

---

## ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ И АРХИТЕКТУРЕ

---

DOI 10.15826/rjst.2022.1.005

УДК 004, 69

Миронова Л. И.<sup>1</sup>, Фомин Н. И.<sup>2</sup>, Винокуров Д. С.<sup>3</sup>, Огородникова С. С.<sup>4</sup>

<sup>1, 2, 3, 4</sup> Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия

e-mail: <sup>1</sup>[mirmila@mail.ru](mailto:mirmila@mail.ru), <sup>2</sup>[nnimoff@mail.ru](mailto:nnimoff@mail.ru), <sup>3</sup>[danil.vinokurov.1999@mail.ru](mailto:danil.vinokurov.1999@mail.ru),

<sup>4</sup>[sveta.ogorodnikova.999@mail.ru](mailto:sveta.ogorodnikova.999@mail.ru)

### СОВРЕМЕННЫЕ ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ВОЗМОЖНОСТЬ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ

**Аннотация.** Целью статьи является показать направление применения цифровых технологий в процессе цифровой трансформации строительной отрасли на основе теоретического анализа таких существующих цифровых технологий, как большие данные, искусственный интеллект, машинное обучение, нейронные сети, человеко-машинный интерфейс, виртуальная реальность, интернет вещей, роботизация и пр., что определяет практическую значимость проведенного исследования. Анализ исторического и технологического аспектов становления цифровой экономики позволил уточнить понятие цифровизации объекта или процесса. Ядром цифровой трансформации строительной отрасли являются технологии информационного моделирования, или BIM-технологии (Building Information Model). Анализ научных публикаций по BIM-технологии, проведенный авторами статьи, позволил установить, что на сегодняшний день не сформировано единое определение понятия «BIM». Несмотря на это, в процессе начинающейся цифровой трансформации строительной отрасли в настоящий момент используются следующие технологические решения: BIM, цифровое моделирование городов (City Information Model, CIM), бережливое строительство (Lean Construction, LC) и пр. Более интенсивная реализация указанных решений может послужить совершенствованию процесса цифровой трансформации строительной отрасли, что приведет к созданию отраслевой цифровой экосистемы. В процессе ее функционирования будет осуществляться цифровое взаимодействие всех участников инвестиционно-строительных проектов в условиях облачной информационно-проектировочной среды.

**Ключевые слова:** цифровая трансформация строительной отрасли, цифровые технологии, облачная информационно-проектировочная среда, BIM-технология, цифровая экосистема.

Mironova L. I. <sup>1</sup>, Fomin N. I. <sup>2</sup>, Vinokurov D. S. <sup>3</sup>, Ogorodnikova S. S. <sup>4</sup>

<sup>1, 2, 3, 4</sup> Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

e-mail: <sup>1</sup> [mirmila@mail.ru](mailto:mirmila@mail.ru), <sup>2</sup> [nnimoff@mail.ru](mailto:nnimoff@mail.ru), <sup>3</sup> [daniel.vinokurov.1999@mail.ru](mailto:daniel.vinokurov.1999@mail.ru),

<sup>4</sup> [sveta.ogorodnikova.999@mail.ru](mailto:sveta.ogorodnikova.999@mail.ru)

## MODERN DIGITAL TECHNOLOGIES AND THE POSSIBILITY OF THEIR APPLICATION IN THE PROCESS OF CONSTRUCTION INDUSTRY DIGITAL TRANSFORMATION

**Abstract.** The purpose of the article: based on a theoretical analysis of existing digital technologies, such as: big data, artificial intelligence, machine learning, neural networks, human-machine interface, virtual reality, the Internet of things, robotization, etc., to show the direction of their application in the digital transformation of the construction industry, which determines the practical significance of the study. An analysis of the historical and technological aspects of the formation of the digital economy made it possible to clarify the concept of digitalization of an object or process. The core of the digital transformation of the construction industry is information modeling technologies, or BIM technologies (Building Information Model). The analysis of scientific publications on BIM technology, carried out by the authors of the article, made it possible to establish that to date a single definition of the concept of "BIM" has not been formed. Despite this, in the process of the emerging digital transformation of the construction industry, the following technological solutions are currently used: BIM, digital city modeling (City Information Model, CIM), lean construction (Lean Construction, LC), etc. More intensive implementation of these solutions can serve improving the process of digital transformation of the construction industry, which will lead to the creation of an industry digital ecosystem. In the process of its functioning, digital interaction of all participants in investment and construction projects will be carried out in the conditions of a cloud information and design environment

**Keywords:** digital transformation of the construction industry, digital technologies, cloud information and design environment, BIM technology, digital ecosystem.

### 1. Введение

Анализ экономической ситуации в мире в историческом аспекте позволили констатировать, что в эпоху индустриальной экономики рост производства характеризовался увеличением физического размера предприятия, ростом количества оборудования, его мощностью, расширением штата сотрудников, значительными финансовыми затратами.

В настоящее время мир вступает в эпоху постиндустриальной цифровой экономики, которая в корне меняет ситуацию, характеризующуюся следующими новыми объективными чертами:

- основным неиссякаемым ресурсом является информация;
- онлайн-продажи осуществляются в неограниченном пространстве;
- успешно конкурировать на рынке может и небольшая компания;
- один и тот же физический ресурс может использоваться бесконечное количество раз для предоставления различных услуг;
- объем операций ограничен только размером Интернета;
- главным ориентиром в бизнесе является клиент.

Начиная с 1994 г. цифровая экономика развивалась только за счет электронной торговли и услуг, но теперь она охватывает практически все сферы жизни: розничная торговля, транспорт, финансовые услуги,

производство, образование, здравоохранение, СМИ и пр.

При этом уровень предоставляемых услуг стал значительно более сложным, в нем сочетаются ранее разрозненные технологии, создаются совершенно новые подходы к управлению производственными процессами и окружающей средой [1].

Анализ различных публикаций, в том числе и сетевых, позволил конкретизировать понятие «цифровая экономика», которая на современном этапе представляет собой результат трансформации новых технологий общего назначения в области информации и коммуникации, что оказало существенное влияние на все секторы экономики и социальной деятельности [2]. Это имеет последствия далеко за пределами информационных и коммуникационных технологий. Кроме того, интернет расширяет права и возможности людей в новых направлениях, давая возможность создавать и делиться своими идеями, порождая новое содержание, новые предприятия и рынки.

Проведенный анализ исторического и технологического аспектов становления цифровой экономики позволил уточнить понятие *цифровизации объекта или процесса*, под которым будем понимать *трансформацию данных об объекте или процессе из аналоговой формы в цифровую с использованием цифровых технологий с последующим автоматизированным анализом цифровых данных и принятием оптимального в определенном смысле управленческого решения для улучшения производства или бизнеса*.

Другими словами, можно сказать, что в ходе процесса цифровизации происходит внедрение цифровых технологий в различные сферы жизни и деятельности человека с целью повышения качества жизни и развития экономики. Это помогает выполнять

рутинные задачи и принимать решения без вмешательства человека. Примерами цифровизации являются умные дома, роботы на заводах, беспилотные транспортные средства и пр. Цель цифровизации заключается в автоматизации процессов перехода информации об объекте или процессе из аналоговой формы в цифровую форму, которая проще анализируется, и которая позволяет на основе анализа получить более точное решение, которое направлено на улучшение производства или бизнеса.

Все вышесказанное обосновывает *актуальность* темы представляемой статьи.

## 2. Результаты и обсуждение

Прежде, чем детально рассмотреть *основные цифровые технологии*, имеющие место в современном мире, дадим определение этому понятию. *Цифровая технология (ЦТ)* – это технология, использующая электронно-вычислительную технику для записи кодовых импульсов в определенной последовательности и с определенной частотой [3].

Рассмотрим наиболее распространенные в настоящее время *цифровые технологии*.

*Цифровая технология «Большие данные» (англ. Big Data)* – это современная технология, связанная с обработкой крупных массивов данных, объем которых постоянно увеличиваются. Эта технология находит широкое применение в электронной коммерции, а также в работе крупных промышленных компаний и информационных корпораций. Для обеспечения работы Big Data создаются специализированные алгоритмы, программные средства и даже специальные машины. Примерами Big Data являются:

- данные сейсмологических станций, собираемые по всей Земле;
- база пользовательских аккаунтов Facebook;

- геолокационная информация всех фотографий, выложенных на текущий момент в Instagram;
- базы данных операторов мобильной связи и т. п. [4].

*Цифровая технология «Искусственный интеллект» (ИИ, англ. artificial intelligence, AI)* – это технология, основанная на применении искусственной информационной системы (программная реализация), которая имитирует процесс решения человеком сложных задач его практической деятельности. При этом используются программно-аппаратные средства, которые позволяют на основе применения знаний осуществлять решение неформализованных творческих задач, в том числе моделировать некоторые аспекты человеческой деятельности, включая процесс мышления. В рамках реализации технологии ИИ диалог пользователя с компьютером происходит на естественном для человека языке. Кроме этого, система искусственного интеллекта обеспечивает автоматизацию поведения роботов и робототехнических систем. *Искусственный интеллект* – это направление современных научных исследований, сопровождающих и обуславливающих создание самих систем ИИ, разработанных на базе электронно-вычислительной, микропроцессорной техники и предназначенных для восприятия, обработки, хранения информации, а также для формирования решений по целесообразному поведению в ситуациях, моделирующих состояние различных систем (например, природы, общества). *Искусственный интеллект* понимают еще как моделирование некоторых функций человеческого мозга на основе реализации возможностей информационных технологий [5].

*Цифровая технология «Машинное обучение» (англ. Machine learning)* – это технология, которая позволяет на

основе известных данных модели прогнозировать неизвестные. Достаточное распространение получили такие задачи машинного обучения:

- регрессионная задача, решение которой позволяет на основании известных данных о продажах в прошлом спрогнозировать будущие объемы продаж;
- задача классификации, решение которой позволяет предсказать, к какому из известных классов относится объект;
- задача кластеризации, решение которой позволяет разделить большое множество объектов на кластеры, внутри которых объекты похожи в определенном смысле между собой;
- задача поиска аномалий, решение которой позволяет находить редкие, необычные объекты, существенно отличающиеся от основной массы [4].

*Цифровая технология «Нейронные сети» (англ. Neural networks)* – это технология, основанная на алгоритме, моделирующем процессы головного мозга. В данном алгоритме реализован нелинейный метод поиска решений, который обладает высокой скоростью вычислений и способен обрабатывать сложные данные с большим количеством отличающихся признаков.

В зависимости от области применения нейросеть можно трактовать по-разному. С точки зрения машинного обучения нейронная сеть представляет собой метод распознавания образов. С математической точки зрения – это многопараметрическая задача. С точки зрения кибернетики – модель адаптивного управления робототехникой. Для искусственного интеллекта нейросеть является основополагающим составляющим для моделирования естественного интеллекта с помощью вычислительных алгоритмов [4].

*Цифровая технология «Человеко-машинные интерфейсы», ЧМИ (англ. Human-machine interfaces, HMI)* – технология для обеспечения взаимодействия между оператором и оборудованием, которая дает возможность оператору управлять оборудованием и контролировать процесс его функционирования. Создание систем человеко-машинного интерфейса связано с понятиями эргономика и юзабилити (пер. с англ. «понятно, удобно, комфортно»).

Основная цель человеко-машинного интерфейса заключается в том, чтобы дать возможность пользователям взаимодействовать с процессом, выдавать предупреждения оператору, когда что-то пошло не так в функционировании технологического и производственного оборудования. Кроме того, необходимо формировать уведомления оператору о том, что действительно важно и критично в данной ситуации [4].

*Цифровая технология «Виртуальная реальность», ВР (англ. Virtual Reality, VR)* – это технология неконтактного информационного взаимодействия, реализующая с помощью комплексных мультимедиа-операционных сред иллюзию непосредственного вхождения и присутствия в реальном времени в стереоскопически представленном «экранном мире» («виртуальном мире») при обеспечении тактильных ощущений, при взаимодействии пользователя с объектами виртуального мира. Эта технология породила метод, позволяющий пользователям экранными моделями оперировать непосредственно в реальном времени в реальном трехмерном пространстве, генерируемом специально разработанными программно-аппаратными средствами. *Системы «Виртуальная реальность»*, реализующие эту технологию, обеспечивают возможность стать участником

действий в абстрактных пространствах, в которых можно задать как виртуальные условия информационного взаимодействия, так и виртуальные объекты, подчиняющиеся этим условиям. При этом может быть создана сколь угодно разнообразная информационно емкая инфраструктура «виртуального мира» и вполне реально осязаемое тактильное взаимодействие, ограниченное уровнем периферийных устройств самой системы «Виртуальная реальность». Кроме того, технология виртуального мира решает проблему удаленного интерфейса между человеком и компьютером. *Базовыми компонентами типичной системы «Виртуальная реальность»* являются:

- перечни и списки с перечислением и описанием объектов, формирующих виртуальный мир, в подсистеме создания и управления объектами;
- подсистема, распознающая и оценивающая состояние объектов из перечней и непрерывно создающая картину «местоположения» пользователя относительно объектов виртуального мира;
- головной установочный дисплей (очки-телемониторы), в котором непрерывно представляются изменяющиеся картины «событий» виртуального мира;
- устройство с ручным управлением, реализованное в виде «информационной перчатки» или «спей-болл», определяющее направление «перемещения» пользователя относительно объектов виртуального мира;
- устройство создания и передачи звука [5].

*Цифровая технология «Интернет вещей» (англ. Internet of Things, IoT)* – это технология, основанная на концепции вычислительной сети физических предметов («вещей»), оснащенных встроенными датчиками для взаимодействия друг с другом или с внешней средой. Интернет вещей – это не просто множество различных

приборов и датчиков, объединенных между собой проводными и беспроводными каналами связи и подключенных к сети Интернет, а более тесная интеграция реального и виртуального миров, в котором общение производится между людьми, устройствами и внешней средой [4].

*Цифровая технология «Роботизация»* (англ. *Robotization*) – это технология, основанная на использовании программного обеспечения с искусственным интеллектом (ИИ) и возможностями машинного обучения для обработки повторяющихся задач большого объема, для решения которых ранее требовались люди. Данный процесс следует рассматривать в качестве компонента автоматизации производства, когда человеческие мощности заменяются роботизированными системами в промышленных масштабах. Чаще всего на крупных предприятиях стараются использовать универсальных роботов, которые могут позитивно повлиять на работу всего комплекса в целом [4].

Применение цифровых технологий в различных отраслях экономики позволит осуществить процесс *цифровой трансформации экономики*, под которым будем понимать качественные изменения в бизнес-процессах или способах осуществления экономической деятельности (бизнес-моделях) в результате внедрения цифровых технологий, приводящих к значительным социально-экономическим эффектам [6].

В настоящее время часть рассмотренных цифровых технологий находит применение в строительной отрасли. «Ядром» цифровой трансформации отрасли являются технологии информационного моделирования, или BIM-технологии (Building Information Model), начало внедрения которых приходится на 2000-е годы. К сегодняшнему дню это вполне существенный инструмент

цифровизации строительного производства.

В настоящий момент пока не сформировано единое определение понятия «BIM».

Так согласно данным на ресурсе открытой энциклопедии Wikipedia.org под информационным моделированием здания понимается подход к возведению, оснащению, обеспечению эксплуатации и ремонту здания (к управлению жизненным циклом объекта), который предполагает сбор и комплексную обработку в процессе проектирования всей архитектурно-конструкторской, технологической, экономической и иной информации о здании со всеми ее взаимосвязями и зависимостями, когда здание и всё, что имеет к нему отношение, рассматривается как единый объект [7].

В статье Дронова Д. С., Киметовой Н. Р., Ткаченко В. П. дана такая характеристика BIM: «Технология BIM» – это современный подход к проектированию-строительству-эксплуатации. Она позволяет объединить различные программные продукты и инструменты, что позволяет проводить моделирование значительно дешевле, упрощает процессы визуализации будущего объекта. Технологии BIM позволяют значительно упростить выбор оптимального решения благодаря возможности наглядно визуализировать системы и все элементы проектируемого здания в формате 3D, приводить их в точное соответствие с требованиями действующих стандартов, производить расчет разных вариантов компоновки и анализ эксплуатационных характеристик будущего объекта [8].

В своей работе Талапов В. В. определяет цифровую технологию «Информационное моделирование» как совокупность всей имеющейся числовой информации об объекте, организованную и управляемую нужным образом, используемую на протяжении всего жизненного цикла

объекта: на стадии проектирования, строительства, эксплуатации и даже сноса [9].

В основе концепции BIM он выделяет следующие *принципы* информационного подхода к проектированию объекта: трехмерное моделирование; автоматическое создание графических и текстовых разделов проектной документации; набор атрибутивных данных, соответствующий объекту; интеллектуальная параметризация объектов; распределение процесса строительства по временным этапам и т. п.

Практическое применение информационной модели здания существенно облегчает работу с проектируемым объектом. Прежде всего, виртуальная модель позволяет рассчитать, состыковать, собрать воедино все создаваемые компоненты и системы здания и согласовать с соответствующими специалистами и организациями. Это дает возможность отслеживать внутренние нестыковки (коллизии) составных частей объекта и смежных разделов.

В сравнении с традиционными системами компьютерного проектирования, разрабатывающих геометрические образы, результатом информационного моделирования является объектно-ориентированная цифровая модель всего сооружения, а также процесса организации его строительства [9].

На сегодняшний день во многих странах мира в строительстве активно внедряются технологии информационного моделирования. Масштаб внедрения BIM объясняется, прежде всего, выгодами от применения этой технологии. Эти выгоды приобретаются на различных этапах реализации проекта и различных уровнях (на уровне отдельного предприятия, отрасли и государства в целом). К преимуществам BIM-технологий относятся сокращение

сроков ввода объекта и финансовых издержек на его строительство, централизованное хранение всех данных по конструктивным элементам с привязкой к ним документации в едином информационном ресурсе, автоматическое изменение данных при изменении модели.

В России цифровая трансформация строительной отрасли в настоящий момент опирается на следующие технологические решения.

1. BIM — это не просто компьютерная 3D-модель здания, пришедшая на смену двумерным бумажным чертежам. Помимо «геометрии», BIM интегрирует множество слоев информации в разрезе элементов объекта, в том числе об используемых материалах, спецификациях, стоимости, плане-графике строительных работ, функциональных и эксплуатационных характеристиках и даже условиях окружающей среды [Autodesk, 2021].

При этом изменение какого-либо из параметров здания влечет за собой автоматическое изменение связанных с ним показателей и объектов.

BIM позволяет передавать виртуальную информационную модель от команды разработчиков генеральному подрядчику и субподрядчикам, а затем владельцам или операторам здания.

2. Цифровое моделирование городов (City Information Modeling, CIM) — сравнительно новый тренд, который появился благодаря объединению BIM, GIS (геоинформационных систем) с цифровыми двойниками на базе Интернета вещей, а также совершенствованию технологий оцифровки местности и городских объектов с помощью лазерного, ультразвукового сканирования [НИУ ВШЭ, ДОМ.РФ, 2021].

CIM (или цифровой двойник города) содержит пространственные и тематические данные. Первые описывают физическую структуру

города и формируют его 3D-модель, включая цифровую модель местности, САД- или BIM-модели зданий, инфраструктуры, инженерных систем и т.д. Тематические данные охватывают социальные, экономические и экологические параметры территории — данные переписи населения, сведения о транспортных потоках, ежедневных перемещениях жителей по данным сотовых операторов, реестры объектов, техническую информацию и пр.

3. Бережливое строительство (Lean Construction, LC) — одно из направлений повышения эффективности управления строительными проектами, что достигается, в том числе, посредством сбора и максимального использования полезной информации о проектах (сегодня собирается лишь 5% проектных данных), а также применения таких методов, как поставки «точно в срок», «последний планировщик» (Last Planner System) и др. [Lean Construction Institute, 2021].

Развитие цифровых технологий содействует реализации принципов LC [BCG, 2018]. Так, с помощью компьютерного зрения, Интернета вещей и носимых устройств можно следить за наличием материалов, состоянием оборудования и действиями рабочих в режиме онлайн. Искусственный интеллект дает возможность оценивать эффективность, качество и безопасность работ, выявлять потенциальные риски на стройплощадке. Широкое применение получают облачные цифровые решения для совместной работы в режиме реального времени и управления строительными проектами, доступные через мобильные приложения или со специальных планшетов. Они создают единую среду взаимодействия всех участников (включая архитекторов, проектировщиков, инженеров, прорабов, мастеров, поставщиков и подрядчиков), возможность

распределения и мониторинга исполнения задач на стройплощадке, обмена документацией, размещения отчетности о ходе работ (включая фотографии), совместного редактирования документов, формирования планов-графиков и др. [Комплекс градостроительной политики и строительства города Москвы, 2020].

4. Цифровизация затрагивает непосредственно работы на стройплощадке: автоматизируются или роботизируются рутинные или физически тяжелые операции, например, сварка, установка и скрепление арматуры, подъем и перемещение грузов, отделочные работы и др. Тестируются роботизированные комплексы для укладки кирпичей [Construction Executive, 2021].

Внедряется беспилотная тяжелая строительная техника. С помощью дронов осуществляется мониторинг хода строительных работ.

3D-печать как перспективный в долгосрочном периоде метод возведения зданий также основывается на цифровых технологиях. Трансформируется индустриальное, или модульное, домостроение. Все более широко применяется принцип DIMC (Designing for Industrialized Methods of Construction) — дизайн для индустриального производства, в рамках которого в проект изначально закладываются возможности использования элементов (модулей), изготовленных на цифровых фабриках непосредственно по информационной модели здания.

5. Примеры новых бизнес-моделей и изменений в бизнес-процессах:

– BIM 5D и выше в сочетании с DIMC и цифровыми фабриками – бесшовное роботизированное производство элементов (модулей) здания непосредственно по его информационной модели, данным о компонентах, материалах и их стоимости.

- Бережливое строительство на основе ИИ и обработки данных обо всей цепочке поставок, логистике, производстве материалов и комплектующих и процессах непосредственно на стройплощадке.

### 3. Заключение

Применение цифровых технологий в строительной отрасли, до настоящего времени являющейся наименее «оцифрованной», позволит начать процесс её *цифровой трансформации*, которая будет заключаться в перестройке управления хозяйственной деятельностью и ресурсами в строительстве, включающее оцифрованную (переведенную в цифровой вид, пригодный для записи на электронные носители) систему производства и реализацию строительной продукции, которая, в свою очередь, предусматривает оцифровку внешних взаимосвязей (кооперационных цепочек) и внутренних бизнес-процессов в каждой строительной компании.

Залогом этого является внедрение: BIM, CIM, цифровых двойников, слои данных, бережливое строительство, облачные решения для совместной работы, роботизация, дроны и беспилотная техника, префабрикация и цифровые фабрики (префабрикация — способ быстрой постройки или сборки из заранее изготовленных материалов), DIMC - цифровая трансформация охватывает все этапы жизненного цикла объектов строительства: планирование, проектирование, возведение, эксплуатацию и снос.

Проведенный в статье теоретический анализ цифровых технологий позволяет надеяться, что в ходе развития и совершенствования процесса цифровой трансформации строительной отрасли в недалеком будущем будет создана *отраслевая цифровая экосистема* [10], которая должна представлять собой

многостороннюю цифровую платформу, для которой характерно следующее:

- все элементы системы присутствуют одновременно в виде физических объектов, продуктов и процессов, а также в виде их цифровых копий (математических моделей) [11];
- все физические объекты, продукты, процессы за счет наличия цифровой копии и элемента «подключённости» становятся частью интегрированной ИТ-системы;
- через наличие цифровых копий (математических моделей) и будучи частью единой информационной системы все элементы системы непрерывно взаимодействуют между собой в режиме, близком к реальному времени, моделируют реальные процессы и прогнозируемые состояния и обеспечивают постоянную самооптимизацию всей системы [10].

В процессе функционирования отраслевой экосистемы осуществляется *цифровое взаимодействие* как цифровая форма организации взаимодействий между отраслевыми поставщиками и потребителями с целью минимизации транзакционных издержек (например, при поиске партнеров, товаров, услуг, организации платежей, заключении контрактов, контроле исполнения договоренностей и т. п., обеспечиваемая специальной платформой [12].

В рамках функционирования цифровой экосистемы строительной отрасли *цифровое взаимодействие* участников инвестиционно-строительных проектов должно перейти на новый, цифровой уровень, обеспечиваемый облачной информационно-проектировочной средой [13].

### Список используемых источников

1. Куприяновский В. П., Сиягов С. А., Намиот Д. Е., Бубнов П. М., Куприяновская Ю. В. Новая пятилетка BIM – инфраструктура и умные

города // *International Journal of Open Information Technologies*. 2016. Т. 4. №. 8. С. 20 – 35.

2. Open design / URL: <https://www.definitions.net/definition/open+design> (дата обращения: 15.08.2021).

3. *Травуш В. И.* Цифровые технологии в строительстве // *Строительные науки*. 2018. № 3. С. 107 – 117.

4. *Аль-Махфад М. А. А.* Проблемы цифровизации строительной отрасли в России: магистерская диссертация // Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина. Екатеринбург, 2020. 92 с.

5. *Роберт И. В.* Теория и методика информатизации образования: психолого-педагогический и технологический аспекты // М.: БИНОМ. Лаборатория знаний. 2014. 398 с.

6. Цифровая трансформация отраслей: стартовые условия и приоритеты. Доклад НИУ ВШЭ// URL: <https://conf.hse.ru/mirror/pubs/share/463148459.pdf> (дата обращения: 06.03.2022).

7. BIM – Википедия [Электронный ресурс] // Википедия: свободная энциклопедия. 2022. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/BIM> (дата обращения: 18.03.2022).

8. *Дронов Д. С., Киметова Н. Р., Ткаченко В. П.* Проблемы внедрения BIM – технологий в России // *Синергия Наук*. 2017. № 10. С. 529-549. URL: <http://synergy-journal.ru/archive/article0417> (дата обращения: 18.03.2022).

9. *Талапов В. В.* Технология BIM. Суть и особенности внедрения информационного моделирования зданий // ДМК-Пресс. 2015. 410 с.

10. *Акаткин Ю. М., Карпов О. Э., Конявский В. А., Ясиновская Е. Д.* Цифровая экономика: концептуальная архитектура экосистемы цифровой отрасли // *Бизнес-информатика*. 2017.

11. *Ветров С. А., Конюшевский Д. В.* Цифровой двойник – воплощение антиутопии // *Вестник высшей школы*. 2019. № 5. С. 69 – 72.

12. *Пискунов А. И., Глезман Л. В.* Развитие промышленных предприятий в условиях становления цифровой экономики // *Креативная экономика*. 2019. Т. 13. № 3. С. 471 – 482.

13. *Миронова Л. И., Вилисова А. Д.* Облачная информационно-проектировочная среда как часть цифровой экосистемы в строительстве // *Педагогическая информатика*. 2021. № 4. С. 3 – 8.

## References

1. Kupriyanovsky V.P., Sinyagov S.A., Namiot D.E., Bubnov P.M., Kupriyanovskaya Yu.V. (2016). Novaya pyatiletka BIM – infrastruktura i

umnyye goroda [The new five-year plan for BIM - infrastructure and smart cities] // *International Journal of Open Information Technologies*. 8. Vol. 4. 20 - 35.

2. Open design (2021). URL: <https://www.definitions.net/definition/open+design>. (In English).

3. *Travush V.I.* (2018). Tsifrovyye tekhnologii v stroitel'stve [Digital technologies in construction] // *Building Sciences*. 3. 107 – 117. (In Russian).

4. *Al-Mahfadi M.A.A.* (2020). *Problemy tsifrovizatsii stroitel'nov otrasli v Rossii: masterskaya dissertatsiya* [Problems of digitalization of the construction industry in Russia: master's thesis] Yekaterinburg: Ural Federal University (In Russian).

5. *Robert I.V.* (2014). *Teoriya i metodika informatizatsii obrazovaniya: psikhologo-pedagogicheskiy i tekhnologicheskiy aspekty* [Theory and methodology of informatization of education: psychological, pedagogical and technological aspects]. M.: BINOM. Knowledge Lab. (In Russian).

6. Digital transformation of industries: starting conditions and priorities. HSE report (2022). URL: <https://conf.hse.ru/mirror/pubs/share/463148459.pdf> (In Russian).

7. BIM – Wikipedia. Wikipedia: the free encyclopedia. (2022). URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/BIM>.

8. *Dronov D.S., Kimetova N.R., Tkachenkova V.P.* (2017). Problems of implementation of BIM-technologies in Russia // *Synergy of Sciences*. 10. 529-549. URL: <http://synergy-journal.ru/archive/article0417> (In Russian).

9. *Talapov V.* (2015). *Tekhnologiya BIM. Sut' i osobennosti vnedreniya informatsionnogo modelirovaniya zdaniy* [BIM technology. The essence and features of the implementation of building information modeling]. M.: DMK-Press (In Russian).

10. *Akatkin Yu.M., Karpov O.E., Konyavsky V.A., Yasinovskaya E.D.* (2017) Tsifrovaya ekonomika: kontseptual'naya arkhitektura ekosistemy tsifrovoy otrasli [Digital Economy: Conceptual Architecture of the Digital Industry Ecosystem] // *Business Informatics*. 4 (42). 17 – 28 (In Russian).

11. *Vetrov S.A., Konishevsky D.V.* (2019). Tsifrovoy dvoynik – voploshcheniye antiutopii [The digital twin is the embodiment of dystopia] // *Bulletin of Higher School*. 5. 69 – 72 (In Russian)

12. *Piskunov A.I., Glezman L.V.* (2019). Razvitiye promyshlennykh predpriyatiy v usloviyakh stanovleniya tsifrovoy ekonomiki [Development of industrial enterprises in the context of the formation of the digital economy] // *Creative Economy*. 3.V. 13. 471 – 482 (In Russian).

13. Mironova L.I., Vilisova A.D. (2021).  
Oblachnaya informatsionno-proyektirovchnaya  
sreda kak chast' tsifrovoy ekosistemy v stroitel'stve

[Cloud information and design environment as part  
of the digital ecosystem in construction] //  
Pedagogical informatics. 4. 3 – 8 (In Russian).