

Вестник Томского государственного  
архитектурно-строительного университета.  
2024. Т. 26. № 1. С. 163–178.

ISSN 1607-1859 (для печатной версии)  
ISSN 2310-0044 (для электронной версии)

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo  
arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta –  
Journal of Construction and Architecture.  
2024; 26 (1): 163–178.

Print ISSN 1607-1859  
Online ISSN 2310-0044

## НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 692

DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-1-163-178

EDN: KRQYWZ

# ВОЗМОЖНОСТИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В СТРОИТЕЛЬНОЙ ИНДУСТРИИ

**Мохаммад Махди Каширипур, Владимир Александрович Николук**

*Белорусский национальный технический университет,*

*г. Минск, Республика Беларусь*

**Аннотация.** *Актуальность.* В статье рассматривается эффективность и возможность использования современных технологий в строительной индустрии.

*Цель исследования:* изучение новых тенденций в строительстве, оценка актуальности и эффективности внедрения и использования искусственного интеллекта в строительной индустрии, рассмотрение преимуществ и недостатков исследуемых инноваций в современных реалиях, анализ работоспособности и эффективности применения новых технологий в мировой строительной индустрии.

*Материалы и методы:* обзор и систематизация научных источников, изучение мнения сторонних экспертов и наблюдателей на ресурсах открытого доступа, порталах частных энтузиастов, вовлечённых в процесс исследования путей внедрения и реализации современных технологий в строительной индустрии.

*Результаты и выводы:* приведены методы и условия использования современных технологий в мировой практике, освещены недостатки и преимущества технологий, наглядно продемонстрированы результаты их работы. Рассмотрено понятие «искусственный интеллект», раскрыта необходимость его применения в строительной индустрии, проанализированы преимущества и недостатки использования новейших технологий.

Статья предназначена для ознакомления научного сообщества и широкого круга читателей с проведённой исследовательской работой в сфере современных технологий, применяемых в строительной индустрии.

**Ключевые слова:** искусственный интеллект, строительная индустрия, передовые технологии, строительство, здания и сооружения, архитектура

**Для цитирования:** Каширипур М.М., Николук В.А. Возможности искусственного интеллекта в строительной индустрии // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2024. Т. 26. № 1. С. 163–178. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-1-163-178. EDN: KRQYWZ

## ORIGINAL ARTICLE

ARTIFICIAL INTELLIGENCE  
IN CONSTRUCTION INDUSTRY

Mohammad M. Kashiripoor, Vladimir A. Nikolyuk

Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

**Abstract. Purpose:** The aim of this work is to study new trends in construction, their advantages and disadvantages, application of innovations, analysis of operability and efficiency of new technologies in the global construction industry.

**Methodology/approach:** The literature review and systematization, study the expert opinion on open access resources, portals of private enthusiasts involved in seeking for ways to introduce and implement modern technologies in the construction industry.

**Research findings:** The paper presents methods and conditions of using modern technologies in the world practice, disadvantages and advantages of technologies, the concept of artificial intelligence and its application in the construction industry.

**Value:** The study of currently used modern technologies in the construction industry and their implementation in world practice.

**Keywords:** artificial intelligence, construction industry, advanced technologies, construction, architecture

**For citation:** Kashiripoor M.M., Nikolyuk V.A. Artificial intelligence in construction industry. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2024; 26 (1): 163–178. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-1-163-178. EDN: KRQYWZ

## Введение

В строительной индустрии всего мира происходит активное внедрение новых технологий. При возведении зданий и сооружений различной сложности применяются технологии искусственного интеллекта, способствующие улучшению качества труда, понижению экономических затрат, повышению безопасности производства работ. Учитывая востребованность и эффективность внедрения искусственного интеллекта в строительную индустрию, мировое научное сообщество стало анализировать работы, проведённые под руководством инженеров, внедривших искусственный интеллект в рабочий процесс, и выдвигать своё видение возможности применения данной инновации во многих направлениях строительства. Большое количество компаний начали пересматривать свои методы ведения рабочих процессов в попытке внедрить и тем самым изменить в положительную сторону модели ведения бизнеса.

Анализ результатов применения тех или иных инноваций в строительной индустрии находит отражение в публикациях международного уровня, что влечет начало новой стадии развития технологического прогресса в строительстве. Повышение обществом планки развития технологических возможностей достигло своего пика, публицисты и учёные стали активно делиться мнениями и теориями по поводу внедрения прогрессивной технологии, способствующей упростить и выгодно заменить убыточные направления инноваций прошлых лет [1, 2, 3]. Это привело к появлению новых терминов и определений, систем и технологий, а также процессов, способствующих достижению желаемого результата [2, 4, 5].

Анализ научных источников позволил выявить проблемы, решение которых возможно на основе применения одной из технологий, повлекших введение нового термина: «искусственный интеллект». В 2020 г. мир охватила пандемия коронавирусной инфекции, ежедневно уносившая жизни сотен людей из-за непосредственного контакта друг с другом. В первую очередь данная проблема дала понять, что при внедрении искусственного интеллекта можно избежать пандемических катастроф благодаря отказу без необходимости в контактировании людей между собой. Во вторую очередь, благодаря введению данной инновации, можно повысить экономические показатели в такой последовательности: отказ от применения ежедневной многотысячной живой силы, что способствует меньшему контактированию [6, 7], следовательно, уменьшается риск развития болезней и появления пандемий, из чего вытекает уменьшение финансовых затрат на оплату труда, который заменяется менее затратными действиями – обучением и контролем искусственного интеллекта, для которых достаточно пары человек, в отличие от задействования в этом же направлении сотен людей.

Целью настоящего исследования является изучение новых тенденций в строительной индустрии, актуальности и эффективности внедрения искусственного интеллекта в рассматриваемую сферу. Осуществляется попытка систематизировать данные нововведения, получить результаты, которыми можно будет руководствоваться при составлении вывода о проделанной работе и рекомендаций последующего применения изученных технологий в реальной жизни.

Задачи, решение которых приведёт к заявленной цели:

- рассмотрение искусственного интеллекта как инструмента в строительной индустрии;
- изучение и понятие новых тенденций строительной индустрии;
- определение потенциально необходимых и полезных инноваций в строительной сфере;
- оценка экономического результата внедрения новых технологий;
- рассмотрение общественной безопасности при использовании нововведений.

Методами исследования стали обзор научной литературы и интернет-источников, анализ изученного материала и практических примеров, связанных с поставленной задачей, составление вывода и личного мнения о проделанной работе.

### **Новейшие технологии в строительной индустрии**

Инновации в строительной индустрии появляются ежедневно. Частично это взаимозаменяемый, частично доработанный и внедрённый впервые продукт. Выделив наиболее значимые особенности строительной индустрии, такие как экономичность, трудозатратность, энергоэффективность, значимость для общества, следует обратить внимание на технологии, отвечающие этим аспектам. Также нельзя исключать технологии, соответствующие одному или нескольким из приведенных параметров, поскольку на практике возможен симбиоз на основе двух и более продуктов, которые будут способствовать со-

зданию нового. На данный момент большую востребованность в строительной индустрии имеют:

*Blockchain (цепочка блоков)* – это технология, связанная с шифрованием и хранением данных, расположенных на компьютерах, связанных между собой одной сетью. Данная технология позволяет в любое время суток, из любой точки земли обратиться к необходимой информации, связанной с объектом, зашифрованной и хранящейся на отдельном сервере.

*Нанотехнологии* – область науки, связанная с производством и разработкой материалов, имеющих изменённую атомную структуру. Основной принцип заключается в манипуляции расстояниями между необходимыми атомами и молекулами, за счёт чего материалы приобретают новые свойства. В строительной индустрии наноматериалы делятся на категории следующим образом: материалы, имеющие малое числа структурных элементов; малоразмерные элементы; массивные строительные изделия; композиты.

*BIM (Building Information Modeling)* – технология, позволяющая создавать модели зданий, а также предотвращать появление расхождений и ошибок ещё на этапе проектирования сооружения. Данная технология близко связана с технологией *Blockchain*, поскольку модели и проекты, разрабатываемые с её помощью, можно объединить за счёт совместной работы нескольких отделов проектирования путём публикации и сохранения полученных материалов на совместном сервере.

*Metaverse (Метавселенная)* – виртуальное пространство, позволяющее людям взаимодействовать между собой как в нём, так и во внешней реальности, с добавлением визуальных изменений окружающей среды. Данная технология дает возможность производить работы на выбранном объекте с визуальным изменением окружающей среды. Например, появляется возможность обнаружить нехватку несущей способности здания в ситуации, связанной с метеорологическим влиянием на сооружение. Это позволит вовремя внести изменения в используемые конструкции и избежать выявленной проблемы в процессе эксплуатации здания [2].

*3D-печать* – технология, позволяющая печатать необходимые элементы и конструкции, которые можно использовать при проведении строительных работ. Кроме того, данная технология используется для создания (печати) стен, перегородок. Реальным примером эффективности применения данной технологии служит напечатанный дом [8].

*Модульное строительство* – метод, позволяющий производить сборку здания из заготовленных модулей, произведённых вне строительной площадки (на заводе). Данный подход сокращает затрачиваемое время на постройку здания и улучшает качество конструкции.

*Переработанные и экологически чистые материалы* – в современном мире уделяют большое внимание экологическим проблемам, возникающим из-за использования вредных и сложно перерабатываемых материалов, разрушающих окружающую среду [9]. Применение переработанных (пластик, автомобильные покрышки, макулатура и др.) и экологически чистых материалов (древесина, бамбук, камень, глина и др.) позволяет подойти к процессу строительства более бережно с точки зрения экологии и исключить использование опасных и вредных материалов.

*Энергосберегающие методы* – к данному пункту можно отнести применение солнечных батарей, тепловых насосов и других систем, позволяющих собирать и в последующем использовать накопленную энергию, снижая энергозатраты и применяя экологически чистые технологии.

*Роботизация* – технология, позволяющая использовать роботизированную технику для выполнения трудных задач, таких как перемещение большого количества тяжёлых материалов, установка сложных конструкций. Благодаря данной технологии можно добиться уменьшения травматизма рабочих, сокращения времени на выполнение поставленной задачи, повышения качества выполняемой работы.

*Датчики* – в современном мире датчики используются на стратегически важных предприятиях, в зданиях особого назначения или же в зданиях, способных вмещать большое количество человек, чтобы отслеживать изменения, способные повлиять на эффективность и безопасность человеческой жизни. Кроме того, данная технология применяется для управления системами здания, для мониторинга и аналитики происходящего, в системах канализации, вентиляции и отопления.

В источниках об инновациях в строительной индустрии обнаружилась технология, привлекающая выразительными перспективами на будущее, а именно «Искусственный интеллект» (ИИ), или *Artificial intelligence (AI)*. Проанализировав функционал всех вышеперечисленных инноваций, применяемых ведущими мировыми компаниями, и изучив возможности ИИ, можно заключить, что данная технология позволяет объединить их в одно целое, благодаря чему можно будет добиться значительного прогресса в строительной индустрии и перейти на новый этап развития. В настоящее время мировыми лидерами в разработке искусственного интеллекта являются США, Китай, Великобритания, Индия, Германия – в этих странах созданы наиболее благоприятные условия для развития данного направления.

### **Искусственный интеллект (Artificial intelligence)**

Четвёртая промышленная революция стремительно набирает обороты во всём мире, внедряясь в том числе и в строительную индустрию, в которой можно выделить три основных направления: проектирование, строительство, обслуживание. Каждое из этих направлений имеет свои особенности и задачу для достижения блестящего результата в производстве и выполнении работ, связанных с тем или иным направлением, задействуются высококвалифицированные специалисты, которым свойственно рано или поздно допускать ошибки, вызванные усталостью или перенапряжением мозговой активности (человеческий фактор), приводящим к непоправимым последствиям. Анализируя допущенные фатальные ошибки, мировое научное сообщество активно включает строительную индустрию в сферу инновационных технологий, таких как искусственный интеллект, благодаря чему уменьшается время строительства и проектирования, увеличивается качество постройки сооружений, повышается безопасность работников на объектах строительства и уменьшается возможность допущения ошибочных действий фатального характера.

На данный момент развитием искусственного интеллекта занимаются как учёные, так и простые энтузиасты, углубившиеся в изучение данной технологии и увидевшие в этом блестящую перспективу.

Создание искусственного интеллекта началось ещё в 1960-х гг., но учёными и инвесторами, финансирующими этот проект, было принято решение о приостановке развития данного направления. По их словам, они понимали, что уровень развития общества в технологическом направлении мизерно мал и не может достичь желаемого прорыва в интеллектуальных машинах [10]. Вложенные средства не окупали затраты на развитие, и тем самым складывалось мнение, что искусственный интеллект – временная иллюзия [11]. Применение ИИ в строительной индустрии активно набирает обороты ещё с 1980-х гг. На данный момент можно выделить несколько основных направлений использования искусственного интеллекта в строительной индустрии.

1. Обеспечение безопасности рабочих с отслеживанием как средств персональной защиты, так и возможных опасностей на строительной площадке:

- использование искусственного интеллекта для своевременного обнаружения средств персональной защиты;

- применение искусственного интеллекта для своевременного обнаружения опасностей как на строительной площадке, так и на рабочем месте.

2. Определение допускаемого состояния используемой на строительной площадке техники и конструкций – обнаружение коррозии.

3. Инспекция объектов инфраструктуры.

4. Обнаружение дефектов в бетонных конструкциях.

5. Обслуживание в целях профилактики.

6. Отслеживание результативности труда.

7. Топография и картография.

Таким образом, эти сферы связаны с одним из технологических направлений искусственного интеллекта – видеоаналитическим методом.

Рассмотрим каждый из вышеперечисленных пунктов с сохранением нумерации.

1. Обеспечение безопасности рабочих с отслеживанием средств персональной защиты и возможных опасностей на строительной площадке. Данное направление позволяет отслеживать необходимые средства персональной защиты при выполнении рабочими поставленных задач на рабочем месте. Рассматривая строительную площадку, нужно учитывать, что возможно падение инородного объекта на голову, которое приведёт к травме рабочего. Для предотвращения травм каждый работник объекта повышенной опасности, находясь на рабочем месте, согласно правилам техники безопасности, обязан надевать строительную каску. Однако эти требования не всегда добросовестно выполняются, иногда люди попросту забывают надеть каску или, находясь вне поля зрения руководства, пренебрегают данным требованием [12]. В этой ситуации эффективно справляется со своими задачами видеоаналитический метод под управлением искусственного интеллекта: при выявлении нарушения техники безопасности работником, находящимся на рабочем месте, незамедлительно информируется руководитель объекта, который в последующем принимает решение по исполнению профилактических/штрафных мер по отношению к рабочему. Видеоаналитика эффективна тем, что помимо отслеживания средств персональной защиты во время нахождения на строительной площадке или же при выполнении работ она позволяет безошибочно идентифицировать необходимого работ-

ника для наложения на него штрафных санкций путём автоматического формирования акта о нарушении требований техники безопасности (рис. 1).



Рис. 1. Отслеживание средств персональной защиты искусственным интеллектом [13]

Fig. 1. Artificial intelligence tracking of personal protective equipment

Использование искусственного интеллекта для своевременного обнаружения опасностей на строительной площадке и на рабочем месте позволяет в режиме реального времени предоставить информацию о материалах/предметах, располагающихся непосредственно рядом с рабочим, которые могут составлять угрозу его жизни и здоровью (рис. 2).

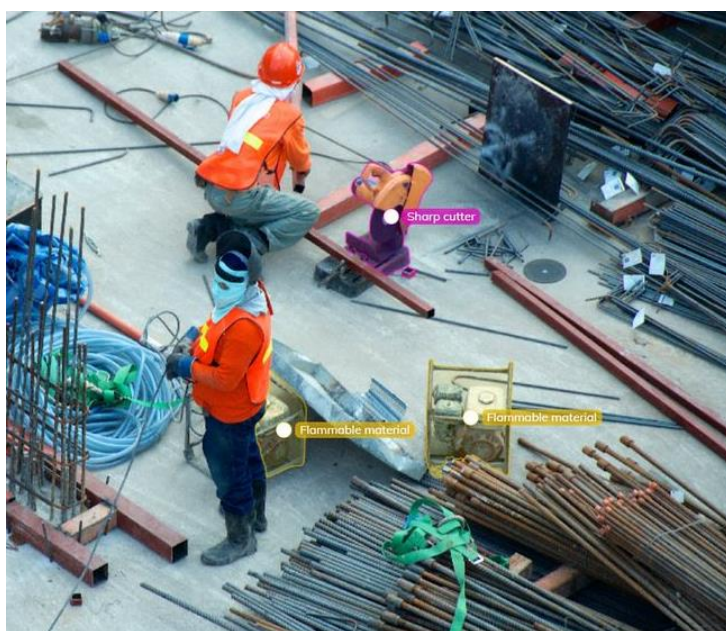


Рис. 2. Обнаружение искусственным интеллектом опасностей и предоставление информации о материалах/предметах [13]

Fig. 2. Artificial intelligence detection of hazards and provision of information about materials/items



При распознавании искусственным интеллектом возможной опасности система незамедлительно, в режиме реального времени, предупреждает об этом менеджера и работника, который находится в непосредственной близости от опасного предмета. Такие системы распознавания и оповещения выгодно применять на участках повышенной опасности, при производстве работ строителями в непосредственной близости от работающей строительной техники [11]. Данный метод успешно применяется на практике и отличается высокой эффективностью. Примером может служить платформа IRIS. Интеграция данной платформы с искусственным интеллектом выполняется для достижения цели: «Ноль несчастных случаев на рабочих местах». Таким образом, искусственный интеллект IRIS воссоздаёт виртуальную карту, на которой производит анализ всей рабочей зоны, используя изображения с камер видеонаблюдения.

2. Летальные исходы по причине изношенности конструкций/техники – не редкость. Видеоаналитический метод в данном случае позволяет снизить риск гибели рабочих при производстве работ с использованием изношенных конструкций/техники. Принцип работы схож с вышеприведенным. На данный момент развитием технологии по отслеживанию коррозии искусственным интеллектом занимается компания Infosys [14]. Принцип данной технологии заключается в разработке и обучении искусственного интеллекта поиску и в последующем предоставлении информации о классе обнаруженной коррозии (рис. 3). Применение данного метода позволит дать более точную оценку, чем человек на основе визуального осмотра. В настоящее время удалось добиться точного результата обнаружения и классификации коррозии в 70 % случаев, учитывая тот факт, что искусственный интеллект был обучен на основе небольшой базы данных. Таким образом, можно сделать вывод, что при более глубоком обучении искусственного интеллекта на основе расширенной базы данных процентные показатели определения и классификации коррозии будут расти [14].

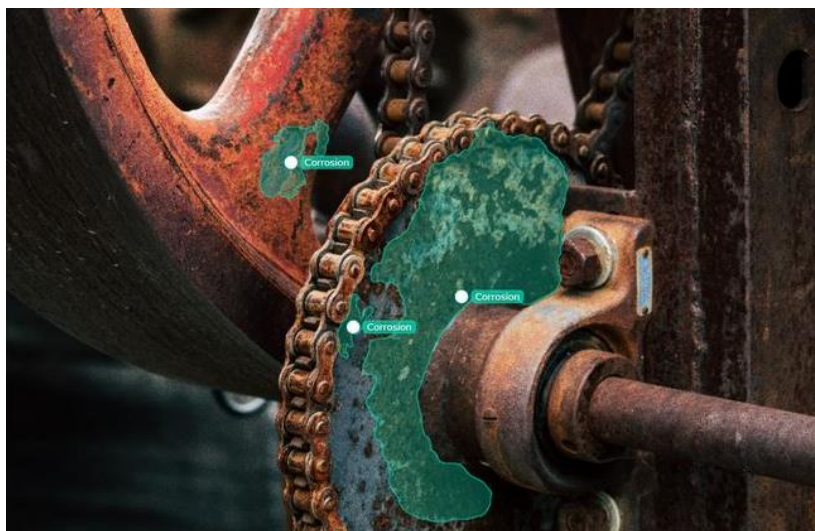


Рис. 3. Обнаружение искусственным интеллектом коррозии и её классификация [13]  
Fig. 3. Detection and classification of corrosion by artificial intelligence



3. При проведении инспекции объектов инфраструктуры, как и в случае с определением коррозии, важную роль играет человеческая оценка. Поскольку она может быть субъективной и не всегда схожей с мнением других экспертов, наиболее точную оценку может предоставить искусственный интеллект глубокого обучения. При внедрении обученного искусственного интеллекта появляется возможность получения наиболее точной информации по соблюдению графика информационной модели здания (BIM). Система искусственного интеллекта позволяет моментально отслеживать появление трещин в бетоне, его отслоение, повреждение конструкций и передавать информацию инспекторам и руководителям проекта (рис. 4). Для изучения внешней части высотного здания при помощи дронов производится съёмка всего здания. Затем данные съёмки покадрово разбиваются с извлечением оптического распознавания символов, после чего эти изображения совмещаются, чтобы дать точную оценку характера и классификации повреждений, трещин и т. д. Как только обучение искусственного интеллекта произведено, для него появляется возможность самостоятельного выполнения работы. Данная работа может быть выполнена благодаря платформе V7 [15].



Рис. 4. Обнаружение искусственным интеллектом дефектов в конструкциях [15]

*Fig. 4. Flow detection by artificial intelligence*

4. Обнаружение дефектов в бетонных конструкциях, как и при обнаружении и присвоении класса коррозии, имеет схожие нюансы при выполнении данной работы человеком. Использование искусственного интеллекта для распознавания трещин в бетонных конструкциях и их классификации дает возможность применить полученный опыт из базы изображений, на основе которых обучался искусственный интеллект, для последующего анализа вероятности увеличения трещин, поломок конструкций и т. д. (рис. 5). Отличным примером может послужить исследование, проведенное в 2020 г. и продемонстрированное на Меж-

дународной конференции по оценке вычислительной производительности (ОВП) – *International Conference on Computational Performance Evaluation (ComPE)* – в Индии. Исследователи намерены были узнать, насколько будут положительными результаты в оценке бетонных конструкций при использовании беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) с доработанным и обученным на определённом количестве изображений встроенным искусственным интеллектом. Для этого они использовали около 1050 изображений, которые были протестированы на 450 других изображениях. В результате проведённого теста показатель точности обнаружения трещин составил 98,4 % с учётом того, что трещины были обнаружены в местах, в которых даже человеческому глазу было бы сложно их распознать и определить [16].



Рис. 5. Обнаружение искусственным интеллектом дефектов и трещин в бетонных конструкциях [12]

Fig. 5. Flow and crack detection in concrete structures by artificial intelligence

5. Обслуживание оборудования и техники в целях профилактики играет одну из важнейших ролей на строительной площадке. Жизни людей могут находиться под угрозой при невыявленных неисправностях эксплуатируемого оборудования. Своевременный анализ технического состояния механизмов и оборудования с использованием искусственного интеллекта, обученного на прогноз и аналитику долговечности обслуживания техники, позволит непрерывно контролировать их состояние, заранее предпринять, при необходимости, меры по её замене. Это положительно скажется на эффективности рабочего процесса, способствуя его ускорению и сокращению времени простоя (рис. 6).

6. Оценка результативности труда рабочих – достаточно сложный процесс. Часто руководители склонны выполнять данную работу только при возникновении проблем. Внедрение сети глубокого обучения на распознавание ра-

ботника, типа выполняемой им работы и времени, затраченного на определенное действие, легко позволит проанализировать, какой из рабочих добросовестно выполнял свою работу, а какой пренебрегал поставленной ему задачей (рис. 7).



Рис. 6. Проведение искусственным интеллектом профилактических мероприятий по оценке состояния техники и оборудования [12]

Fig. 6. Machinery and equipment assessment by artificial intelligence



Рис. 7. Отслеживание искусственным интеллектом результативности выполняемого труда рабочим [11]

Fig. 7. Artificial intelligence in tracking the effectiveness provided by a worker



7. Топография и картография, наряду с вышеперечисленными пунктами, играют важную роль в начале проектирования и строительства. Используя нейронную сеть с аппаратной экосистемой (беспилотным летательным аппаратом), можно произвести съёмку местности перед началом проектирования. Полученные изображения преобразуются по заданным параметрам с нанесением здания, похожего по запланированному для постройки типа, после чего результат подвергается анализу с точки зрения рациональности постройки необходимого объекта на данном участке земли.

Использование искусственного интеллекта в строительной индустрии имеет свои преимущества и недостатки.

Преимущества:

- понижение экономических затрат на выполнение работ;
- повышение безопасности на рабочем месте;
- уменьшение задействованного рабочего персонала на выполнение работ и замена искусственным интеллектом;
- понижение риска возникновения и развития болезней за счёт уменьшения количества задействованных работников и отсутствия их прямого контакта друг с другом;
- возможность дистанционного отслеживания и мониторинга изменений в конструкциях в любое время суток;
- повышение эффективности выполняемой работы;
- сокращение сроков выполнения отдельных видов работ;
- снижение отрицательного влияния на экологию;
- перспектива использования в будущем на новом уровне развития.

Недостатки:

- невозможность применения на всех этапах строительства на данный момент времени;
- малая развитость на мировой арене;
- нехватка специалистов по настройке и контролю;
- сокращение рабочих мест;
- необходимость проверки данных для исключения ошибок.

### Выводы

Таким образом, изучив и систематизировав актуальную информацию по использованию и внедрению в строительную индустрию современных технологий, а также такую технологию, как искусственный интеллект, можно сделать следующие выводы:

- прогресс в развитии инноваций для улучшения качества и эффективности труда ежедневно подвергается критическому осмыслению и доработкам, что положительно сказывается на перспективах модернизации современных технологий;
- мировое научное сообщество активно продвигается и углубляется в изучение технологий, способных изменить человечество своими возможностями;
- разработка инноваций, способных повлиять на уменьшение заболеваемости и развитие пандемического положения, занимает лидирующее место на мировой арене;

– технологии, применяемые на данный момент, модернизируются с созданием симбиоза, упрощающего процесс их внедрения и повышающего эффективность использования;

– искусственный интеллект – технология, имеющая перспективное будущее, обладает преимуществами и недостатками, которые можно привести к единому положительному результату путем трудоёмкой и упорной работы по глубокому обучению и грамотному внедрению в жизнедеятельность человека;

– эффективность исполнительности технологии искусственного интеллекта в применяемых направлениях работ успешно проявляет себя, демонстрируя высокие показатели выполнения поставленных задач;

– следует помнить об опасности использования и внедрения человеком искусственного интеллекта во всех сферах жизнедеятельности. Необходимо контролировать количество и вид информации, передаваемой данной технологии, чтобы не допустить истребления человечества за счёт саморазвития искусственного интеллекта.

### Заключение

Настоящее исследование способствует систематизации необходимой для проведения последующих исследовательских и научных работ информации, применение которой приведёт к освоению и созданию новых технологий. Перспектива создания инноваций, способных улучшить качество жизни человека и экологическое положение, имеет положительный отклик со стороны человечества.

Использование и внедрение современных технологий способом роботизации и управления искусственным интеллектом в строительной индустрии доказывает свою эффективность на рынке труда, стимулирует внесение изменений в процесс исполнения рабочих обязанностей человеком, делая это направление привлекательным для развития государства, учёных и энтузиастов всего мира. Необходимость контроля создаваемых и обучаемых человеком технологий занимает одну из лидирующих позиций обеспечения безопасности в обществе. Следует повышать финансирование и создавать комфортные условия для учёных и подрастающего поколения, чтобы добиться значительного прогресса в развитии технологий.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Pan Y., Zhang L. Roles of artificial intelligence in construction engineering and management: A critical review and future trends // *Automation in Construction*. 2021. V. 122. Art. 103517. DOI: 10.1016/j.autcon.2020.103517
2. Abioye S.O., Oyedele L.O., Akanbi L., Ajayi A., Delgado J.M.D., Bilal M., Olugbenga O.A., Ahmed A. Artificial intelligence in the construction industry: A review of present status, opportunities and future challenges // *Journal of Building Engineering*. 2021. V. 44. Art.103299. DOI: 10.1016/j.jobe.2021.103299
3. Sacks R., Girolami M., Brilakis I. Building information modelling, artificial intelligence and construction tech // *Developments in the Built Environment*. 2020. V. 4. Art.100011. DOI: 10.1016/j.dibe.2020.100011
4. Каширищев М.М., Бореико В.М. Автоматический мониторинг для сложных сооружений и инфраструктуры города // *Дорожное строительство и его инженерное обеспечение : материалы III Международной научно-технической конференции / сост. С.Н. Соболевская, Е.М. Жуковский. Минск : БНТУ, 2022. С. 90–94. URL: <https://rep.bntu.by/handle/data/125165>*

5. *Каширинур М.М.* Применение метавселенной в городах, её понятие, преимущества и недостатки // Градостроительство и архитектура. 2023. Т. 13. № 3. С. 168–173. DOI: 10.17673/Vestnik.2023.03.21
6. *Каширинур М.М., Аль-Сайяб А.А.* Надлежащая методология автоматизированного мониторинга в процессе строительства // Инжиниринг и экономика: современное состояние и перспективы развития : сб. материалов студенческой научно-технической конференции в рамках 20-й Международной научно-технической конференции БНТУ «Наука – образованию, производству и экономике» и 78-й студенческой научно-технической конференции БНТУ, 4–5 мая 2022 г. / редкол.: О.С. Голубова [и др.] ; сост. Н.А. Пашкевич. Минск : БНТУ, 2022. С. 84–88. URL : <https://rep.bntu.by/handle/data/114411>
7. *Каширинур М.М., Альмалеги А.М.* Разработка подходящей методологии управления строительными проектами // Инжиниринг и экономика: современное состояние и перспективы развития : сб. материалов студенческой научно-технической конференции в рамках 20-й Международной научно-технической конференции БНТУ «Наука – образованию, производству и экономике» и 78-й студенческой научно-технической конференции БНТУ, 4–5 мая 2022 г. / редкол.: О.С. Голубова [и др.] ; сост. Н.А. Пашкевич. Минск : БНТУ, 2022. С. 78–83. URL : <https://rep.bntu.by/handle/data/114410>
8. *Каширинур М.М., Гарагозов С.Б.* Новые тенденции и инновации в строительстве: строительство с помощью 3D-принтера // Инжиниринг и экономика: современное состояние и перспективы развития : сб. материалов студенческой научно-технической конференции в рамках 20-й Международной научно-технической конференции БНТУ «Наука – образованию, производству и экономике» и 78-й студенческой научно-технической конференции БНТУ, 4–5 мая 2022 г. / редкол.: О.С. Голубова [и др.] ; сост. Н.А. Пашкевич. Минск : БНТУ, 2022. С. 94–99. URL : <https://rep.bntu.by/handle/data/114413>
9. *Каширинур М.М., Кухарева И.В.* Инновации в строительстве: строительство домов из отходов // Инжиниринг и экономика: современное состояние и перспективы развития : сб. материалов студенческой научно-технической конференции в рамках 20-й Международной научно-технической конференции БНТУ «Наука – образованию, производству и экономике» и 78-й студенческой научно-технической конференции БНТУ, 4–5 мая 2022 г. / редкол.: О.С. Голубова [и др.] ; сост. Н.А. Пашкевич. Минск : БНТУ, 2022. С. 100–103. URL : <https://rep.bntu.by/handle/data/114414>
10. *Как развивалась технология искусственного интеллекта* // Газета.Ru. URL: [https://www.gazeta.ru/tech/2021/01/06/13427876/II\\_for\\_ages.shtml?ysclid=lm2ip0c0651293125&updated](https://www.gazeta.ru/tech/2021/01/06/13427876/II_for_ages.shtml?ysclid=lm2ip0c0651293125&updated) (дата обращения: 26.10.2023)
11. *Искусственный интеллект в строительстве: 7 готовых к работе ИИ-приложений в строительстве* // ELport.ru : деловой портал. URL: [https://elport.ru/articles/iskusstvennyiy\\_intellekt\\_v\\_stroitelstve\\_7\\_gotovyih\\_k\\_rabote\\_ii-prilozheniy\\_v\\_stroitelstve](https://elport.ru/articles/iskusstvennyiy_intellekt_v_stroitelstve_7_gotovyih_k_rabote_ii-prilozheniy_v_stroitelstve) (дата обращения: 24.10.2023).
12. *Громовская Е.А.* Повышение безопасности персонала на производстве за счет внедрения искусственного интеллекта // Вестник магистратуры. 2022. № 12-5 (135). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-bezopasnosti-personala-na-proizvodstve-za-schet-vnedreniya-iskusstvennogo-intellekta/viewer> (дата обращения: 26.10.2023).
13. *Using computer vision to detect and classify corrosion* // Infosys Knowledge Institute. URL: <https://www.infosys.com/about/knowledge-institute/insights/documents/classify-corrosion.pdf> (дата обращения: 22.10.2023).
14. *Умное строительство: как искусственный интеллект может повысить уровень безопасности на стройке* // NEWS.am TECH – Инновации и наука. URL: <https://tech.news.am/rus/print/1026/> (дата обращения: 29.10.2023).
15. *The AI data engine for computer vision & generative AI* // V7. URL: <https://www.v7labs.com> (дата обращения: 30.10.2023).
16. *Alokita Karmokar, Nikhil Jani, Anushka Kalla, Harsh Harlalka, Poonam Sonar.* Inspection of concrete structures by a computer vision technique and an unmanned aerial vehicle // 2020 International Conference on Computational Performance Evaluation (ComPE) : IEEE Conference Publication. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9200107> DOI: 10.1109/ComPE 49325.2020.9200107 (дата обращения: 02.11.2023).

## REFERENCES

1. Pan Y., Zhang L. Roles of artificial intelligence in construction engineering and management: A critical review and future trends. *Automation in Construction*. 2021; 122: 103517. DOI: 10.1016/j.autcon.2020.103517
2. Abioye S., Oyedele L.O., Akanbi L., Ajayi A., Delgado J.M.D., Bilal M., Olugbenga O.A., Ahmed A. Artificial intelligence in the construction industry: A review of present status, opportunities and future challenges. *Journal of Building Engineering*. 2021; 44: 103299. DOI: 10.1016/j.jobe.2021.103299
3. Sacks R., Girolami M., Brilakis I. Building information modelling, artificial intelligence and construction tech. *Developments in the Built Environment*. 2020; 4: 100011. DOI: 10.1016/j.dibe.2020.100011. DOI:10.1016/j.dibe.2020.100011
4. Kashiripur M.M., Boreyko V.M. Automatic monitoring for complex structures and urban infrastructure. In: *Proc. 3rd Int. Conf. 'Road Construction and Engineering'*. Minsk, 2022. Pp. 90–94. Available: <https://rep.bntu.by/handle/data/125165> (In Russian)
5. Kashiripoor M.M. Application of metauniverse in cities, concept, advantages and disadvantages. *Gradostroitel'stvo i arkhitektura*. 2023; 13 (3): 168–173. DOI:10.17673/Vestnik.2023.03.21 (In Russian)
6. Kashiripoor M.M., Al-Sayyab A. A. Proper methodology of automated monitoring in construction. In: *Proc. 20th Int. Conf. 'Science for Education, Production and Economy'*. Minsk, 2022. Pp. 84–88. Available: <https://rep.bntu.by/handle/data/114411> (In Russian)
7. Kashiripoor M.M., Almalegi A.M. Methodology development for construction project management. In: *Proc. 20th Int. Conf. 'Science for Education, Production and Economy'*. Minsk, 2022. Pp. 78–83. Available: <https://rep.bntu.by/handle/data/114410> (In Russian)
8. Kashiripur M.M., Garagozov S.B. New trends and innovations in construction: 3D printing in construction. In: *Proc. 20th Int. Conf. 'Science for Education, Production and Economy'*. Minsk, 2022. Pp. 94–99. Available: <https://rep.bntu.by/handle/data/114413> (In Russian)
9. Kashiripur M.M., Kukhareva I.V. Innovations in construction: Waste-based housing. In: *Proc. 20th Int. Conf. 'Science for Education, Production and Economy'*. Minsk, 2022. Pp. 100–103. Available: <https://rep.bntu.by/handle/data/114414> (In Russian)
10. How artificial intelligence technology developed. Available: [www.gazeta.ru/tech/2021/01/06/13427876/II\\_for\\_ages.shtml?ysclid=lm2ip0c0651293125&updated](http://www.gazeta.ru/tech/2021/01/06/13427876/II_for_ages.shtml?ysclid=lm2ip0c0651293125&updated) (accessed October 26, 2023). (In Russian)
11. Artificial intelligence in construction: 7 ready-to-work AI applications in construction. Available: [https://elport.ru/articles/iskusstvennyiy\\_intellekt\\_v\\_stroitelstve\\_7\\_gotovyyih\\_k\\_rabote\\_ii-prilojeniy\\_v\\_stroitelstve](https://elport.ru/articles/iskusstvennyiy_intellekt_v_stroitelstve_7_gotovyyih_k_rabote_ii-prilojeniy_v_stroitelstve) (accessed October 24, 2023). (In Russian)
12. Gromovskaya E.A. Safety improvement of personnel in production using artificial intelligence. *Vestnik magistratury*. 2022; 12-5 (135). Available: <https://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-bezopasnosti-personala-na-proizvodstve-za-schet-vnedreniya-iskusstvennogo-intellekta/viewer> (accessed October 26, 2023). (In Russian)
13. Using computer vision to detect and classify corrosion. Available: [www.infosys.com/about/knowledge-institute/insights/documents/classify-corrosion.pdf](http://www.infosys.com/about/knowledge-institute/insights/documents/classify-corrosion.pdf) (accessed October 22, 2023).
14. Smart construction. Available: <https://tech.news.am/rus/print/1026/> (accessed October 29, 2023). (In Russian)
15. The AI Data Engine for Computer Vision & Generative AI. Available: [www.v7labs.com](http://www.v7labs.com) (accessed October 30, 2023).
16. Alokita Karmokar, Nikhil Jani, Anushka Kalla, Harsh Harlalka, Poonam Sonar. Inspection of concrete structures by a computer vision technique and an unmanned aerial vehicle. In: *Proc. Int. Conf. on Computational Performance Evaluation*. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9200107> (accessed November 2, 2023). DOI: 10.1109/ComPE49325.2020.9200107

## Сведения об авторе

Каширипур Мохаммад Махди, канд. архитектуры, доцент, Белорусский национальный технический университет, 220013, Республика Беларусь, г. Минск, пр. Независимости, 150, mkashiripoor@gmail.com



*Николюк Владимир Александрович*, магистрант, Белорусский национальный технический университет, 220013, Республика Беларусь, г. Минск, пр. Независимости, 150, vladimir.nik2001@yandex.by

**Author Details**

*Mohammad M. Kashiripoor*, PhD, A/Professor, Belarusian National Technical University, 150, Nezavisimosti Ave., 220013, Minsk, Republic of Belarus, mkashiripoor@gmail.com

*Vladimir A. Nikolyuk*, Undergraduate Student, Belarusian National Technical University, 150, Nezavisimosti Ave., 220013, Minsk, Republic of Belarus, vladimir.nik2001@yandex.by

**Вклад авторов**

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.  
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Authors contributions**

The authors contributed equally to this article.  
The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 01.12.2023  
Одобрена после рецензирования 19.12.2023  
Принята к публикации 16.01.2024

Submitted for publication 01.12.2023  
Approved after review 19.12.2023  
Accepted for publication 16.01.2024