete: Utility Applications. *Step into Science*. 2016;1:183-187. (In Russ.). EDN: YSRCJF.

Информация об авторах

Ермилов Павел Андреевич,
аспирант,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова 83, Россия,
✉e-mail: p.yermilov.00@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0006-5227-4910>

Information about the authors

Pavel A. Ermilov,
Postgraduate Student,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074,
Russia,
✉e-mail: p.yermilov.00@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0006-5227-4910>

Дмитриева Татьяна Львовна,

д.т.н., доцент,
заведующий кафедрой механики
и сопротивления материалов,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова 83, Россия,
e-mail: dmitrievat@list.ru
<http://orcid.org/0000-0002-4622-9025>
Author ID: 312501

Слободчикова Надежда Анатольевна,

к.т.н., доцент,
доцент кафедры автомобильных дорог,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: NSlobodchikova@rambler.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7845-2969>
Author ID: 518380

Молодин Владимир Викторович,

д.т.н., доцент, заведующий кафедрой
технологии и организации строительства,
Советник РААСН,
Новосибирский государственный
архитектурно-строительный университет
(Сибстрин),
630008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, 113,
Россия,
e-mail: molodin@sibstrin.ru
Author ID: 713134

Tatyana L. Dmitrieva

Dr. Sci. (Eng.), Associate Professor,
Head of the Department of Mechanics
and Strength of Materials,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074,
Russia,
e-mail: dmitrievat@list.ru
<http://orcid.org/0000-0002-4622-9025>
Author ID: 312501

Nadezhda A. Slobodchikova,

Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor,
Associate Professor of the Department
of Automobile Roads,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: NSlobodchikova@rambler.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7845-2969>
Author ID: 518380

Vladimir V. Molodin,

Dr. Sci. (Eng.), Associate Professor,
Head of the Department of Technology
and Organization of Construction,
Advisor to the RAACS,
Novosibirsk State University of architecture
and Civil Engineering (SIBSTRIN),
113 Leningradskaya St., Novosibirsk 630008,
Russia,
e-mail: molodin@sibstrin.ru
Author ID: 713134

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад
в подготовку публикации.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта
интересов.

Все авторы прочитали и одобрили
окончательный вариант рукописи.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 22.12.2025.
Одобрена после рецензирования 30.01.2026.
Принята к публикации 05.02.2026.

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests
regarding the publication of this article.

The final manuscript has been read
and approved by all the co-authors.

Information about the article

The article was submitted 22.12.2025.
Approved after reviewing 30.01.2026.
Accepted for publication 05.02.2026.