

УДК 69.002.5

## РОБОТОТЕХНИКА И BIM-ТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

**В.А. Лаборов<sup>1</sup>, О.С. Гамаюнова<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup> Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,  
г. Санкт-Петербург (Российская Федерация)

**Аннотация.** Потенциальные применения машинного обучения и искусственного интеллекта в строительстве огромны. Главным направлением повышения эффективности строительных работ является широкомасштабное внедрение комплексной механизации и автоматизации на основе использования достижений робототехники. В статье описаны преимущества искусственного интеллекта в строительной отрасли (предотвращение перерасхода средств, оптимизация процесса проектирования, снижение рисков и др.), представлен краткий анализ использования больших данных (Big Data) в строительной отрасли. Отдельное внимание уделено строительным роботам и BIM-технологиям, а также программному обеспечению, которое необходимо для их совместной работы. Показана целесообразность применения беспилотных летательных аппаратов (дронов) в строительной отрасли. Рассмотрены традиционные методы 3D-печати, а также относительно новая технология аддитивной печати из металлических проволок. Сделан вывод о том, что робототехника и автоматизированные системы могут произвести революцию в области архитектуры, проектирования и строительства.

**Ключевые слова:** робототехника, Big Data, искусственный интеллект, строительные роботы, беспилотные летательные аппараты, дроны, BIM, BIM-технологии, 3D-принтеры, 3D-печать, аддитивные технологии.

**Ссылка для цитирования:** Лаборов В.А., Гамаюнова О.С. Робототехника и BIM-технологии в строительстве // Инженерные исследования. 2021. № 5(5). С. 15-22. URL: <http://eng-res.ru/archive/2021/5/15-22.pdf>

## ROBOTICS AND BIM TECHNOLOGIES IN CONSTRUCTION

**V.A. Laborov<sup>1</sup>, O.S. Gamayunova<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup> Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, St.Petersburg (Russian Federation)

**Abstract.** The potential applications of machine learning and artificial intelligence in construction are enormous. The main direction of increasing the efficiency of construction work is the large-scale introduction of integrated mechanization and automation based on the use of the achievements of robotics. The article describes the advantages of artificial intelligence in the construction industry (preventing cost overruns, optimizing the design process, reducing risks, etc.), presents a brief analysis of the use of Big Data in the construction industry. Special attention is paid to construction robots and BIM technologies, as well as the software that is necessary for their collaboration. The expediency of using unmanned aerial vehicles (drones) in the construction industry is shown. Traditional methods of 3D printing, as well as a relatively new technology of additive printing from metal wires are considered. It is concluded that robotics and automated systems can revolutionize architecture, design and construction.

**Keywords:** robotics, Big Data, artificial intelligence, construction robots, unmanned aerial vehicles, drones, BIM, BIM technologies, 3D printers, 3D printing, additive technologies.

**For citation:** Laborov V.A., Gamayunova O.S. Robotics and BIM technologies in construction // Inzhenernyye issledovaniya [Engineering Research]. 2021. No. 5(5). Pp. 15-22. URL: <http://eng-res.ru/archive/2021/5/15-22.pdf>

## ВВЕДЕНИЕ

Искусственный интеллект – это термин, описывающий явление, при котором машина имитирует когнитивные функции человека, такие как: решение проблем, распознавание образов и обучение. Машинное обучение является подмножеством искусственного интеллекта.

Потенциальные применения машинного обучения и искусственного интеллекта в строительстве огромны. Запросы на информацию, открытые вопросы и заказы на изменение являются стандартными в отрасли. Машинное обучение походит на умного помощника, который может исследовать большие объемы данных [1].

Роботизация технологических операций является важным направлением автоматизации процессов в строительстве, которому предшествует тщательный анализ технологических операций и процессов. В последние годы наблюдается значительное увеличение объема монтажных работ. Особое внимание при уделяется точности установки конструкций и элементов в проектное положение. Монтажные работы предполагают использование кранов, монтажных механизмов, универсальной и специальной технологической оснастки. Внедряются новые методы и формы технологии и организации работ, используются средства автоматизации как основных, так и вспомогательных операций. Главным направлением повышения эффективности строительных работ является широкомасштабное внедрение комплексной механизации и автоматизации на основе использования достижений робототехники, микропроцессорной техники и вспомогательного оборудования [2].

## АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БОЛЬШИХ ДАННЫХ В СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ

Современные технологии анализа больших данных позволяют обрабатывать огромные массивы информации с невероятной для человека скоростью. Программы способны взять на себя множество рутинных процессов: управление базой данных, создание спецификаций и отчетов. Благодаря этому специалисты компании смогут сосредоточиться на более важных задачах, что поможет повысить эффективность бизнеса.

По прогнозам, к 2025 году общий объем данных во всем мире составит 163 зеттабайта (ЗБ), хотя в 2016 году их было в 10 раз меньше – 16 ЗБ, а 2006 году всего 0,16 ЗБ. В настоящее время существенно усовершенствовались инструменты для сбора и хранения огромных объемов данных, получаемых от участников проектов. Постоянно растет потребность в анализе и интерпретации этих данных для управления и планирования проектов в области строительства.

Британская компания Sage провела опрос по ожиданиям застройщиков от Big Data, в ходе которого выяснилось, что 57% компаний хотят получать постоянную, актуальную финансовую и проектную информацию, а 48% – предупреждения о возникновении значимых ситуаций. Также 41% организаций надеется, что с помощью больших данных они смогут прогнозировать события и избегать рисков; 14% респондентов хотят узнавать, какие факторы влияют на рост и падение прибыли.

Крупные застройщики обычно работают с несколькими проектами одновременно. В такой ситуации сбор, сортировка и обработка огромного объема информации силами сотрудников вызывает большие трудности: от нехватки штата сотрудников, до ошибок в документации и прогнозах. Исследования, проведенные в США и Европе, показали, что на обработку информации по проекту уходит около 60% рабочего времени, но использование больших данных позволяет сократить это время.

Сочетание анализа больших данных с информационным моделированием зданий (BIM) открывает множество перспектив [3-5]. Использование анализа больших данных в процессе работы над проектами позволяет инженерам легко обнаружить ошибку, а также сделать точный прогноз при необходимости.

Использование больших данных позволяет организовать эффективную работу команды разработчиков из разных стран в режиме реального времени. Эта технология в корне меняет подход к управлению проектами. При этом сокращается количество времени и уменьшается количество ошибок.

В качестве примера можно привести строительство атомной электростанции «ХинклиПойнт» (Англия). В проектировании и создании BIM-модели здания и инфраструктуры участвовало более 30 тысяч человек. В процессе работы происходило совмещение больших данных и технологии BIM с помощью программного комплекса Tekla Structures.

Анализ больших данных при подключении к BIM-моделям позволяет получать информацию о затратах прямо из проекта, для того чтобы оценить реальную стоимость различных частей здания и найти, при возможности, способы экономии. Большие данные можно использовать и для оптимизации материалоёмкости зданий. Если собрать базу типовых проектов, то можно разработать и обучить несколько нейросетей, например, для определения оптимальности тех или иных решений, для поиска

корреляций между исходными данными и полученными результатами, например, при выборе лучших материалов для различных видов утепления конструкции.

Рассматриваемую технологию также можно применять для оценки влияния объекта на соседнюю экосистему. Например, компания Democrata (Англия) применяет аналитику Big Data для прогнозирования рисков, связанных с новыми автомагистралями, железнодорожным сообщением и другими проектами.

### СТРОИТЕЛЬНЫЕ РОБОТЫ И BIM-ТЕХНОЛОГИИ

Робот – автоматическое устройство, предназначенное для осуществления различного рода механических операций, которое действует по заранее заложенной программе. Он получает информацию посредством датчиков – аналогов органов чувств живых организмов. Его уникальность состоит в том, что он может самостоятельно осуществлять операции, частично или полностью заменяя труд человека. В зависимости от функционального назначения существует около 30 типов роботов. Робототехника и автоматизированные системы могут произвести революцию в области архитектуры, проектирования и строительства [6].

Пресловутый человеческий фактор начинает сказываться еще на стадии проектирования зданий. Все несовершенства человеческого участия способна устранить робототехника, а BIM-технологии позволяют создавать информационную модель любого объекта. Путем сбора и обработки всех сведений о сооружении и их взаимосвязей формируется трехмерная модель конструкции. Использование роботов повышает точность ее построения с учетом всех воздействующих факторов [7].

Компания Hilti представила своего первого робота Jaibot – полуавтономный мобильный аппарат для выполнения отверстий в потолочной зоне с поддержкой технологии информационного моделирования зданий (BIM). Робот Hilti Jaibot (рис.1) поможет подрядчикам в области монтажа инженерных систем повысить производительность и безопасность работ и решить проблему нехватки рабочей силы в пандемию.

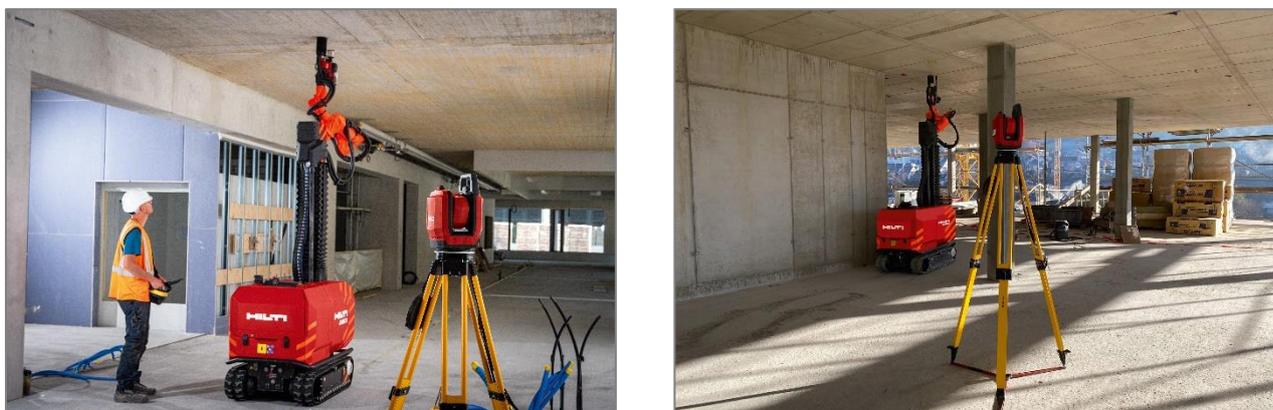


Рис. 1. Строительный робот Hilti Jaibot с поддержкой BIM<sup>1</sup>  
Fig. 1. Hilti Jaibot construction robot with BIM support

Hilti Jaibot решает свои задачи на основе данных информационного моделирования зданий – BIM. Робот – это полностью беспроводная и простая в использовании система, которая не требует специальных навыков. Он точно ориентируется в помещении, сверлит отверстия с технологией нейтрализации пыли и маркирует их в соответствии с видом строительных работ. Именно поэтому это решение идеально подходит для монтажа механических, электрических и сантехнических систем.

Jaibot управляется оператором при помощи дистанционного пульта, чтобы перемещаться из одного места в другое. Оказавшись в зоне бурения, робот автоматически сверлит все отверстия в пределах досягаемости. Jaibot получает данные от роботизированного тахеометра Hilti PLT 300 и позволяет загружать и выгружать данные в реальном времени для отслеживания хода выполнения работ из облачного хранилища Hilti, а также выполнять основные функции в автономном режиме в местах без сотовой сети, например, в подвалах.

<sup>1</sup> Hilti unveils BIM-enabled construction jobsite robot [Электронный ресурс]. - URL: <https://www.hilti.group/content/hilti/CP/XX/en/company/media-relations/media-releases/Jaibot.html> (дата обращения: 10.12.2021)

Еще одним примером роботизации BIM-технологий в строительстве является сотрудничество Tekla Structure BIM с Trimble Robotic Total Solution в разработке программного обеспечения, которое облегчает взаимодействие между двумя технологиями. Программное обеспечение Trimble LM80 (рис.2) способно точно передавать данные от Tekla Structure Layout Manager на Trimble Robotic Stations. Оно устанавливает координаты конструктивных элементов на участке.

В настоящее время мобильные роботы разрабатываются для архитектурных целей, в том числе с использованием BIM-технологий. Они оснащены Wi-Fi соединением, локальной системой позиционирования (LPS) и цифровыми камерами. Эти роботы создают растровые сканирования интерьеров зданий, напоминающие планы этажей, за исключением того, что они включают все содержимое здания, а также стены. Эта информация может быть отправлена по беспроводной сети в проектную группу с координатами, температурой, излучением и даже качеством воздуха. Технология также выгодна для дальнейшего обслуживания, которая может делать фотографии и видео, отражающие последнее состояние здания. Пример подобных роботов - автономный мобильный робот Kurt3D (рис.3).

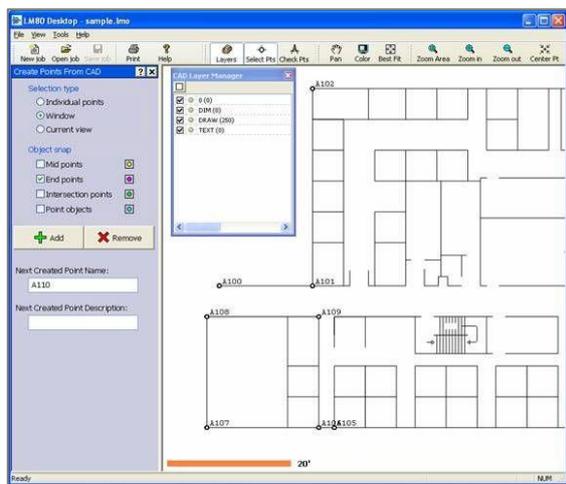


Рис. 2. Интерфейс программы Trimble LM80<sup>2</sup>  
Fig. 2. Trimble LM80 software interface



Рис. 3. Автономный мобильный робот Kurt3D<sup>3</sup>  
Fig. 3. The autonomous mobile robot Kurt3D

Шведская строительная фирма Skanska давно перешла на технологию BIM с возможностью взаимодействия с роботами. В Швеции фирма применила роботов для стигания и сварки арматуры, которые используются для изготовления свай. В своем американском офисе они участвовали в исследовании, в ходе которого изучалась возможность использования Robotic Total Station для измерения и получения глобальных координат. Студенты из Техасского университета провели исследование, которое имеет ту же концепцию, что и совместное использование Trimble Software и Tekla Structure. Разница заключается в том, что они использовали Image Assisted total Stations (IATS), которые были снабжены камерами [6].

### БЕСПИЛОТНЫЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ (ДРОНЫ)

Строительные компании собирают данные для мониторинга работы на строительной площадке, оптимизации отчетов о работе и выполнения многих других строительных функций с помощью небольших беспилотных летательных аппаратов (дронов). В дополнение к сбору данных, организации используют беспилотные летательные аппараты для повышения безопасности рабочих при одновременном снижении затрат [8].

Беспилотные летательные аппараты являются одним из видов оборудования, применяемого, например, для топографической съемки, которая является неотъемлемой частью всех строительных проектов (рис.4). Дроны дают более полную картину выполняемой работы. С помощью беспилотников топографическая съемка выполняется с тем же качеством, что и традиционными методами при следующих преимуществах [9]:

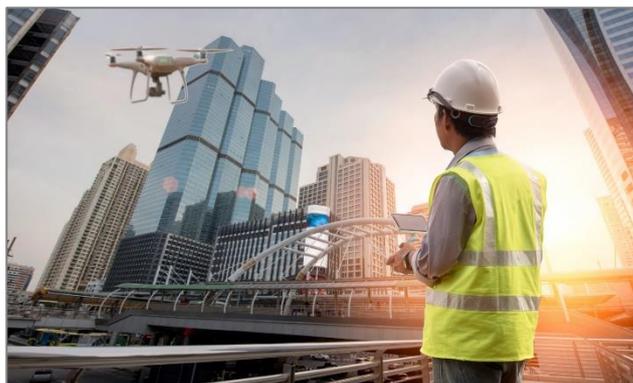
<sup>2</sup> Trimble LM80 Desktop [Электронный ресурс]. - URL: <https://trimble-lm80-desktop.software.informer.com/screenshot/169187> (дата обращения: 17.11.2021)

<sup>3</sup> Kurt3D - An Autonomous Mobile Robot for Modelling the World in 3D [Электронный ресурс]. - URL: [https://www.ercim.eu/publication/Ercim\\_News/enw55/nuechter.html](https://www.ercim.eu/publication/Ercim_News/enw55/nuechter.html) (дата обращения: 19.11.2021)

- Сокращение времени и затрат на полевые работы. На больших участках земли специалистам могут потребоваться дни или даже недели, чтобы собрать информацию с помощью наземных методов.
- Отсутствие логистических сбоев.
- Более точные измерения. Получение фотографий высокой четкости под разными углами позволяет разработчикам создавать 3D-модели участков или зданий. Полученные результаты значительно превосходят традиционные по всем параметрам.
- Возможность составления карт труднодоступных районов. Беспилотные съемки устраняют необходимость непосредственного присутствия геодезистов в малознакомой или труднодоступной местности.



**Рис. 4.** Квадрокоптер DJI Phantom 4 Pro Plus V2.0 [10]  
**Fig. 4.** Quadcopter DJI Phantom 4 Pro Plus V2.0



**Рис. 5.** Беспилотный летательный аппарат [10]  
**Fig. 5.** Unmanned aerial vehicle

Беспилотные летательные аппараты также позволяют выявить дефекты намного быстрее и тщательнее, дешевле и безопаснее, чем это может сделать человек. Можно предположить, что дроны будут не только выявлять дефекты на строительной площадке (трещины на фасадах зданий, мостах), но и осуществлять их ремонт. В ближайшем будущем для обслуживания и ремонта строительных объектов будет использоваться технология 3D-печати в паре с дронами.

Мониторинг и соответствующий ремонт строительных объектов - не единственная сфера применения «беспилотников». В данный момент в тестовом режиме дроны тестируют в выполнении опасных работ на высоте, таких как: мытье окон, покраска стен и др. В перспективе использование беспилотных летательных аппаратов сможет заменить труд человека на высоте, что, в свою очередь, сократит риск несчастных случаев и повысит эффективность работ. Не исключено использование дронов для перемещения строительных материалов и конструкций, а также их применение в процессе монтажа, сварки и фиксации элементов конструкций [11].

### СТРОИТЕЛЬНЫЕ 3D-ПРИНТЕРЫ

Всего за несколько лет технология 3D-печати в архитектуре превратилась из производства простых домов, похожих на хижинки, в создание оригинального недорогого жилья. Строительные 3D-принтеры используются для автоматизации возведения зданий и некоторых других строительных процессов с помощью 3D-печати [12-14].

Существуют различные способы использования технологии 3D-печати в строительстве, среди которых выделяют два основных:

- принтеры портального типа (рис.6) - используются для крупных строительных работ на стройплощадке;

- принтеры с роботизированной рукой (рис.7) - используются для небольших объектов.

Хотя между этими двумя видами есть некоторое сходство, их обычно используют для разных целей. Принтеры с роботизированной рукой обычно используют для печати небольших модулей или элементов здания и, как правило, за пределами строительной площадки, в то время как портальная система может печатать целые здания непосредственно на месте строительства.



**Рис. 6.** 3D-принтер с роботизированной рукой<sup>4</sup>  
**Fig. 6.** Robotic Arm 3D Printer



**Рис. 7.** 3D-принтер портального типа<sup>5</sup>  
**Fig. 7.** Gantry type 3D printer

Значительный исследовательский интерес представляют материалы для 3D-печати и их свойства. В строительной отрасли обычно используется печать материалами на основе бетона, но в последнее время появляются и другие возможности.

Среди существующих технологий аддитивного производства электродуговое выращивание Wire Arc Additive Manufacturing (WAAM) - проволочно-дуговое аддитивное производство - представляет интерес в связи с тем, что это относительно новая технология, отличающаяся большими возможностями в плане высокой производительности, высокими механическими свойствами получаемых изделий [15].

WAAM - процессы послойного синтеза объектов сплавлением проволоки из металлов и сплавов, расплавленной методами автоматической дуговой сварки. Источником тепла при этом является электрическая дуга, создаваемая сварочным оборудованием. Сырьё подаётся в виде сварочной присадочной проволоки, а процесс формообразования осуществляется либо при помощи роботизированного манипулятора, либо на другом оборудовании с ЧПУ [16].

Одна из компаний, занимающаяся 3D-печатью металлов – компания MX3D. Она использует технологию WAAM в качестве процесса наплавки. Процесс состоит из трёх основных компонентов: промышленного робота, сварочного аппарата и программного пакета MetalXL [17]. Компания MX3D напечатала полностью функциональный мост из нержавеющей стали, который пересекает один из старейших и самых известных каналов в центре Амстердама (рис.8). Уникальный подход позволяет печатать на 3D-принтере прочные, сложные и изящные конструкции из металла.

3D-принтер «Призма» для аддитивной печати из металлических проволок, специально разработанный для высокопроизводительного выращивания крупногабаритных изделий из титановых, никелевых сплавов и других технологичных материалов с повышенными требованиями к защитной атмосфере (рис.9). Конструкция корпуса камеры позволяет создавать условия, при которых разогретый до температур плавления металл защищен инертным аргоном от воздействия кислорода, водорода и других активных газов. Тем самым достигается высокое качество детали в отсутствии дефектов и микропор. За счет использования проволочных материалов достигаются значительные показатели скорости производства: до 5,0 кг/ч. для нержавеющей сталей; до 3,5 кг/ч. для титановых сплавов, до 2,2 кг/ч. для алюминиевых сплавов. Максимальный размер выращенной детали - 1400×800×2000 мм. Невысокая стоимость и техническая простота используемых комплектующих по сравнению с другими методами аддитивного производства делает возможным широкое внедрение в промышленность. Процесс полностью автоматизирован, контроль выращивания может осуществляться дистанционно с использованием веб-камер [18].

<sup>4</sup> A San Francisco startup is 3D-printing entire houses in just one day [Электронный ресурс]. - URL: <https://qz.com/924909/apis-cor-can-3d-print-and-entire-house-in-just-one-day> (дата обращения: 23.11.2021)

<sup>5</sup> В Бельгии появился первый двухэтажный дом, целиком напечатанный на 3D-принтере [Электронный ресурс]. - URL: <https://archi.ru/news/88722/v-belgii-poyavilsya-pervyi-dvukhetazhnyi-dom-celikom-napechatannyi-na-d-printere> (дата обращения: 23.11.2021)



**Рис. 8.** Мост, построенный по технологии WAAM<sup>6</sup>  
**Fig. 8.** Bridge built with WAAM technology



**Рис. 9.** Технология 3D-печати сверхпрочных металлических деталей из проволоки<sup>7</sup>  
**Fig. 9.** 3D printing technology for heavy-duty metal wire parts

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Дальнейшее развитие строительной отрасли уже трудно представить без анализа больших данных. По данным журнала World Oil, применение цифровых технологий может сократить расходы компаний почти на 20%. Застройщики смогут оптимизировать бизнес-процессы и выйти на новый уровень эффективности.

Масштаб строительной отрасли способствует эффективному использованию беспилотных летательных аппаратов, применение которых будет оказывать большое значение при реализации объектов капитального строительства в будущем, поэтому на сегодняшний день необходимо решить ряд вопросов, связанных с разработкой нормативной базы, застройщикам внедрять и занимать лидирующие позиции в данной технологии, проводить форумы, семинары и конференции, на которых будут освещены данные вопросы и предлагаться решения проблем.

Что касается строительной 3D-печати, то, несмотря на свои потенциальные преимущества, эта технология еще не вышла на полную мощность в строительной отрасли и не является технологией, способной на данный момент полностью заменить традиционные методы строительства.

Применение 3D-печати в строительстве требует разработки стандартов, норм, правил, а также четких требований к материалам, процессам, калибровке, испытаниям и стандартам формата документов. Кроме того, должны быть улучшены совместимость и точность программного обеспечения BIM [19].

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Газаров А.Р. Преимущества использования искусственного интеллекта в сфере строительства // Известия ТулГУ. Технические науки. 2020. №4. С. 136-139.
2. Шелкова Е.О., Козикова И.Н. Искусственный интеллект в строительстве // В книге: Новые технологии в учебном процессе и производстве. Материалы XVII Международной научно-технической конференции. Под редакцией А.А. Платонова, А.А. Бакулиной. 2019. С. 240-243.
3. Marichev A.P., Grishina O.S., Zalata E.S., Kukushkina G.A. Experience of implementing BIM technology in the company of the old and new sample // AlfaBuild. 2019. № 3 (10). С. 36-47.
4. Muratova A., Ptukhina I. BIM as an instrument of a conceptual project cost estimation // Lecture Notes in Civil Engineering. 2020. Т. 70. С. 469-477.
5. Жарков Д.И. Перспективы развития BIM-технологий // Инженерные исследования. 2021. № 2 (2). С. 9-15.
6. Кравцова О.А., Левкович И.Ю. Внедрение робототехники в строительстве // Традиции, современные проблемы и перспективы развития строительства: Сборник научных статей, Гродно, 13–14 мая 2021 года. – Гродно: Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, 2021. С. 216-219.
7. Шагина Е.С. Роботизация как метод повышения безопасности строительного производства // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. № 6 (21). С. 128-147.
8. Геращенко Р.В. Дроны в строительстве // Вестник современных исследований. 2018. № 11.5(26). С. 328-329.

<sup>6</sup> В Амстердаме открылся мост, напечатанный на 3D принтере [Электронный ресурс]. - URL: <https://www.elledcoration.ru/news/architecture/v-amsterdame-otkrylsya-most-napechatannyi-na-3d-printere/> (дата обращения: 23.11.2021)

<sup>7</sup> В России создали технологию 3D-печати сверхпрочных деталей из металла [Электронный ресурс]. - URL: <https://ria.ru/20200305/1568184067.html> (дата обращения: 23.11.2021)

9. Кудасова А.С., Тютютина А.Д., Сокольников Э.В. Применение беспилотных летательных аппаратов в строительстве // Инженерный вестник Дона. 2021. № 8(80). С. 31-38.
10. Дорошенко А., Гамаюнова О. «Дроны» - новая система контроля за строительством // Строительство: новые технологии - новое оборудование. 2021. № 10. С. 58-65.
11. Аветисян Р.Т., Билонда Т.Е., Казарян Р.Р. Перспективы развития автоматизированного контроля строительной площадки на основе данных с дронов // Строительное производство. 2019. № 3. С. 29-32.
12. Михайлов Н.И. 3D-печать в строительстве // Инженерные исследования. 2021. № 3 (3). С. 28-35.
13. Gamayunova O., Vatin N. BIM-technology in architectural design // Advanced Materials Research. 2015. Т. 1065-1069. С. 2611-2614.
14. Симакова Е.А., Селякова К.И., Кравченко Д. Применение 3D-печати в строительстве // Инженерные исследования. 2021. № 1 (1). С. 3-11.
15. Панченко О.В., Курушкин Д.В., Попович А.А. Электродуговое выращивание: технические и экономические преимущества // Технический оппонент. 2020. № 1 (6). С. 16-22.
16. Привалов А.С. Аддитивные технологии методом спекания и сплавления нитевидных, проволочных и прутковых материалов // Молодежь и наука: шаг к успеху: сборник научных статей 4-й Всероссийской научной конференции перспективных разработок молодых ученых, Курск, 19–20 марта 2020 года / Юго-Западный государственный университет; Московский политехнический университет. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2020. С. 115-120.
17. Конкевич В.Ю., Тимофеев В.Н., Усынина Г.П., Куныавская Т.М., Никитина Е.В., Предко П.Ю. Принципы легирования алюминиевых сплавов для изготовления проволоки, используемой в аддитивном производстве и для упрочняющей наплавки // Технология легких сплавов. 2021. № 1. С. 4-17.
18. Рудской А.И., Попович А.А. Новые материалы и аддитивные технологии. Опыт СПбПУ Петра Великого // В сборнике: Новые материалы и технологии: порошковая металлургия, композиционные материалы, защитные покрытия, сварка. материалы 14-й Международной научно-технической конференции, посвященной 60-летию порошковой металлургии Беларуси. Минск, 2020. С. 65-75.
19. Фиговский О.Л., Штейнбок А.З., Кукина О.Б. Технология 3D-печати в строительстве // Химия, физика и механика материалов. 2021. № 3 (30). С. 58-72.

## ОБ АВТОРАХ

**Василий Александрович Лаборов** – студент. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ). 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.29. E-mail: laborov.va@edu.spbstu.ru

**Ольга Сергеевна Гамаюнова** – к.т.н., доцент Высшей школы промышленно-гражданского и дорожного строительства. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ). 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.29. E-mail: gamayunova\_os@spbstu.ru

## ABOUT THE AUTHORS

**Vasily A. Laborov** – student. Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University (SPbPU). 195251, Russia, St.Petersburg, Polytechnicheskaya st., 29. E-mail: laborov.va@edu.spbstu.ru

**Olga S. Gamayunova** – Ph.D., Associate Professor of the Higher School of Industrial, Civil and Road Construction. Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University (SPbPU). 195251, Russia, St.Petersburg, Polytechnicheskaya st., 29. E-mail: gamayunova\_os@spbstu.ru