

УДК 001.895:69 - 027.45

**ИННОВАЦИИ В СТРОИТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ: ОБЕСПЕЧЕНИЕ  
БЕЗОПАСНОСТИ И УСТОЙЧИВОСТИ**

**А.Н. Зеньчик, Л.Г. Основина, А.Н. Василькова**

*Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники (БГУИР), Минск*

Современная строительная индустрия находится в центре глобальных изменений и инноваций. Все больше строительных проектов становятся символами технологического прогресса, устойчивого развития и комфорта для людей. Новые технологии, инновационные материалы и экологиче-

ские решения преобразовывают способы, с помощью которых ведется строительство объектов недвижимости. В данной работе рассматриваются ключевые тенденции в современном строительстве, сфокусированные на устойчивости, инновациях и комфорте, которые определяют будущее этой динамичной отрасли, а также использование инновационных материалов, модульного проектирования, создание комфортных пространств, энергоэффективности и экологичности.

Строительство играет важнейшую роль в обеспечении жильем и инфраструктурой растущих населенных пунктов. Наряду с тем, как растет мировое население, также увеличиваются запросы к строительной индустрии. Однако она также сталкивается с многочисленными вызовами, связанными с устойчивостью, экологическими вопросами, эффективностью и комфортом. В этом контексте инновации играют фундаментальную роль в преодолении этих вызовов и в создании более совершенных, эффективных и устойчивых строительных решений.

Инновации в строительстве могут принести ряд преимуществ, которые влияют на разные аспекты:

- позволяют разрабатывать и применять материалы и технологии, способствующие снижению негативного воздействия на окружающую среду. Это включает в себя использование низкоуглеродных материалов, сбор и переработку дождевой воды, а также увеличение энергоэффективности зданий;

- новые концепции дизайна и пространственной планировки позволяют создавать комфортные и эргономичные условия для жизни и работы, удовлетворяя потребности пользователей;

- использование новейших технологий и систем управления позволяет оптимизировать энергопотребление, управлять безопасностью и коммуникациями в зданиях, а также внутри «умных городов», что повышает комфорт и безопасность жителей;

- применение современных материалов, таких как композитные материалы и новейшие бетоны, позволяет создавать здания с высокой прочностью, легкостью и долговечностью;

Данные преимущества важны как с экологической, так и с экономической точек зрения, и они определяют долгосрочное будущее этой отрасли. В мире существуют различные ключевые тенденции и инновации, которые в настоящее время формируют современное строительство [1].

*3D-печать.* Согласно мнению экспертов, 3D-печать представляет собой одну из самых перспективных и передовых технологий, которая кардинально меняет ландшафт в строительной отрасли. Она обеспечивает возможность создавать не только детали и элементы конструкций, но и целые здания. Важным аспектом 3D-печати является ее способность сокращать время строительства, уменьшать количество отходов материалов и значительно увеличивать гибкость в проектировании.

На сегодняшний день масштабные компании активно внедряют и тестируют эту технологию с целью предоставления инновационных решений в области «зеленого» строительства. Эти решения включают в себя аддитивное производство, направленное на создание экологически чистых строительных материалов. Особенно важным моментом является разработка более крупных 3D-принтеров, способных создавать целые строительные конструкции.

Пример конкретной компании, исследующей и разрабатывающей строительные 3D-принтеры, – Black Buffalo 3D [2]. Их принтеры, совместно с инновационными бетонными чернилами, используются для создания конструкций, которые превосходят обычные строительные растворы по прочности, долговечности и безопасности. Это позволяет не только экономить средства, но и сделать строительство более экологичным и устойчивым за счет сокращения отходов.

Таким образом, 3D-печать стала неотъемлемой частью инновационного строительства, обеспечивая улучшение эффективности и снижение негативного воздействия на окружающую среду. С каждым днем новые технологические достижения и открытия в этой области продолжают расширять горизонты возможностей и совершенствовать будущее строительной отрасли.

*Строительные роботы и дроны.* Современное строительство несомненно претерпевает изменения благодаря внедрению робототехники и дронов, которые приносят значительные преимущества в области устойчивости и эффективности строительных процессов.

Роботы играют ключевую роль в современной строительной индустрии, выполняя множество разнообразных задач, начиная с инспекции площадок и заканчивая сносом конструкций. Снабженные искусственным интеллектом, системами компьютерного зрения и беспроводной связи, они обеспечивают точность и эффективность в различных рабочих сценариях. Роботы выполняют детальную инспекцию и собирают данные, что позволяет строительным компаниям следить за прогрессом, обеспечивать безопасность и контролировать качество проектов. Их применение снижает количество строительных отходов, способствуя более точному и экономичному выполне-

нию задач, что в свою очередь вносит весомый экологический вклад и снижает негативное воздействие на окружающую среду.

Дроны также играют важную роль в современной строительной индустрии. Они выполняют аэрофотосъемку и видеосъемку стройплощадок, обеспечивая оперативную инспекцию, мониторинг и сбор ценных данных. Информация, полученная с помощью дронов, позволяет управлять ресурсами, обеспечивать безопасность на площадке и оптимизировать строительные процессы. Дроны способствуют раннему выявлению проблем и предотвращению задержек, что приносит явные экономические выгоды и повышает уровень безопасности на стройке.

Например, австралийский стартап Curvecrete предоставляет пример инновационных решений, предлагая изогнутые бетонные панели, созданные с использованием низкоуглеродистого бетона и роботизированной технологии формования. Эти панели обладают настраиваемой кривизной и текстурой, что позволяет архитекторам внедрять устойчивые и эстетически привлекательные элементы в свои проекты. Низкоуглеродистый геополимерный бетон, используемый в данной технологии, снижает выбросы и отходы, способствуя созданию изогнутых архитектурных решений. Эти панели, устанавливаемые как внутри помещений, так и снаружи, характеризуются огнестойкостью и герметичностью, что делает их идеальным выбором для разнообразных строительных проектов.

Еще одним ярким примером внедрения роботизированных технологий в строительство может служить итальянский стартап ROBOSURF. Они разрабатывают автономных мобильных роботов (AMR), предназначенных для отделки поверхностей и нанесения краски в строительстве. С использованием искусственного интеллекта и других технологий индустрии. ROBOSURF автоматизирует задачи, такие как шлифовка, покраска распылением и многое другое. Приложения для роботов обеспечивают гибкость и безопасность при работе в различных и постоянно меняющихся условиях строительных площадок, тем самым повышая эффективность, гибкость и безопасность.

*Энергоэффективная архитектура.* Рассматриваемая технология играет важную роль в снижении негативного воздействия зданий на окружающую среду и оптимизации их эксплуатационных характеристик [5].

Одной из ключевых стратегий является пассивный дизайн, который базируется на использовании природных элементов, таких как солнечный свет, ветер и растительность, для регулирования температуры внутри зданий и обеспечения эффективного освещения. Пассивные элементы дизайна также включают «зеленые» крыши и стены, способствующие изоляции, управлению ливневыми стоками и сохранению биоразнообразия.

Дополнительным аспектом энергоэффективной архитектуры является использование эффективных систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха (HVAC). Эти системы спроектированы с учетом снижения потребления энергии и выбросов парниковых газов, что способствует улучшению энергетической эффективности зданий.

Стартапы в этой сфере активно разрабатывают инновационные решения для достижения энергоэффективности. Например, Eden Arc, британский стартап, создает экологически чистые материалы и использует зеленое строительство для создания зданий с минимальным воздействием на окружающую среду. Их модульный метод строительства из структурных изолированных панелей (SIPs) позволяет создавать разнообразные типы помещений с настраиваемой отделкой и техническими характеристиками.

Thermosphr, немецкий стартап, специализируется на оптимизации управления теплоснабжением зданий. Их технология теплового моделирования и связь со зданием в режиме реального времени позволяют автоматизировать управление системами кондиционирования и обогрева. Это способствует снижению потребления энергии и сокращению экологического следа зданий.

Устойчивые строительные материалы - ключевой элемент экологически чистого строительства, ориентированного на использование экологически чистых и возобновляемых ресурсов, а также на снижение негативного воздействия на окружающую среду. В современном мире существует разнообразие таких материалов, каждый из которых способствует улучшению уровня экологичности и эффективности строительства.

Одним из ключевых подходов является использование переработанных материалов, таких как переработанная сталь, дерево, стекло и пластик. Эти материалы способствуют сокращению количества отходов и замене первичных сырьевых ресурсов. При этом производство переработанных материалов требует меньше энергии и ресурсов, что делает их более экологичными.

Среди инновационных решений выделяются материалы на биологической основе (бамбук, конопля и солома). Эти природные материалы являются возобновляемыми и биоразлагаемыми, что

сокращает негативное воздействие на окружающую среду. Они обладают высокой прочностью и могут быть использованы в различных аспектах строительства.

Еще одним заметным шагом вперед в экологическом строительстве является использование низкоуглеродистого бетона. Этот материал требует меньше цемента и специальных добавок, которые снижают выбросы парниковых газов. Таким образом, строительство с использованием низкоуглеродистого бетона становится менее нагружающим для окружающей среды и способствует улучшению экологических показателей.

Для поддержания эко-строительных методов и содействия устойчивости в строительной отрасли стартапы во всем мире разрабатывают более эффективные, долговечные и доступные «зеленые» строительные материалы. Некоторые из них уже представили уникальные решения:

- EcoBricks производит экологически чистый бетон, перерабатывая пластиковые отходы в строительные материалы. Экологически чистые бетонные кирпичи EcoBricks имеют меньший углеродный след, что делает их отличным выбором для экологически осознанных строительных проектов;

- Aisti из Финляндии разрабатывает устойчивые акустические решения, включая акустическую плитку Teno, созданную из натуральных и углероднегативных материалов. Эти плитки обладают отрицательным углеродным следом и способствуют снижению выбросов углекислого газа.

*Иммерсивное строительство.* Данная технология является технологическим подходом, который использует цифровые инструменты, чтобы улучшить совместную работу, визуализацию и обучение в строительной отрасли. Применение виртуальной реальности (VR), дополненной реальности (AR), смешанной реальности (MR), 3D-моделирования, облачных вычислений и искусственного интеллекта делает иммерсивное строительство мощным инструментом для снижения рисков и повышения безопасности в строительных проектах [4].

Иммерсивное строительство позволяет создавать виртуальные среды, имитирующие реальные стройплощадки и процессы. Это не только улучшает обучение и подготовку к работе, но также позволяет обнаруживать и исправлять ошибки в проектировании и планировании до начала физического строительства. Решения на основе AR, такие как GenieVision, позволяют инженерам сравнивать реальные объекты и модели 3D BIM, что упрощает выявление и устранение дефектов в конструкции.

Несомненно, виртуальная реальность играет ключевую роль в обучении и повышении осведомленности о безопасности на стройплощадках. Рабочие и персонал могут пройти через сценарии опасных ситуаций в безопасных виртуальных средах, разрабатывая необходимые навыки и реагируя на угрозы. Это помогает снизить количество несчастных случаев и повышает безопасность труда на стройке.

*Строительство с нулевыми отходами.* Подход является важным этапом в современном строительстве, фокусирующимся на минимизации и устранении отходов во всех этапах жизненного цикла здания. Он включает в себя ряд стратегий и методов, направленных на сокращение негативного воздействия на окружающую среду и содействие экономической эффективности, таких как:

- использование нетоксичных и биоразлагаемых материалов: строительство с нулевыми отходами начинается с использования материалов, которые легко разлагаются и не загрязняют окружающую среду, эти материалы биоразлагаются с течением времени, снижая негативное воздействие на окружающую среду;

- оптимизация использования материалов: это означает бережное использование ресурсов и снижение потерь;

- интеграция процессов проектирования и строительства: совмещение процессов проектирования и строительства позволяет более эффективно планировать и воплощать проекты, что приводит к снижению отходов и избыточных издержек;

- утилизация строительных отходов: такие материалы как бетон, кирпичи и асфальт могут быть использованы повторно, тем самым уменьшая потребность в новых материалах;

- получение энергии из отходов: использование отходов в качестве топлива для производства электроэнергии не только снижает воздействие на окружающую среду, но и снижает затраты и повышает социальную ценность проектов.

Следовательно, строительство играет ключевую роль в обеспечении жильем и инфраструктурой быстро растущего мира. Однако оно также сталкивается с различными вызовами, включая потребность в более устойчивых и экологически чистых решениях, увеличении эффективности и улучшении безопасности на стройплощадках.

Инновации в строительстве не только удовлетворяют эти вызовы, но и преобразуют отрасль. Технологии, такие как 3D-печать и строительные роботы, позволяют сократить время строительства, уменьшить количество отходов материалов и улучшить гибкость в проектировании. Энергоэффективная архитектура и использование экологически чистых строительных материалов снижают негативное воздействие на окружающую среду и повышают уровень комфорта для конечных пользователей.

Инновации также способствуют увеличению безопасности на стройплощадках, благодаря использованию виртуальной реальности для обучения и обнаружения потенциальных опасных ситуаций. Это помогает снизить количество несчастных случаев и обеспечивает защиту работников.

Таким образом, инновации не только улучшают строительство, но и делают его более устойчивым, экологически чистым и безопасным. Вместе с этим они являются двигателем прогресса в строительной индустрии, способствуя развитию более устойчивых и ответственных строительных решений.

### **Список использованных источников**

1. Тенденции устойчивого строительства в 2023 году. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.startus-insights.com/innovators-guide/sustainable-construction-trends/> – Дата доступа: 15.10.2023.
2. Компания Black Buffalo [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://bb3d.io/products-services/> – Дата доступа: 1.10.2023.
3. Искусственный интеллект: технологии и применение [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rdc.grfc.ru/2020/12/aitech/> – Дата доступа: 5.10.2023.
4. Строительные технологии: 5 инноваций, повышающих безопасность в отрасли [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://techaeris.com/2023/08/16/construction-tech-5-innovations-transforming-safety-in-the-industry/> – Дата доступа: 15.10.2023.
5. Новые технологии в строительстве 2023 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.planradar.com/ru/novye-tekhnologii-v-stroitelstve/> – Дата доступа: 16.10.2023.