

Обеспечить долговечность железобетонных конструкций и объектов транспортного строительства можно, если проблеме их долговечности рассматривать как основную при проектировании изделий, расчете, проектировании, изготовлении, монтаже и эксплуатации конструкций. Это не только обеспечит требуемую долговечность и увеличит остаточный ресурс железобетонных конструкций (зданий и сооружений в целом), но и уменьшит затраты в целом, снизив коррозионные потери.

#### Список литературы

- 1 **Васильев, А. А.** Оценка и прогнозирование технического состояния железобетонных конструкций с учетом карбонизации бетона : монография / А. А. Васильев. – Гомель : БелГУТ, 2019. – 215 с.
- 2 **Степанова, В. Ф.** Проблемы долговечности бетонных и железобетонных конструкций в современном строительстве / В. Ф. Степанова // Бетон на рубеже третьего тысячелетия : материалы 1-й Всерос. конф. по проблемам бетона и железобетона : в 3 кн. 3 кн. – М. : НИИЖБ, 2001. – С. 1403–1407.

УДК 69:007.52(496)

## ЦИФРОВИЗАЦИЯ И РОБОТИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

*А. В. ДЕРУЖИНСКАЯ, Н. И. СЕМЧЕНКО*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В современном мире строительство претерпевает изменения. Это связано с рядом факторов, среди которых дефицит рабочих кадров, необходимость повышения производительности труда с сокращением сроков производства работ для выполнения масштабных государственных программ, безопасность людей при выполнении строительно-монтажных работ, повышение качества готовой строительной продукции, снижение себестоимости строительства и др.

По данным McKinsey Global Institute на 2015 г., мировая строительная отрасль по отраслевому цифровому индексу была одной из наименее оцифрованных и занимала предпоследнее место в общем рейтинге [1].

К 2021 г. коренных изменений в уровне цифровизации относительно других отраслей в строительстве не произошло. По данным Института статистических исследований и экономики знаний НИУ ВШЭ РФ по Индексу цифровизации отраслей экономики и социальной сферы строительная отрасль занимает предпоследнее место в общем рейтинге (11,4 пункта), опережая только сферу операций с недвижимым имуществом (11 пунктов) и уступая лидерам: отраслям ИТ (33,9), информации и связи (28,6), высшего образования (23,9) и др. [2]. Значения Индекса определены суммой значений пяти субиндексов, которые для сферы строительства имели следующие значения: использование цифровых технологий – 2,72 (3,91) пункта; цифровизация бизнес-процессов – 3,43 (6,39); цифровые навыки персонала – 1,23 (13,96); затраты на внедрение и использование цифровых технологий – 0,2 (3,11); кибербезопасность – 3,8 (6,51). В скобках для сравнения приведены значения соответствующих показателей для ИТ-отрасли.

Низкий уровень продуктивности всей отрасли по сравнению с другими можно объяснить комплексом причин:

- значительное количество времени документооборота затрачивается на бумажную работу;
- отрасль в значительной степени зависит от ручного труда на строительной площадке;
- нет отлаженных коммуникаций между заказчиками, проектировщиками и подрядчиками, т. е. BIM-технологии пока в должной мере не работают, что вытекает, на наш взгляд, из следующей причины;
- дефицит кадровых ресурсов в целом и в частности ИТ-специалистов и работников, обладающих цифровыми навыками на уровне выше среднего.

С целью формирования прочного фундамента для успешного роста отрасли в стране разработана Стратегия развития строительного комплекса Республики Беларусь до 2035 г. (Стратегия) [3, 4], которая направлена на достижение основных целей, каждая из которых имеет свои задачи.

Одно из восьми определенных Стратегией направлений – развитие цифровизации организаций строительного комплекса, с которым, по нашему мнению, в той или иной степени смежны все остальные направления. Обратим внимание на два из них – развитие производственного потенциала организаций строительного комплекса и развитие научного и инновационного потенциала организаций строительного комплекса.

Технологическим прорывом в рамках указанных направлений Стратегии должна стать роботизация – не просто как инструмент оптимизации отдельных процессов, а системный драйвер перехода к принципиально новой парадигме в строительстве.

В Республике Беларусь процесс роботизации начинает динамично развиваться. Его основу на современном этапе составляют машины с элементами интеллектуализации и автоматизации. Речь идет о внедрении беспилотных строительных машин, оснащенных системами глобального позиционирования, позволяющих высокоточно выполнять заложенные в них работы по заранее загруженным цифровым моделям. Данная технология минимизирует человеческий фактор, обеспечивает экономию материалов и топлива за счет исключения ошибок и позволяет работать в условиях ограниченной видимости или в опасных зонах [5].

Другим критически важным аспектом является развитие аддитивных технологий в строительстве. Экспериментальные проекты по 3D-печати строительных конструкций демонстрируют колоссальный потенциал для скоростного возведения объектов. Инновационность данного направления заключается не только в автоматизации процесса укладки материалов, но и радикальном изменении проектной культуры – проектирование ведется исключительно в цифровом виде с максимальной оптимизацией формы и расхода материала, что напрямую соотносится с принципами устойчивого развития и ресурсосбережения. В Республике Беларусь первый опыт практического применения 3D-печати в промышленных масштабах уже имеется – на Минском комбинате силикатных изделий запустили первый в стране промышленный 3D-принтер для строительства [6], с помощью которого можно создавать крупногабаритные конструкции из бетона.

Нельзя обойти вниманием роботизацию «закрытых» и отделочных процессов. На предприятиях, производящих строительные конструкции (железобетонные изделия, элементы фасадных систем, оконные и дверные блоки), широко внедрены промышленные роботы-манипуляторы. Они осуществляют высокоточную сварку, фрезеровку и сборку. В строительном процессе начинают применяться роботизированные комплексы для укладки штучных элементов и нанесения штукатурных смесей. Китайскими и российскими производителями освоен выпуск современных робототехнических комплексов, которые уже доступны для поставок в Республику Беларусь [7]. Одним из примеров такого комплекса является робот-штукатур РМС-3000iE. Специалисты ОАО «НИИ Стройэкономика» установили, что при использовании данного робота по сравнению с механизированным и ручным способами ведения штукатурных работ происходит снижение показателя трудозатрат более чем в 3,5 и 7,3 раза соответственно, а срок окупаемости при 100%-й загрузке составит порядка 1,85 года [8]. Однако, несмотря на значительные преимущества, распространение подобных технологий в настоящее время сдерживается высокой капиталоемкостью, и поэтому вероятность резкого роста их применения в строительной отрасли Республики Беларусь в ближайшее десятилетие очень низкая.

Важнейшим инновационным пластом является симбиоз роботизации с технологиями информационного моделирования (BIM). BIM-модель выступает цифровым двойником будущего объекта и источником данных для управления роботизированной техникой. Данные с беспилотных летательных аппаратов (дронов), осуществляющих аэрофотосъемку, мониторинг строительной площадки и обмерные работы, в режиме реального времени интегрируются в BIM-модель, позволяя корректировать действия роботов и отслеживать ход строительства с высокой точностью. Таким образом, роботизация является неотъемлемым элементом сквозной цифровой цепочки от проектирования до введения объекта в эксплуатацию.

Однако, несмотря на широкие перспективы, внедрение роботизированных систем сталкивается с системой вызовов. Помимо высокой стоимости оборудования и программного обеспечения, необходимо обслуживать и ремонтировать все автономные процессы на строительной площадке, поэтому остро стоит вопрос кадрового обеспечения. Требуется подготовка новых специалистов, обладающих компетенциями в различных областях – строительства, программирования и робототехники. Кроме того, в стране необходима адаптация нормативно-правовой базы, регламентирующей использование роботов.

Важным аспектом является и безопасность при внедрении роботизированных технологий. Хотя роботы и снизят риск травматизма рабочих на строительной площадке, это не исключит вероятность возможных технологических сбоев и ошибок.

Таким образом, для сферы строительства Республики Беларусь роботизация представляет собой многогранный и стратегически важный этап. Его последовательное развитие является не вопросом выбора, а объективной необходимостью для повышения конкурентоспособности, технологического суверенитета и экономической эффективности одной из важнейших отраслей экономики.

#### Список литературы

- 1 Роботизация строительной отрасли – на один шаг ближе к BIM. Часть 1 // BIMLIB. – URL: <https://bimlib.pro/articles/robotizaciya-stroitelnoj-otrasli-na-odin-shag-blizhe-k-bim-chast-1-620> (дата обращения: 28.07.2025).
- 2 Индекс цифровизации отраслей экономики и социальной сферы // Институт статистических исследований и экономики. – URL: <https://issek.hse.ru/news/783750202.html> (дата обращения: 28.07.2025).
- 3 Какой будет стройотрасль через 10 лет? Стратегию развития стройкомплекса до 2035-го приняли в Беларуси // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: <https://pravo.by/novosti/obshchestvenno-politicheskie-i-v-oblasti-prava/2025/february/80638/> (дата обращения: 01.08.2025).
- 4 Как будет развиваться строительный комплекс Республики Беларусь до 2035 года? // ibMedia. – URL: <https://ibmedia.by/news/kak-budet-razvivatsya-stroitelnyj-kompleks-respubliki-belarus-do-2035-goda/> (дата обращения: 01.08.2025).
- 5 Беспилотная спецтехника в строительстве: будущее уже здесь. – URL: <https://zoomlion-maz.by/obzory-novejshejspechtehnikibespilotnaja-spechtehnika-v-stroitelstve-budushhee-uzhe-zdes/> (дата обращения: 01.08.2025).
- 6 В Беларуси запустили первый строительный 3D-принтер. Он может печатать конструкции из бетона // Onliner. – URL: <https://realt.onliner.by/2025/08/14/pervyj-stroitelnyj-3d-printer> (дата обращения: 02.08.2025).
- 7 Роботизация в строительном комплексе // BUDexport: информационно-аналитическая система поддержки экспорта строительных услуг. – URL: <https://budexport.by/robotics/> (дата обращения: 03.08.2025).
- 8 Роботы на стройке: от снижения трудозатрат до увеличения интенсивности выполняемых работ. Миф или реальность // ibMedia. – URL: <https://ibmedia.by/news/roboty-na-strojke-ot-snizheniya-trudozatrata-do-uvelicheniya-intensivnosti-vypolnyaemyh-rabot-mif-ili-realnost/> (дата обращения: 01.08.2025).

УДК 330.342.24:69

## ПРИНЦИПЫ ЦИРКУЛЯРНОЙ ЭКОНОМИКИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

*З. Н. ЗАХАРЕНКО, А. В. АСТРЕЛИНА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Возведение объектов следует рассматривать с учетом так называемого жизненного цикла [1]. Этапы жизненного цикла должны включать не только экологические показатели по выбросам углекислого газа CO<sub>2</sub> в атмосферу, но и экономические.

Жизненный цикл объектов по выбросам углекислого газа принято разделять на этапы (таблица 1):

- до начала эксплуатации объекта – связанный с производством строительных материалов (A1–A3) и выполнением строительных работ (A4, A5);
- в процессе эксплуатации объекта – непосредственно связанный с эксплуатацией, техническим обслуживанием, капитальным ремонтом, модернизацией и реконструкцией (B1–B7);
- в период ликвидации объекта – связанный с демонтажем конструкций, их транспортировкой, переработкой отходов и, как следствие, ликвидацией объекта (C1–C4) [2].

Таблица 1 – Этапы жизненного цикла объекта в соответствии со стандартами по устойчивости (EN 15978 «Sustainability of Construction Works»)

Этапы жизненного цикла	Основные	Дополнительные
<b>A1–A3</b> – производство строительных материалов	<b>A1</b> – поставка сырья; <b>A2</b> – транспорт; <b>A3</b> – изготовление строительных материалов	
<b>A4–A5</b> – возведение	<b>A4</b> – транспорт; <b>A5</b> – строительные работы	
<b>B1–B7</b> – эксплуатация	<b>B1</b> – эксплуатация; <b>B2</b> – техническое обслуживание; <b>B3</b> – капитальный ремонт; <b>B4</b> – модернизация; <b>B5</b> – реконструкция	<b>B6</b> – бытовое потребление энергии; <b>B7</b> – бытовое потребление воды
<b>C1–C4</b> – конец жизненного цикла	<b>C1</b> – демонтаж конструкций; <b>C2</b> – транспорт; <b>C3</b> – переработка отходов; <b>C4</b> – ликвидация объекта	