

ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

TECHNOLOGY AND ORGANIZATION OF CONSTRUCTION



УДК 69.07:693


<https://doi.org/10.23947/2949-1835-2026-5-1-68-78>

Обзор предметного поля

Общие тенденции развития строительных технологий

А.Х. Байбурин  , А.А. Мельник , А.Р. Лебедь 

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Российская Федерация

 abayburin@mail.ru



EDN: HSTYXP

Аннотация

Введение. Развитие строительного комплекса происходит, главным образом, по законам рынка без глубокого анализа тенденций его развития как системы. Государственное регулирование отрасли не в полной мере использует прогнозный анализ на научной основе, а чаще ориентируется на мировой опыт в виде мало связанных данных. Цель работы – восполнить этот пробел общим обзором исследований с привязкой к общим закономерностям развития строительных технологий.

Материалы и методы. Исследование включало в себя поиск информации из открытых источников, её анализ и обобщение с целью определения общих тенденций развития строительных технологий. Использовались материалы авторских исследований и практического опыта строительства. Анализ проводился с использованием законов развития технических систем.

Результаты исследования. Определены этапы эволюции технологий – сборных, литевых (монолитных) и сборно-монолитных) – и пути совершенствования строительных материалов с повышением их физико-механических свойств и одновременным снижением массы, вредных выбросов, стоимости. Выявлено, что совершенствование материалов за счет прямой взаимосвязи в системе с конструкциями приводит также к их динамичному развитию, они становятся более прочными, легкими, многофункциональными и влияют на архитектурно-планировочные решения, увеличивая полезное продаваемое пространство. Отмечены проблемные вопросы, сдерживающие развитие цифровых технологий изготовления конструкций: контроль ранней гидратации 3D-печатного бетона и связь с реологией, обеспечение межслойного сцепления, прочности, внедрение автоматизированного армирования и, в целом, связь между технологией, материалом и эксплуатационными характеристиками как с точки зрения структурной прочности, так и долговечности. Сформулированы основные требования к разработке проектов зданий и сооружений и их частей: экономия пространства, материалов и энергии за счет комплексного проектирования, включающего объединение всех систем здания (структурных, механических, гидравлических, воздушных и электрических) в единую систему. Рассмотрено развитие технологии крупноблочного (модульного) строительства, в том числе и научные исследования сотрудников ЮУрГУ по технологии опускающегося бетона. Уделено внимание мировому опыту модульного строительства и направлению развития модульных комплексных систем.

Обсуждение и заключение. Сделаны выводы о том, что к общим тенденциям развития строительных технологий можно отнести: ускорение крупноблочного (модульного) и монолитного строительства за счет совершенствования материалов (высокофункциональных бетонов, укрупненных армокаркасов, фибры), применения автоматизированных эффективных механизмов, префаб-элементов, оснащения модулей инженерными сетями; уменьшение трудоемкости и повышение управляемости строительного производства за счет снижения трудозатрат в предлагаемых строительных технологиях, автоматизации и цифровизации ведущих процессов; использование в комплексном проектировании технологий информационного моделирования, нейронных сетей, рациональной компоновки внутреннего пространства здания; повышение функциональности и эстетичности фасадных технологий.

Ключевые слова: строительные технологии, монолитное строительство, 3D-печать, модульное строительство, высокофункциональные бетоны, цифровизация строительных проектов, энергосбережение зданий, префаб-конструкции, роботизация строительства.

Благодарности. Статья подготовлена при поддержке девелоперской компании «Брусника». Авторы благодарят коллектив кафедры строительного производства и теории сооружений Южно-Уральского государственного университета, участвовавший в научных исследованиях технологии опускающегося бетона совместно с авторами статьи.

Для цитирования. Байбурин А.Х., Мельник А.А., Лебедь А.Р. Общие тенденции развития строительных технологий. *Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий*. 2026;5(1):68–78. <https://doi.org/10.23947/2949-1835-2026-5-1-68-78>

Subject Field Overview

General Trends in the Development of Construction Technologies

Albert Kh. Baiburin  , Andrey A. Melnik , Anna R. Lebed 

South Ural State University, 76 Lenin Ave., Chelyabinsk, Russian Federation

 abayburin@mail.ru

Abstract

Introduction. The construction industry depends largely in compliance with the laws of the market with no in-depth analysis of its development trends as a system. Government regulation of the industry fails to make a full use of an evidence-based predictive analysis, but rather is more frequently guided by international experience in the form of small data. The aim of the study is to bridge this gap by means of a general overview of the research related to the general patterns of the development of construction technologies.

Materials and Methods. The research included the search for information from open sources, its analysis and synthesis in order to identify the general trends in the development of construction technologies. Materials from the authors' research were employed. The analysis was conducted using the laws of the development of technical systems.

Research Results. The stages of the evolution of building technologies including prefabricated, monolithic, and precast-monolithic methods are discussed. Ways of improving building materials by means of increasing their physical and mechanical properties, reducing weight, and lowering harmful emissions and costs are also identified. It is noteworthy that the improvement of these materials by their direct relationship with structures results in their dynamic development. It is found that the improvement of materials due to the direct relationship in the system with structures also leads to their dynamic development, they become more durable, lightweight, multifunctional and influence architectural and planning solutions increasing useful selling space. Issues hindering the development of digital technologies for the manufacture of structures are noted: control of early hydration of 3D-printed concrete and a relationship with rheology, ensuring inter-layer adhesion, strength, introduction of automated reinforcement and generally the relationship between technology, material and performance characteristics in terms of both structural strength and durability. The basic requirements for the design of buildings and structures and their parts are designed: saving space, materials and energy through integrated design, which includes the integration of all the building systems (structural, mechanical, hydraulic, air and electrical) into a single system. The development of the technology of large-block (modular) construction is considered including the research of SUSU employees on the technology of sinking concrete. Attention is paid to the global experience of modular construction and the direction of development of modular integrated systems.

Discussion and Conclusion. It is concluded that the general trends in the development of construction technologies include: acceleration of large-block (modular) and monolithic construction by improving materials (high-functional concretes, enlarged reinforced frames, fibers), use of automated efficient mechanisms, prefab elements, equipping modules with engineering networks; reducing the complexity and increasing the manageability of construction production by reducing labor costs in the proposed construction technologies, automation and digitalization of the major processes; use of information modeling technologies, neural networks, and rational layout of the interior of a building in complex design; improving the functionality and aesthetics of facade technologies.

Keywords: construction technologies, monolithic construction, 3D printing, modular construction, high-functional concretes, digitalization of construction projects, energy saving of buildings, prefab structures, robotization of construction.

Acknowledgments. The article was prepared with the support of the development company "Brusnika". The authors would like to thank the staff of the Department of Construction Production and Theory of Structures at South Ural State University who participated in the research on the technology of sinking concrete along with the authors of the article.

For citation. Baiburin AKh, Melnik AA, Lebed AR General Trends in the Development of Construction Technologies. *Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning*. 2026;5(1):68–78. <https://doi.org/10.23947/2949-1835-2026-5-1-68-78>

Введение. Развитие строительных технологий происходит по общим закономерностям развития технических систем: S-образное развитие; полнота частей системы; «энергетическая проводимость» системы; согласование ритмики частей системы; неравномерность развития частей системы; переход в надсистему; вытеснение человека и повышение уровня управляемости; динамизация. Указанные закономерности имеют мультипликативный характер, то есть реализация одного закона происходит через действие других. Эти тенденции прослеживаются и в строительстве при исследовании взаимодействия системы «материалы — конструкции — параметры здания». Целью данного литературного обзора является выявление связей и закономерностей взаимодействия элементов системы для фокусирования на наиболее важных и перспективных направлениях развития строительной отрасли, что будет полезно для использования участниками строительного комплекса и обучения студентов.

Материалы и методы. В данном исследовании применен классический метод обзора научной литературы с анализом различных факторов и признаков, выявлением связей элементов в системе строительства, перспективных направлений развития, нежелательных эффектов и возможных путей их минимизации. На основе рассмотренных информационных источников выполнена систематизация и обобщение данных исследований, выдвинуты гипотезы. Из рассмотренных источников были выбраны наиболее важные и информативные, в том числе иностранные и отечественные, а также описывающие собственные разработки авторов данной статьи.

Результаты исследования. На основе анализа мирового опыта, приведенного в информационных ресурсах, в строительной сфере можно отметить эволюцию основных вариантов технологии производства строительных конструкций (сборных, литевых (монолитных) и сборно-монолитных):

- ручная кладка из мелких и крупных блоков, деревянных изделий;
- механизированный монтаж из укрупненных изделий (щитов, панелей, модулей, блоков большепролетных покрытий);
- механизированный монтаж укрупненных изделий повышенной или полной заводской готовности (с окнами, отделкой, инженерными системами) — так называемых префаб-элементов;
- автоматизированный и роботизированный монтаж сборных изделий.

Эволюционируют не только материалы для сборного строительства, но и способы соединения сборных элементов: от мокрых процессов и трудоемкой сварки переходят к сухим и технологичным соединениям (болтовым, штыревым, муфтовым, петлевым и т.д.).

В литевой технологии с применением растворов бетонов и других строительных смесей наблюдаются те же этапы с вытеснением человека и повышением управляемости:

- ручная литевая технология;
- механизированное изготовление, транспортирование и укладка смесей;
- применение опалубочных агрегатов и армоопалубочных блоков;
- роботизированная технология 3D-печати и монтажа зданий из предварительно напечатанных 3D-блоков.

Одновременно происходит совершенствование материалов с повышением их физико-механических свойств и снижением массы, вредных выбросов, стоимости. Причем развитие материалов движется с макро- на микро- и далее на наноуровень. Прогнозирование и проектирование свойств материала сначала происходит на уровне макроструктур, затем молекул, атомов и элементарных частиц. Традиционные бетоны заменяются высокофункциональными, высокопрочными, самоуплотняющимися с широким применением минеральных и химических добавок. Появляются новые функции материалов, например самоочистение за счет регулирования микроструктуры применением фотокаталитических добавок.

Теплоэффективные пустотелые кирпичи и камни приходят на смену полнотелым. Согласно линии развития технических систем следующим шагом должен быть капиллярно-пористый материал (КПМ) с определенной структурой, например повышающей паропроницаемость материала от внутренней поверхности к наружной за счет величины пор. Поры могут быть заполнены другим веществом, например клеем, который будет выделяться из поверхностного слоя стеновых блоков, скрепляя их. За счет управляемой микроструктуры может быть осуществлен принцип самообновления красок на фасаде.

Широко применяют различные строительные композиты со специальными свойствами: самоочистение; заλείвание трещин; поглощение парниковых газов. Простое армирование литых конструкций заменяется регулируемым предварительно напряженным либо ферромагнитной фиброй с возможностью управления магнитным и тепловым полем.

Эволюция материалов является основой совершенствования конструкций. Конструкции оценивают по удельным показателям отношения: массы к пролету, высоте или перекрываемой площади; эксплуатационной характеристики (прочности, теплосопротивления, звукоизоляции, долговечности и пр.) к собственному весу, стоимости производства и монтажа. Эти простые отношения, выражающие закон увеличения степени идеальности, показывают, как со временем происходят прогрессивные изменения в строительных материалах, конструкциях и сооружениях.

В последнее время появился термин «цифровое производство бетона» [1]. Цифровые методы производства бетона и вяжущих материалов стали объектом многочисленных исследований и промышленной активности, а индустриализация таких технологий, как 3D-печать, становится всё более реальной. Потенциал революционных изменений в строительстве нарастает не только за счёт снижения затрат, но и за счёт повышения экологической устойчивости и функциональности. Проблемы, связанные с материалами для печатного бетона, значительны. Главными из них являются контроль ранней гидратации и связь с реологией, обеспечение межслойного сцепления, прочности, внедрение автоматизированного армирования и в целом связь между технологией, материалом и эксплуатационными характеристиками как с точки зрения структурной прочности, так и долговечности. Междисциплинарный подход здесь имеет решающее значение, поскольку эта область объединяет множество разрозненных направлений и до сих пор была движима только такими областями, как архитектура и строительство.

Новые конструкции, становясь все более прочными, легкими, многофункциональными влияют на архитектурно-планировочные решения, увеличивая полезное продаваемое пространство. Простой пример такого решения очевиден при замене каркаса с выступающими за плоскость потолка ригелями на каркас с «потайными» ригелями, образующими вместе с перекрытиями плоский потолок (например, дома конструкции МКТ, построенные в г. Миассе Челябинской области). Так, если ригель выступает за плоскость потолка на 30 см, то в 10-этажном здании при устройстве гладких потолков теряется полноценный этаж. В офисных, торговых, спортивных зданиях потеря пространства связана с устройством габаритных инженерных систем в уровне потолка или пола. Уменьшение толщины наружных ограждающих конструкций за счет применения инноваций обеспечивает существенную экономию полезной площади в многоэтажных зданиях.

Концепция «3 for 2» (3 этажа за 2) нацелена на экономию пространства, материалов и энергии за счет комплексного проектирования [2]. Поскольку мир адаптируется к двойной тенденции изменения климата и урбанизации, высотные офисные здания в зонах с жарким и влажным климатом являются одними из главных кандидатов на существенное изменение подхода к проектированию. Комплексный подход в проектировании уделяет особое внимание сокращению размеров инженерных коммуникаций, представляя новую парадигму оптимизации использования пространства, материалов и энергии в зданиях: комплексная интеграция всех систем здания — структурных, механических, гидравлических, воздушных и электрических — на протяжении всего жизненного цикла здания от раннего проектирования до строительства и эксплуатации.

Концепция «3 for 2» реализована в пилотном проекте некоммерческой международной школы в Сингапуре¹. В новых коммерческих зданиях Сингапура до трети закрытых объемов обычно занимают технические системы и конструктивные элементы, занимая ценное пространство, которое в противном случае могло бы быть отведено для жильцов. Стандартные централизованные системы кондиционирования воздуха, используемые в настоящее время, являются одними из основных потребителей этого пространства. В проекте «3 for 2» демонстрируются технологии кондиционирования воздуха, ранее редко применявшиеся в коммерческих зданиях Юго-Восточной Азии, такие как пассивные охлаждающие балки и системы распределительной вентиляции.

В обзоре «Наука о бетоне: прошлое, настоящее и будущее инноваций» [3] отмечается, что бетон, как самый применяемый строительный материал, стремительно эволюционирует, но одновременно сталкивается с проблемами с точки зрения воздействия на окружающую среду, финансовых потребностей, общественного признания и имиджа. Актуальны исследования радикальных изменений в трёх ключевых аспектах использования бетона: армировании, содержании связующего и методах изготовления. Предполагается, что параллельно с внедрением роботизированных методов производства цифровые технологии могут стать ключом к внедрению ряда инноваций: армирование без арматуры с использованием невыпуклых зернистых сред; бетонные конструкции, оптимизированные для работы на сжатие, с использованием оптимизации топологии, архитектурной геометрии и 3D-печати или опалубки в стиле оригами; по-настоящему цифровой бетон благодаря сочетанию массового сбора данных и глубокого обучения.

Для печатного бетона, впрочем, как и для традиционного, большое значение имеет межслойное сцепление. Прочность сцепления при многослойной укладке самоуплотняющегося бетона изучалась в работе [4]. Исследования ЮУрГУ [5, 6] показали положительное влияние акустической обработки бетона на его водопоглощение, что увеличивает сцепление со старым бетоном, а также позволяет улучшить качество технологических швов применением печатных матриц, различных клеев, добавок и шлакощелочных бетонов.

Для 3D-печати бетона проблема сцепления решается установкой арматуры или введением в смесь фибры. Поскольку использование стальной арматуры является обязательным в большинстве строительных конструкций, существует острая необходимость в развитии технологии армирования 3D-печатных конструктивных элементов.

¹ United World College, Singapore. URL: <http://www.systems.arch.ethz.ch/de/research/synergistic-buildings/3for2-beyond-efficiency.html> (дата обращения: 18.07.2025).

В исследовании [7] проведено обоснование 3D-печати стальной арматуры с использованием дуговой сварки металлическим электродом в среде защитного газа. Механические характеристики напечатанных стержней продемонстрировали сопоставимые механические свойства с обычной стальной арматурой того же диаметра.

Логически более технологичным является, по нашему мнению, использование дополнительного манипулятора 3D-принтера, разматывающего и нарезающего на нужные отрезки проволочную арматуру, либо использование фибры из различных материалов. Итоги подобных разработок докладывались на Первой международной конференции RILEM 2018 года по цифровому бетону.

На конференции отмечалось, что большинство исследований печатного бетона проведено на мелких моделях и не учитывает масштабных эффектов. В настоящее время среди крупномасштабных конструкций из цифрового бетона (DFC) реализованы мосты (например, в Китае, Нидерландах, Испании), а также двухэтажные дома, напечатанные за 22 дня в Китае. Масштабные испытания элементов, изготовленных по технологии DFC, показали [8], что требуется осторожность, поскольку испытания материалов, связанные с DFC, находятся в стадии разработки, а масштабные эффекты DFC практически не изучены. Поэтому рекомендуется проводить крупномасштабные испытания в диапазоне от 1:5 до 1:1, если DFC применяется к ответственным конструкциям.

Другой существенный недостаток печатного бетона заключается в низкой производительности цифрового производства DFAB в строительстве. В исследовании [9] произведен анализ затрат и времени на роботизированное возведение стены. В данном примере было обнаружено, что производительность выше при использовании роботизированного метода строительства для сложных стен (например, наружных и декоративных), что указывает на возможность получения значительной экономической выгоды от использования аддитивного DFAB именно для возведения сложных конструкций.

Однако для высотных зданий технология DFC неприменима. Но это не значит, что традиционная технология сборного и монолитного домостроения не будет автоматизироваться и роботизироваться. Еще в 1995 году на конференции в Бельгии была представлена всепогодная автоматизированная система строительства высотных железобетонных зданий [10]. Впервые в мире она была применена при строительстве 15-этажного железобетонного здания в префектуре Тиба в 1995 году (рис. 1).

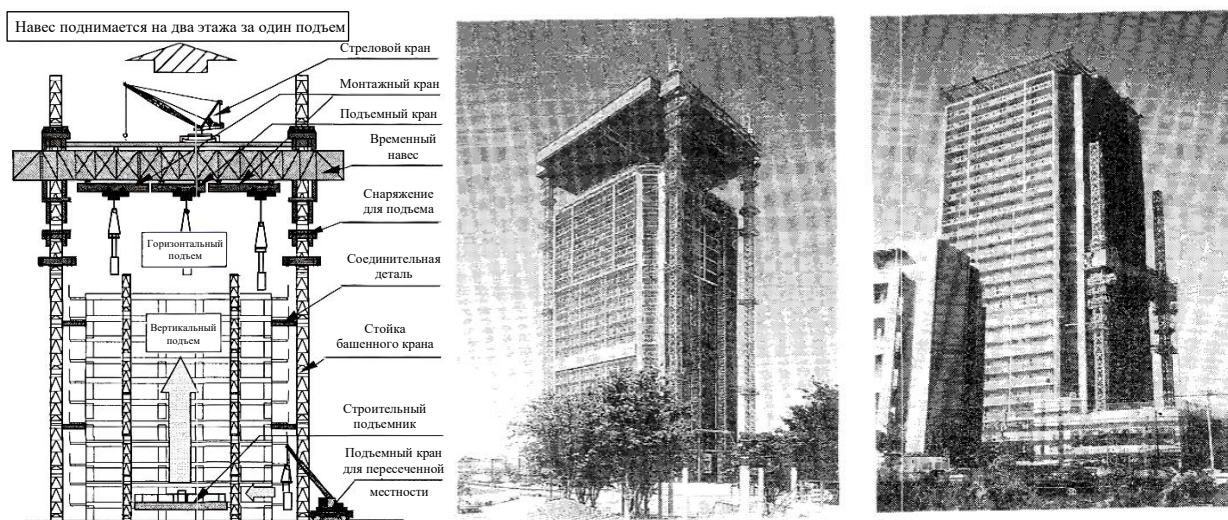


Рис. 1. Автоматизированная система строительства высотных зданий [10]

Эта система включает в себя четыре основных элемента:

- 1) синхронно поднимающееся всепогодное временное сооружение;
- 2) параллельная система подачи материалов;
- 3) заводское изготовление и унификация строительных материалов;
- 4) система управления материалами.

Она обеспечивает высокое качество, улучшает условия труда, сокращает сроки строительства, рабочую силу и количество отходов, а также повышает общую производительность. В проекте BIG CANOPY, как показано на рис. 1, установили параллельную систему подачи элементов на монтаж с тремя автоматизированными мостовыми кранами и одним большим строительным подъемником под всепогодной поднимающейся временной монтажной траверсой.

В проекте применяется система управления материалами, использующая базу данных, связанную с системой CAD, выполнена унификация строительных материалов, заводское изготовление, а также параллельный монтаж.

Основные преимущества технологии: повышение производительности и качества; сокращение сроков строительства; улучшение условий производства (рабочие могут безопасно и комфортно работать под временной крышей); сокращение количества мусора.

Подобная технология (только относящаяся не к сборным, а литевым конструкциям) запатентована и разрабатывается на кафедре строительного производства и теории сооружений ЮУрГУ [11–13]. Опалубочная система представляет собой две вертикальные палубы с минимальным уширением внизу. Вертикальные палубы неподвижны. Находящаяся между ними горизонтальная палуба опускается или поднимается посредством гидродомкратов. Горизонтальная палуба соединена с механизмами подъема или опускания посредством металлического вертикального стержня. Новая технология представляет собой своего рода антисистему скользящей опалубки, перемещаемой вверх.

Процесс осуществляется следующим образом: в исходном состоянии горизонтальная палуба опалубки опущена относительно верха вертикальной палубы. Композитный материал (бетонная смесь) подается в опалубочную систему, где смесь укладывается в пространство между горизонтальной и вертикальной палубой. Между системой «бетон–палуба» находится пленка, которая перемещается вместе со смесью вниз. Данным способом снимаются такие воздействия, как адгезия и когезия, оставляя только минимальное трение между пленкой и вертикальной палубой, а также обеспечивается защита от преждевременного высыхания бетона. Первый слой бетонной смеси набирает заданную прочность с возможностью термообработки, акустического и другого воздействия на рабочие швы. Горизонтальная палуба опускается при помощи домкратов вместе с первым слоем вниз. Затем на первый слой укладывается второй слой и, набирая прочность, опускается. Укладывается третий слой (рис. 2). Затем нижние достаточно отвердевшие слои выходят за пределы вертикальной палубы и т.д.

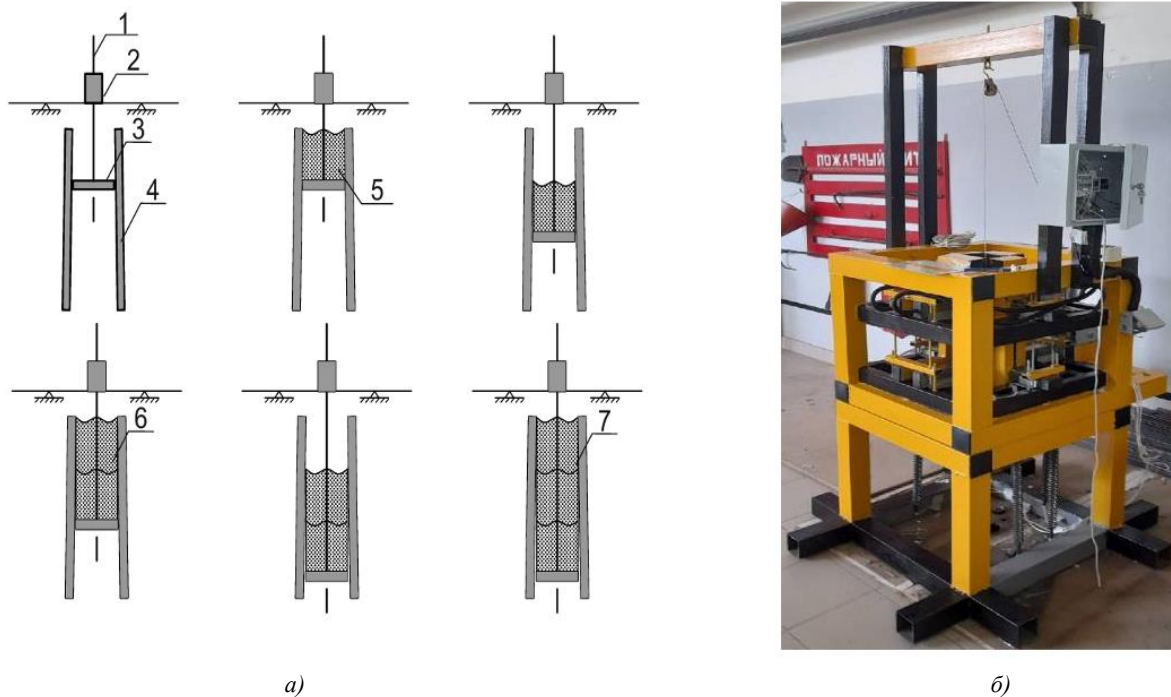


Рис. 2. а) способ формирования железобетонных конструкций посредством опускающегося бетона (патент 2566540):

- 1 — металлический стержень или трос; 2 — подъемно-опускающее оборудование (гидродомкрат);
3 — горизонтальная палуба; 4 — вертикальная палуба; 5 — первый слой бетона; 6 — второй слой бетона; 7 — третий слой бетона; б) экспериментальная установка ЮУрГУ для отработки технологии

Технология опускающегося бетона может быть применена для возведения глубоких подземных сооружений (шахт, хранилищ опасных отходов, подземных военных сооружений и пр.), подводных сооружений на шельфе, изготовления блок-комнат в мобильных цехах для модульного строительства и пр. Опускаемые методом противовеса конструкции могут обеспечить подъем надземных конструкций, реализуя технологию строительства top-down (вверх и вниз). Преимущество новой монолитной технологии заключается в неподвижности опалубочной системы и возможности оснащения сложными системами обработки и контроля состояния бетонной смеси и бетона под защитой от внешних воздействий, вплоть до полной автоматизации производственных процессов.

Автоматизация монтажа многоэтажных зданий предлагалась еще в СССР путем замены свободного монтажа кранами на принудительный монтаж кранами-манипуляторами² [14]. Традиционный монтажный кран обеспечивает лишь одну из 16–20 операций процесса монтажа сборных конструкций, а остальные выполняются рабочими вручную, трудозатраты которых в 4–5 раз превышают затраты времени работы крана. Эксперименты проводились с краном-автоматом, созданным на базе башенного крана БКСМ-5-5А, но была получена низкая точность позиционирования ± 20 см, что не позволило перейти к промышленному освоению.

В Японии применяется двухстадийная система, управляемая одним оператором и состоящая из свободной подачи сборного элемента обычным башенным краном и робота (манипулятора), устанавливающего элемент на проектное место.

В России были разработаны три варианта принудительного монтажа. Сущность нового способа заключается в том, что с целью повышения производительности и точности монтажа монтируемый элемент захватывается жестко и подается в проектное положение с регистрацией линейных и угловых смещений по трем осям X, Y, Z (по шести координатам). При этом возникает задача обеспечения устойчивости элементов после их установки и отцепа захвата крана-манипулятора. Это достигается использованием метода пространственной самофиксации с применением фиксаторов-ловителей различной конструкции, что одновременно позволяет снизить требования к точности позиционирования. Был разработан кран-манипулятор с жесткой связью рабочего органа и устройством транспортировки, обладающий минимально необходимым количеством степеней свободы устройства передвижения, а значит и минимальным количеством приводных механизмов.

Однако предложенные малолюдные технологии не нашли широкого применения в СССР в виду отсутствия цифрового проектирования, усложнения конструкции кранов, захватных устройств, необходимости дооснащения сборных элементов устройствами самофиксации. А поскольку остальные операции (устройство швов, сварка связей, герметизация) производятся вручную традиционным способом, то имеет место закон неравномерного развития частей системы и рассогласования. Как показало дальнейшее развитие строительной отрасли, полная роботизация была достигнута не в сборной, а в литевой технологии 3D-печати, и причем только тогда, когда мощность вычислительных комплексов позволила выполнять цифровые проекты зданий [15], и были достигнуты успехи в управлении реологией бетонных композитов [3].

Рекорд китайских строителей, построивших сборное 10-этажное здание за 29 часов, подтвердил способ самого быстрого строительства из крупных блоков (префаб-блоков, модулей). Строительство из блок-комнат велось в нескольких городах СССР (Краснодар, Минск, Верхняя Салда и др.), но было ограничено грузоподъемностью монтажных кранов и транспортными габаритами. Стимулом к развитию этого вида домостроения явился ряд преимуществ этих домов перед крупнопанельными [16, 17]: изготовление объемных блоков полной заводской готовности в условиях заводского производства со встроенной мебелью, сантехническим и электротехническим оборудованием; перенесение на завод или домостроительный комбинат (ДСК) 85 % трудовых затрат; сокращение затрат труда на строительной площадке до 25 %; уменьшение количества монтажных элементов в 4–5 раз; сокращение сроков строительства в 3–4 раза; уменьшение трудоемкости в 2,5–2,8 раза; снижение расхода бетона на 25–28 %; существенное снижение накладных расходов и затрат на временные сооружения и др.

Размеры и вес железобетонных блоков были невелики. На Краснодарском ДСК выпускали блоки в виде ребристой коробки типа «лежащий стакан» размером 3×5 м и весом 5–9 тонн в зависимости от оснащения. Сегодня модульный продукт АО СЗ «ОБД» г. Краснодара значительно усовершенствован и достигает по массе 20 тонн и позволяет за 4 месяца построить 16-этажный дом (16000 м²). Минские блоки типа «колпак» примерно таких же размеров и веса применялись для объемно-блочных домов серии 3А-ОПБ. В Воронеже с 2012 года действует завод блочного домостроения «Выбор–ОБД» по производству железобетонных модулей типа «колпак» [18].

Развитие строительной индустрии позволило в настоящее время значительно увеличить размеры и вес модулей для блочного строительства. Московский завод ООО «Концерн МонАрх» (рис. 3) выпускает самые большие в мире блоки-комнаты габаритами до 15,5×7,5×3,75 м площадью свыше 100 м² и весом до 40 тонн в базисном каркасе и 55–58 тонн — с полной отделкой.

Технология позволяет монтировать 25 модулей (1800 м²) в сутки, 450 тысяч квадратных метров готового жилья в год. Впервые в мире освоено изготовление трехэтажных модулей лестничных клеток и лифтовых шахт. За счет максимальной роботизации и автоматизации заводских процессов изготовления модулей достигнуто значительное сокращение сроков строительства домов. Первая очередь завода во Внуково запустилась в июле 2023 года.

² Вильман Ю.А. Технология строительных процессов и возведения зданий. *Современные прогрессивные методы: учебное пособие*. М.: АСВ; 2011. 336 с.

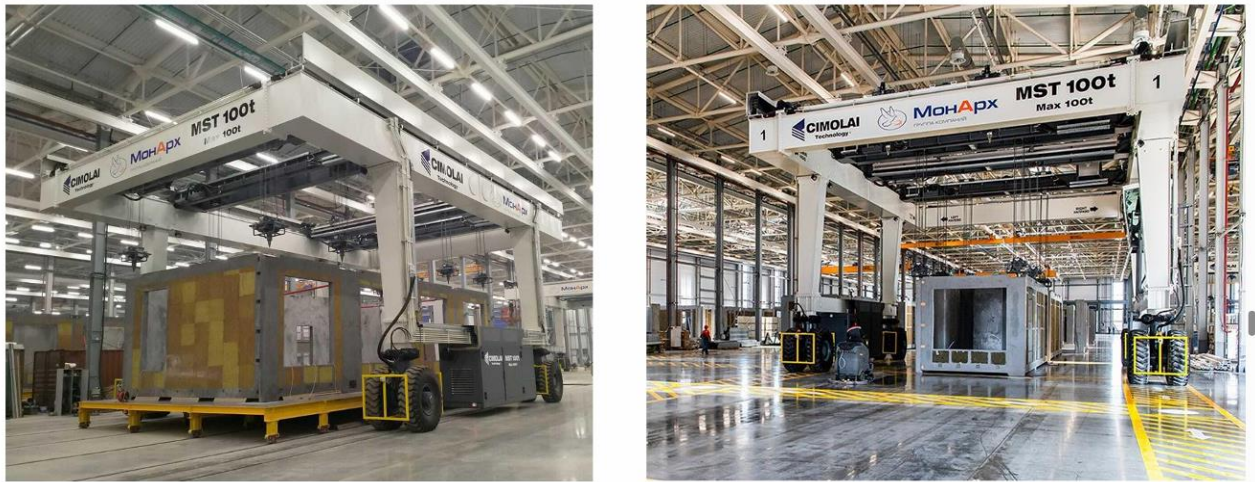


Рис. 3. Технологический порталный транспортер ($Q=100$ т) конвейерной сборки модулей группы компаний «МонАрх»

Среди главных трудностей технологии модульного строительства концерна «МонАрх» следует отметить сложную логистику ночной доставки модулей с использованием двух полос движения и потребность в мощных кранах (как правило, производства Германии или Китая).

В настоящее время концерн «МонАрх» выпускает около 2000 модулей в год и участвует в программе реновации. В 2025 году на Сиреневом бульваре в Москве из 114 крупногабаритных модулей за две недели построен детский сад на 300 мест.

Зарубежные системы модульного строительства известны со времен ЖК «Хабитат 67» (1967) и башни Накагин в Токио (1972), используют в основном блоки с металлическим каркасом, такие как ADK Modulraum (Германия), Vision Modular, Assael (Англия) и др. Металлический каркас применяют также для производства блок-кают для круизных туристических лайнеров.

В блочном исполнении могут поставляться и специальные MEP-модули [19]. Модульные инженерные системы — «механические, электрические и сантехнические системы» (MEP) — подразумевают предварительное изготовление и сборку компонентов инженерных систем в контролируемых заводских условиях перед их доставкой на строительную площадку для установки. Такой подход обеспечивает множество преимуществ, включая повышение эффективности, экономию средств, ускорение сроков реализации проекта и улучшенный контроль качества.

Эти модули объединяют различные компоненты MEP, такие как трубопроводы, воздуховоды, электропроводку и оборудование, в единый блок. Оборудование, монтируемое в блоках MEP: рамы с теплообменниками, насосами или другим инженерным оборудованием со встроенными трубопроводами и электрическими системами; полностью оборудованные ванные комнаты с сантехническими, электрическими и HVAC компонентами (Heating, ventilation, and air conditioning); подвесные механические стойки с трубопроводами, воздуховодами и электрическими системами для эффективного распределения в здании или сооружении.

Проблемы, связанные с экологичностью, альтернативными источниками энергии и изменением образа жизни (например, в связи с пандемией), привели к резкому росту производства зданий с использованием современных методов строительства, особенно в жилищном строительстве. Эти методы предполагают использование новых технологий в качестве альтернативы традиционному строительству в интеллектуальных зданиях. На фоне развития индустрии 4.0 существует острая необходимость в комплексном проектировании с использованием машинного обучения, нейросетевых и генеративных алгоритмов [20].

Кроме того, важно обратить внимание на результаты исследований, в которых инструменты оптимизации использовались для разработки энергоэффективных и рациональных графиков строительства [21]. С ростом глобальной осведомленности о проблемах охраны окружающей среды строительная индустрия вынуждена применять инновационные материалы и методы, позволяющие сделать процесс строительства более энергоэффективным и экологичным. Руководители проектов должны использовать инструменты оптимизации в своих процедурах планирования для решения этих проблем на ранних стадиях обоснования проектов.

Обсуждение и заключение. Таким образом, среди основных тенденций развития строительных технологий следует выделить следующие:

- быстрая эволюция материалов для строительства с акцентом на высокофункциональные бетоны, новые композиты, капиллярно-пористые материалы и экологичные материалы из отходов с возможностью их переработки и повторного использования;
- цифровизация проектов и технологии: BIM-проектирование (с развитием 3D, 4D, 5D...); переход к электронному документообороту (ГОСТ 70108-2025 «Документация исполнительная. Формирование и ведение в электронном виде»); 3D-печать конструкций и опалубки; автоматизация процессов поставок, строительного контроля, организации и управления; точное позиционирование и автоматизация работы строительных машин;
- повышение заводской готовности, размеров и архитектурного и конструктивного качества сборных элементов (так называемые прекаст- и префаб-технологии);
- развитие модульного строительства в России из каркасных и железобетонных крупногабаритных блоков с частичной и полной отделкой;
- повышение функциональности и эстетичности фасадных технологий: архитектурно-конструктивные фасадные панели; самоочищение и самовосстановление фасадных материалов; интеллектуальные фасады;
- развитие монолитного строительства с использованием высокофункциональных бетонов, укрупненных арматурных каркасов, фибры, высокопроизводительных механизмов, а также префаб-элементов для сложных многодельных элементов здания с целью ускорения строительства;
- полная роботизация некоторых процессов отделки;
- внедрение энергосберегающих и «зеленых» решений в инженерные системы зданий (не только уникальных);
- повышение качества благоустройства, инфраструктуры, индекса качества городской среды.

В результате обзора мирового опыта сформулированы общие тенденции развития технологий в строительстве, на которые стоит обратить внимание строительным компаниям, ориентированным на непрерывное развитие и нацеленным на лидирующие позиции в отрасли.

Список литературы / References

1. Wangler T, Roussel N, Bos FP, Salet TAM, Flatt RJ Digital Concrete: A Review. *Cement and Concrete Research*. 2019;123:105780. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2019.105780>
2. Schlueter A, Rysanek A, Miller C, Pantelic J, Meggers F, Mast M, Bruelisauer M, Wee CK 3for2 Realizing Spatial Material and Energy Savings through Integrated Design. *CTBUH Journal*. 2016;2:40–45 URL: https://www.researchgate.net/publication/303650422_3for2_realizing_spatial_material_and_energy_savings_through_integrated_design (accessed: 22.07.2025)
3. Damme HV Concrete Material Science: Past, Present, and Future Innovations. *Cement and Concrete Research*. 2018;112:5–24. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.05.002>
4. Megid WA, Khayat KH Bond Strength in Multilayer Casting of Self-Consolidating Concrete. *Mater. J*. 2017;114:467–476. <https://doi.org/10.14359/51689597>
5. Kagan MN, Baiburin AH, Sapozhnikov SB Research the Influence of Acoustical Treatment of Concrete on its Water Absorption. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018;451:012087. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/451/1/012087>
6. Koval SB, Kagan MN Analysis of Various Media Concrete Penetrating Ability Depending on Different Factors Affecting Water Absorption. *Procedia Engineering*. 2017;206:819–825. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.10.557>
7. Mechtcherine V, Grafe J, Nerella VN, Spaniol E, Hertel M, Füssel U 3D-Printed Steel Reinforcement for Digital Concrete Construction – Manufacture, Mechanical Properties and Bond Behavior. *Construction and Building Materials*. 2018;179:125–137. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.05.202>
8. Bos F, Wolfs R, Ahmed Z, Salet T Large Scale Testing of Digitally Fabricated Concrete (DFC) Elements. *T. Wangler, R.J. Flatt (Eds.), First RILEM Int. Conf. Concr. Digit. Fabr. – Digit. Concr. 2018*. Springer International Publishing; 2019:129–147. https://doi.org/10.1007/978-3-319-99519-9_12
9. de Soto BG, Agustí-Juan I, Hunhevicz J, Joss S, Graser K, Habert G, Adey BT Productivity of Digital Fabrication in Construction: Cost and Time Analysis of a Robotically Built Wall. *Automation in Construction*. 2018;92:297–311. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.04.004>
10. Hamada K, Furuya N, Inoue Y, Wakisaka T Development of Automated Construction System for High-Rise Reinforced Concrete Buildings. *Proceedings. 1998 IEEE International Conference on Robotics and Automation (Cat No98CH36146), Leuven, Belgium*, 1998;3:2428–2433. <https://doi.org/10.1109/ROBOT.1998.680704>
11. Хафизов Т.М., Байбуринов А.Х., Денисов С.Е., Овчинников А.Д. Способ совмещенного строительства зданий и сооружений посредством опускающегося бетона. *Вестник ЮУрГУ*. 2023;23(1):37–47. <https://doi.org/10.14529/build230105>

Khafizov TM, Baiburin AKh, Denisov SE, Ovchinnikov AD A Method of Combined Construction of Underground and Aboveground Structures by Means of Descending Concrete. *Bulletin the South Ural State University. Series "Construction Engineering and Architecture"*. 2023; 23(1): 37–47. (In Russ.) <https://doi.org/10.14529/build230105>.

12 Хафизов Т.М., Байбурин А.Х. Строительство подземного многоэтажного сооружения методом опускающегося бетона. *Промышленное и гражданское строительство*. 2020;6:57–63. <https://doi.org/10.33622/0869-7019.2020.06.57-63>

Khafizov TM, Baiburin AKh Building of an Underground Multi-Storey Structure Using the Method of Sinking Concrete. *Industrial and Civil Engineering*. 2020; (6): 57–63. (In Russ.) <https://doi.org/10.33622/0869-7019.2020.06.57-63>.

13 Хафизов Т.М., Байбурин А.Х., Денисов С.Е., Сулейманов Р.М., Хафизов Г.Т. *Способ совмещенного строительства подземной и надземной части каркаса сооружения*. Патент РФ № RU 2657565 C1. 2018.

Khafizov TM, Baiburin AH, Denisov SE, Suleymanov RM, Khafizov GT Method of Combined Construction of the Underground and Aboveground Parts of the Frame of the Structure. *Patent RU 2657565 C1 Russian Federation, IPK7 E 02 D 29/045 (2018.02)*. No. 2017115160/03; Issue 17, 2018. (In Russ.)

14 Булгаков А.Г., Воробьев В.А., Евтушенко С.И., Паршин Д.Я. *Автоматизация и роботизация строительства*. М.: ИНФРА-М; 2013. 452 с.

Bulgakov AG, Vorobyov VA, Yevtushenko SI, Parshin DYa *Automation and Robotics in Construction*. Moscow: INFRA-M, 2013. 452 p. (In Russ.)

15 Сюй Пэйфу. *Проектирование современных высотных зданий*. М.: АСВ; 2008. 467 с.

Peifu X. *Design of Modern High-Rise Buildings* / Moscow: Publishing House of the DIA, 2008. 467 p. (In Russ.)

16. Staib G, Dörrhöfer A, Rosenthal M *Components and Systems: Modular Construction: Design, Structure, New Technologies*. Institut für international Architektur-Dokumentation. München, 2008.

17. Sychev SA, Sharipova D Monitoring and Logistics of Erection of Prefabricated Modular Buildings. *Indian Journal of Science and Technology*. 2015;8(29):1–6. <https://doi.org/10.17485/ijst/2015/v8i1/84114>.

18. Сауков Д.А., Гинзберг Л.А. Современное модульное строительство. В: *Сборник статей VIII Всероссийской научно-технической конференции с международным участием и XVIII школы молодых ученых «Безопасность критических инфраструктур и территорий. Проблемы безопасности строительных критических инфраструктур SAFETY2018»*. Екатеринбург: НИЦ «Нир БСМ» УрО РАН, УрФУ; 2018. С. 69–82. URL: <https://elar.urfu.ru/handle/10995/66309> (дата обращения: 22.07.2025).

Saukov DA, Ginsberg LA Modern Modular Construction. *SAFETY2018*, Yekaterinburg, October 4–5; 2018: 69–82. (In Russ.) URL: <https://elar.urfu.ru/handle/10995/66309> (accessed: 22.07.2025)

19. Иванов П.В., Яковлев А.П. Современное модульное строительство и его значимость в настоящее время. *Вестник науки*. 2025;5(86):1047–1055. URL: <https://www.xn----8sbempclcw3bmt.xn--p1ai/article/22956> (дата обращения: 22.07.2025).

Ivanov PV, Yakovlev AP Modern Modular Construction and its Significance at the Present Time. *Bulletin of Science*. 2025;2.5(86):1047–1055. (In Russ.) URL: <https://www.xn----8sbempclcw3bmt.xn--p1ai/article/22956> (accessed: 22.07.2025)

20. Sánchez-Garrido AJ, Navarro IJ, García J, Yepes V A Systematic Literature Review on Modern Methods of Construction in Building: An Integrated Approach Using Machine Learning. *Journal of Building Engineering*. 2023;73:106725. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.106725>

21. Dasović B, Klanšek U A Review of Energy-Efficient and Sustainable Construction Scheduling Supported with Optimization Tools. *Energies*. 2022;15(7):2330. <https://doi.org/10.3390/en15072330>

Об авторах:

Байбурин Альберт Халитович, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры строительного производства и теории сооружений Южно-Уральского государственного университета (454080, Российская Федерация, г. Челябинск, пр. Ленина, 76), [ResearcherID](#), [ScopusID](#), [ORCID](#), abayburin@mail.ru

Мельник Андрей Анатольевич, кандидат технических наук, доцент кафедры строительного производства и теории сооружений Южно-Уральского государственного университета (454080, Российская Федерация, г. Челябинск, пр. Ленина, 76), [ScopusID](#), [ORCID](#), melnikaa@susu.ru

Лебедь Анна Рафиковна, старший преподаватель кафедры строительного производства и теории сооружений Южно-Уральского государственного университета (454080, Российская Федерация, г. Челябинск, пр. Ленина, 76), [ScopusID](#), [ORCID](#), lebedar@susu.ru

Заявленный вклад соавторов:

А.Х. Байбурин: формирование основной концепции исследования, постановка цели и задач, проведение анализа информации, выявление связей и путей развития, подготовка текста, формирование выводов;

А.А. Мельник: анализ информационных источников, поиск путей развития строительства, систематизация и обобщение обзора, доработка текста, корректировка выводов;

А.Р. Лебедь: поиск и анализ информационных источников.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

About the Authors:

Albert Kh. Baiburin, DrSc. (Eng.), Associate Professor, Professor of the Department of Building Technologies and Structural Engineering at the South Ural State University (76 Lenin Ave., Chelyabinsk, 454080, Russian Federation), [ResearcherID](#), [ScopusID](#), [ORCID](#), abayburin@mail.ru

Andrey A. Melnik, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department of Building Technologies and Structural Engineering at the South Ural State University (76 Lenin Ave., Chelyabinsk, 454080, Russian Federation), [ScopusID](#), [ORCID](#), melnikaa@susu.ru.

Anna R. Lebed, Senior Lecturer at the Department of Building Technologies and Structural Engineering at the South Ural State University (76 Lenin Ave., Chelyabinsk, 454080, Russian Federation), [ScopusID](#), [ORCID](#), lebedar@susu.ru.

Claimed contributorship:

AKh Baiburin: forming the basic concept of the research, setting aims of the research, analyzing information, identifying connections and ways of development, preparing the manuscript, forming the conclusions;

AA Melnik: analysis of information sources, search for ways to develop the construction industry, systematization and generalization of the review, revision of the manuscript, correction of the conclusions;

AR Lebed: search and analysis of information sources.

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

All authors have read and approved the final manuscript.

Поступила в редакцию / Received 12.08.2025

Поступила после рецензирования / Reviewed 10.09.2025

Принята к публикации / Accepted 01.10.2025