



Столыпинский
вестник

Научная статья

Original article

УДК 69

**ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ С
ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ ЦИФРОВИЗАЦИИ ПРИ
ПРОИЗВОДСТВЕ БЕТОННЫХ РАБОТ**

**INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN CONSTRUCTION WITH THE USE OF
DIGITALIZATION METHODS IN THE PRODUCTION OF CONCRETE
WORKS**

Илья Валерьевич Соргутов, Доцент, Кафедра строительных технологий,
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования Пермский государственный аграрно-технологический
университет им. Акад. Д.Н. Прянишникова

Ilya V. Surgutov, Associate Professor, Department of Construction Technologies,
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Perm State
Agrarian and Technological University named after Academician D.N.
Pryanishnikov

Аннотация: В статье рассматриваются инновационные технологии в строительстве с применением цифровизации в производстве бетона. Автор отмечает, что Используемые материалы, строительные процессы, программное обеспечение и подходы к определению размеров должны быть переосмыслены, чтобы использовать этот потенциал с изобретениями и инновациями. Учитывая насущную потребность в устойчивом

строительстве, исследовательские проекты должны быть направлены на ускорение разработки соответствующих практических приложений путем рассмотрения всех требований к строительным работам.

Abstract: The article discusses innovative technologies in construction with the use of digitalization in the production of concrete. The author notes that the materials used, construction processes, software and approaches to sizing should be rethought in order to use this potential with inventions and innovations. Given the urgent need for sustainable construction, research projects should aim to accelerate the development of appropriate practical applications by considering all the requirements for construction work.

Ключевые слова: строительство, инновационные технологии, цифровизация, производство бетонных изделий

Keywords: construction, innovative technologies, digitalization, production of concrete products

Основным конечным продуктом строительной отрасли выступают здания и инфраструктура. Эти строительные работы должны соответствовать многим критериям, чтобы представлять ценность для современного общества: структурная безопасность, долговечность, удобство обслуживания, эстетика и интеграция, экологическая устойчивость и эффективность строительства. Соответственно, традиционные методы строительства вместе с полученными строительными работами уже более века адаптируются для соответствия этим многогранным требованиям[4].

Тем не менее, строительная отрасль оказывает значительное воздействие на окружающую среду, поскольку железобетон является ее основной движущей силой из-за его широкого использования, и в ближайшие годы ей придется столкнуться с постоянно растущей ответственностью за достижение климатической нейтральности. Цифровое производство бетонных конструкций – это молодая, но уже широкая дисциплина, которая обеспечивает потенциал для необходимого снижения

воздействия на окружающую среду и дальнейшей индустриализации строительной отрасли, а также совместима с многогранными требованиями к строительным работам [1].

Стоимость строительных работ, а также степень проблем и ограничений, возникающих при их строительстве и демонтаже, зависят от различных критериев, которые должны быть выполнены или оптимизированы. Можно выделить основные критерии (безопасность конструкции, удобство эксплуатации и эстетика и интеграция), а также дополнительные критерии, не менее важные сегодня – это долговечность, экологическая устойчивость и эффективность строительства. Структурная безопасность и удобство обслуживания обычно считаются жесткими критериями, в значительной степени определяемыми нормами проектирования. В таблице 1 представлены критерии строительных работ, дополненные соответствующими типичными второстепенными проектными требованиями, а также общими мерами для соблюдения проектных критериев.

Таблица 1

Описание и разработка основных критериев строительных работ

Критерий	Типовые подчиненные требования к конструкции	Типичные проектные меры по конструкционному бетону
Структурная безопасность	<ul style="list-style-type: none"> • Общая устойчивость, временное сопротивление и сопротивление усталости для постоянных и переходных предельных состояний (постоянные нагрузки, временные нагрузки, жесткость и несущая способность фундамента, ветер и т. д.) • Общая устойчивость и сопротивление усталости для аварийных предельных состояний (пожар, 	<ul style="list-style-type: none"> • Железобетонные сечения (размеры, прочность материалов) • Выбор материала (тип армирования, прочность бетона и т. д.) • Детализация

	сейсмические или ударные нагрузки и т. д.) • Прочность	
Долговечность	<ul style="list-style-type: none"> • Стойкость к коррозии из-за карбонизации и/или проникновения хлоридов, химического воздействия, циклов замораживания-оттаивания, в зависимости от воздействия окружающей среды и срока службы конструкции 	<ul style="list-style-type: none"> • Минимальный защитный слой бетона • Детализация (исключение швов, защита от попадания хлоридов, облегченный доступ для осмотра) • Предварительное напряжение (предотвращение образования трещин) • Используемые материалы (конструкция бетонной смеси, коррозионностойкая сталь) • Обеспечение качества исполнения
Удобство обслуживания	<ul style="list-style-type: none"> • Функциональность (строительные системы, вибрации, герметизация и т. д.) • Внешний вид (предотвращение чрезмерных прогибов или растрескивания при устойчивых и переходных предельных состояниях) • Комфортность (температура, влажность, шум, вибрации и т. д.) 	<ul style="list-style-type: none"> • Минимальные размеры перекрытий и стен (относится к прогибам, звукоизоляции, строительным системам) • Тип армирования (например, использование предварительно напряженной стали для ограничения прогибов) • Увеличенный коэффициент армирования (для герметизации)
Эстетика и интеграция	<ul style="list-style-type: none"> • Материализация и поверхность (визуальная текстура и цвет) • Форма, ритм, контраст • Элегантность (видимая 	<ul style="list-style-type: none"> • Используемые материалы • Эффективность конструкции • Обеспечение качества

	стройность и прозрачность)	исполнения • Индивидуальность
Экологическая устойчивость	<ul style="list-style-type: none"> • Свести к минимуму использование ресурсов, выбросы парниковых газов и отходы, образующиеся от строительства до демонтажа • Свести к минимуму негативное воздействие на флору, фауну, ландшафт 	<ul style="list-style-type: none"> • Минимизация использования материалов (например, за счет структурной оптимизации или исключения отходов) и транспортировки • Выбор материала (например, в зависимости от наличия на месте) • Возможность повторного использования конструкции (оптимизация объема здания) • Возможность вторичной переработки при демонтаже
Эффективность строительства	<ul style="list-style-type: none"> • Время строительства • Прямые затраты на строительство (экономия) • Косвенные затраты на строительство (например, нарушение дорожного движения, безопасность строительства, откачка воды, финансирование и аренда) 	<ul style="list-style-type: none"> • Тип строительства (собственный или сборный) • Наличие и стоимость выбранных ресурсов (материальных и трудовых) • Оптимизация площади под заданный объем здания

В связи со значительным ростом населения за последние 100 лет и соответственно растущим спросом на строительные работы стоимость и скорость строительства приобретают все большее значение. Преобладающий акцент на эффективности строительства с точки зрения затрат и времени в сочетании с обширной и дешевой доступностью строительных материалов в последние десятилетия, в отличие от все более дорогой стоимости рабочей силы, привел к тому, что в промышленно развитых странах проекты редко

преследуют эффективное использование материалов. Например, монолитные плиты перекрытий практически никогда не оптимизируются по объему бетона, например, за счет использования пустот или ребер, поскольку дополнительные трудозатраты на проектирование и выполнение, как правило, превышают экономию материалов, несмотря на очевидные преимущества более легких плит с точки зрения необходимого армирования и мощности фундамента, а также как уменьшенное сейсмическое воздействие. Однако, учитывая огромную ответственность строительной отрасли за климатическую нейтральность, экологическая устойчивость стала более важной, и экономия материалов должна стать обязательным критерием проектирования будущих строительных работ [2].

Железобетон на сегодняшний день является наиболее используемым материалом в строительной отрасли во всем мире благодаря своей универсальности и универсальной доступности необходимого сырья по низкой цене. Из-за своего широкого использования железобетон является основным фактором воздействия строительной отрасли на окружающую среду: производство цемента во всем мире само по себе вызывает примерно 6 % общих антропогенных выбросов парниковых газов, при использовании примерно $0,5 \text{ м}^3$ цемента на душу населения во всем мире ежегодно.

Учитывая огромную долю железобетона в текущих строительных работах и отсутствие альтернатив, особенно в инфраструктуре и подземном строительстве, значительные и постоянные улучшения в железобетонном строительстве необходимы для максимально возможного снижения воздействия строительной отрасли на окружающую среду.

Цифровое производство бетонных конструкций (ЦПБК) появилось в последние годы как группа цифровых технологий, которая описывает методы изготовления непосредственно после данных модели. Потенциальные преимущества цифрового производства включают:

- 1) возможность адаптировать свойства материала к конкретным потребностям;

2) возможность создания сложных форм без чрезмерных затрат на изготовление;

3) прямую интеграцию изготовления в общий цифровой процесс проектирования и строительства.

Поскольку эти преимущества ЦПБК позволяют производить на заказ материалы с эффективным использованием материалов без увеличения трудоемкости, ЦПБК может обеспечить необходимое снижение воздействия строительной отрасли на окружающую среду, будучи совместимым с конкретными требованиями индивидуального проектирования и исполнения.

На сегодняшний день ЦПБК используется для создания топологически оптимизированных структур и внедрения инновационных архитектурных элементов, печатных стен для сравнительно небольших домов и производства скульптур или мебели [4].

Конструкции со сложной геометрией, оптимизированные для конкретного случая нагрузки, демонстрируют потенциал ЦПБК. Тем не менее, геометрически сложные конструкции представляют собой нишу на рынке фирменных зданий, таких как музеи, церкви или павильоны. В то время как работы по строительству инфраструктуры могут в некоторой степени выиграть от увеличения геометрической сложности, подавляющее большинство будущих строительных конструкций, скорее всего, по-прежнему будут иметь прямоугольную форму в плане и высоте, несмотря на то, что геометрическая сложность становится все более рентабельной: прямоугольность лучше всего подходит для оптимального использования площади пола и ограниченного пространства на земле, особенно в городских районах. Таким образом, чтобы оказать соответствующее влияние, важно, чтобы ЦПБК стал конкурентоспособным для применения в таких массовых строительных работах.

Текущие приложения ЦПБК, явно ориентированные на рынок массового строительства, такие как 3D-печатные дома, по существу заменяют легконагруженные каменные стены неармированными 3D-

печатными стенами из бетона или используют ЦПБК в качестве потерянной опалубки вместо традиционной опалубки. В то время как такие приложения ЦПБК облегчают бесшовный цифровой процесс проектирования и строительства и могут быть более эффективными по времени, чем обычные стены, построенные каменщиком, их воздействие на окружающую среду с использованием бетонных смесей, используемых в настоящее время, даже выше, чем у обычного строительства. Большинство процессов ЦПБК в настоящее время основаны на бетонных смесях с небольшими заполнителями и высоким содержанием клинкера, что приводит к производительности, превышающей требования для малонагруженных стен [3].

Исследователи указывают, что ЦПБК, несомненно, обладает потенциалом для эффективного использования материалов в строительстве, тем самым снижая воздействие железобетона на окружающую среду. Используемые материалы, строительные процессы, программное обеспечение и подходы к определению размеров должны быть переосмыслены, чтобы использовать этот потенциал с изобретениями и инновациями. Учитывая насущную потребность в устойчивом строительстве, исследовательские проекты должны быть направлены на ускорение разработки соответствующих практических приложений путем рассмотрения всех требований к строительным работам.

Список литературы

1. Иванова О.В., Короткова Л.Н., Фаттахов М.М., Халиков Р.М. Надежное управление качеством функционирования электротехнического оборудования в 3D аддитивных технологиях // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2020. №3.
2. Мухаметрахимов Р.Х., Зиганшина Л.В. Технология и контроль качества строительной 3D-печати // Известия КазГАСУ. 2022. №1 (59).

3. A. Baghdadi, M. Heristchian, H. KloftConnections placement optimization approach toward new prefabricated building systems Eng. Struct., 233 (2021), Article 111648
4. S. Reichenbach, B. KromoserState of practice of automation in precast concrete production J. Build. Eng., 43 (2021), Article 102527

List of literature

1. Ivanova O.V., Korotkova L.N., Fattakhov M.M., Khalikov R.M. Reliable quality management of electrical equipment functioning in 3D additive technologies // Electrotechnical and information complexes and systems. 2020. №3.
2. Mukhametrakhimov R.H., Ziganshina L.V. Technology and quality control of construction 3D printing // News of KazGASU. 2022. №1 (59).
3. A. Baghdadi, M. Heristchyan, H. Kloftconnection approach to optimizing the placement of new systems of prefabricated buildings Eng. Structure, 233 (2021), Article 111648
4. S. Reichenbach, B. Kromoser The state of automation practice in the production of precast concrete J. Build. Eng., 43 (2021), Article 102527

© Соргутов И.В. 2022 Научный сетевой журнал «Столыпинский вестник» №7/2022.

Для цитирования: Соргутов И.В. ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ ЦИФРОВИЗАЦИИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ БЕТОННЫХ РАБОТ// Научный сетевой журнал «Столыпинский вестник» №7/2022