

УДК 69.001.5+002.5

**С. Г. Абрамян^а, О. В. Бурлаченко^а, О. В. Оганесян^б, А. О. Бурлаченко^а,
В. И. Карапузов**

^а *Волгоградский государственный технический университет*

^б *Московская дирекция железнодорожных вокзалов,
Павелецкий вокзал — филиал ОАО «РЖД»*

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ДРОН-ТЕХНОЛОГИЙ КАК ОСНОВЫ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА СТРОИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Рассматриваются часто применяемые в строительной отрасли цифровые технологии, обеспечивающие эффективность возведения зданий и сооружений на различных стадиях жизненного цикла. Статья написана на основе обзора научных публикаций отечественных и зарубежных исследователей и личных исследований авторов. В табличной форме для каждой стадии жизненного цикла объекта недвижимости представлены основные возможности и преимущества применения беспилотных летательных аппаратов. Установлено, что дрон-технологии в основном применяются на стадии строительства зданий и сооружений для обеспечения охраны труда и техники безопасности, контроля качества, анализа реальных данных на строительной площадке и сопоставления с проектной документацией, доставки (подачи) материалов с приобъектных складов на проектное место. Выявлены преимущества применения беспилотных летательных аппаратов на предпроектной стадии, среди которых сокращение продолжительности выполнения топографических работ, точность измерения, ведение работ в труднодоступных местах. Отмечена возможность расширения применения дрон-технологий на стадии строительства объекта недвижимости — при выполнении отдельных технологических процессов за счет изменения или совершенствования конструктивных и функциональных параметров беспилотных летательных аппаратов.

Ключевые слова: строительство, жизненный цикл, дрон-технологии, цифровые технологии, интеграция, кастомизация дрона.

Введение

Современные технологии информационного моделирования (ТИМ) открывают огромные возможности для цифровизации и создания информационных моделей отдельных этапов жизненного цикла (ЖЦ) объектов недвижимости. В публикации [1] авторы, давая оценку ТИМ, подчеркивают, что применяемые в настоящее время в строительной отрасли технологии представляют собой интеграцию BIM (Building Information Model) с ее разновидностями — HBIM (Historic Building Information Modelling), CIM (City Information Model), TIM (Territory Information Model), GIS (Geographical Information System), VR (Virtual Reality), AR (Augmented Reality) и другими цифровыми технологиями, позволяющими создавать конкретные информационные модели на протяжении всего ЖЦ. Кроме того, в [1] дано краткое описание сущности каждой составляющей ТИМ.

Обзор научных публикаций зарубежных авторов [2—4] показывает, что приоритетными направлениями в использовании беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) с точки зрения повышения их эффективности являются оценка рисков и обеспечение безопасности (в т. ч. экологической) при возведении зданий и сооружений. Например, в [2] отмечается, что на основе систематизированного анализа более 33 исследовательских и обзорных статей,

опубликованных в научных изданиях различных стран, входящих в базу данных Scopus, выявлено, что дрон-технологии в основном используются на стадии строительства и для оценки ситуации на строительной площадке. Авторы указывают, что первая научная работа, посвященная применению дрон-технологии в строительстве, опубликована в 2012 г. Далее наблюдается период активного распространения данной технологии, при этом в тройку ведущих стран по использованию БПЛА в строительстве зданий и сооружений входят США, Китай и Бразилия.

Авторы научного исследования [3] также пришли к выводу, что БПЛА в строительной отрасли используются в основном для выполнения геодезических работ и осуществления контроля безопасного ведения и качества работ на строительной площадке. Исследование выполнено на основе анализа 95 публикаций из 21 научного журнала, вышедших в свет с 2016 по 2021 гг. При этом установлено, что лидерами в использовании дрон-технологий являются США, европейские страны (какие именно, не указано), Китай, Южная Корея, Канада.

Более подробно применение дрон-технологий на примере США рассмотрено в [5], где отмечается, что в большинстве случаев они заменяют традиционные фото- и видеосъемку, а также подчеркивается необходимость развития технологии для дальнейшего использования в строительной отрасли.

Проблемам соблюдения правил безопасности и охраны труда, принятия оптимальных решений для исключения аварийных ситуаций на строительной площадке с помощью БПЛА посвящены научные публикации [6, 7]. Между тем, развитие БПЛА за счет технологических достижений в области электроники, возможности использования для их создания высокоточных датчиков и мощных, но миниатюрных электромеханических устройств [8] позволило значительно раздвинуть границы области их применения. Современные коптеры обладают расширенными функциями, позволяющими использовать их практически на всех стадиях ЖЦ зданий и сооружений [9—11]. Речь идет о ведении топографических съемок; дистанционном управлении основными строительными машинами; контроле качества работ; обследовании строительных систем на стадии эксплуатации. Согласно [9], современные способы получения необходимых геопространственных данных посредством БПЛА, по сути заменяют традиционные методы, предполагающие использование геодезических инструментов. Машиночитаемый формат данных позволяет при этом обрабатывать получаемую информацию удаленными серверами в режиме реального времени. Вполне ожидаемо, что такое положение дел окажет значительное влияние на рынок труда с точки зрения востребованности специалистов в сфере геодезии: с одной стороны, сократится потребность в кадрах, а с другой — повысятся требования к их квалификации. Кроме того, очевидно, что это будет способствовать созданию новых, более эффективных методов классификации и распознавания элементов на базе пространственного анализа данных.

Применение БПЛА актуально при строительстве линейно-протяженных, территориально рассредоточенных объектов, уникальных зданий и сооружений. При этом совершенствование БПЛА сопряжено с некоторыми трудностями, касающимися их управления. Тем не менее, исследователи акцентируют внимание, в основном, именно на преимуществах БПЛА [12—15].

В проанализированных публикациях [1—15] редко отмечается, что эффективное применение и дальнейшее развитие дрон-технологии зависит от ее интеграции с существующими цифровыми технологиями. Однако имеются публикации, в которых данному аспекту уделено должное внимание. В работе [16] рассматривается эффективность интеграции БПЛА с такими цифровыми технологиями, как BIM, GIS, IoT (интернет вещей), VR, AR, XR, MR. Интеграции БПЛА и BIM посвящены работы [17—23].

Авторы [3] справедливо отмечают, что опубликованные к настоящему времени работы не содержат углубленных обзоров исследований конкретных задач, например по анализу точности измерений БПЛА, сравнению использования различных технологий зондирования, успешности использования БПЛА с точки зрения различных типов конструкций. Также авторы подчеркивают, что все дальнейшие изыскания в этой сфере должны опираться на формирующуюся тенденцию к интеграции БПЛА-технологий с такими прикладными областями, как строительная робототехника и применение искусственного интеллекта (ИИ).

Целью данной работы является выявление основных возможностей применения технологий БПЛА на каждой стадии ЖЦ строительных систем с необходимой интеграцией с некоторыми другими цифровыми технологиями.

Материалы и методы

На современном этапе промышленной революции (Индустрия 4.0 — Строительство 4.0) самые совершенные БПЛА рассматриваются как роботизированные системы с возможностью выбора оптимальных решений при производстве работ на стадиях ЖЦ объектов недвижимости, т. е. с возможностью применения ИИ. В теоретическом аспекте это возможно, например, в некоторых отраслях экономики посредством высокоточных измерений системами датчиков различного функционального назначения на платформе БПЛА, алгоритма принятия решений ИИ, когда применяются лучшие изображения, выполненные с помощью дрон-технологий, определяются места нахождения объектов с большой точностью и т. д. Изображения являются одним из основных приложений БПЛА-технологии, т. к. именно они формируют исчерпывающее представление об объекте наблюдения. Существует два вида анализа объекта с точки зрения обработки полученного изображения — количественный и качественный. Первый используется для установления геометрических характеристик исследуемого объекта, второй актуален для распознавания определенных целей на изображении, а также, при необходимости, для мониторинга за их изменениями на протяжении определенного периода времени. Кроме того, отмечается, что дальнейшие исследования должны быть направлены на изучение эффективного взаимодействия БПЛА и ИИ в гражданском строительстве [24].

На рисунке 1 представлены некоторые цифровые технологии, входящие в систему технологий информационного моделирования. Эта схема получена авторами на основе анализа литературных источников. В данной статье исследуется возможность и эффективность интеграции дрон-технологий с ТИМ для цифровой трансформации строительной отрасли.

Отметим, что, кроме VR- и AR-технологий, можно использовать также технологии других реальностей — смешанной (MR) и расширенной (XR), блокчейн и т. д.

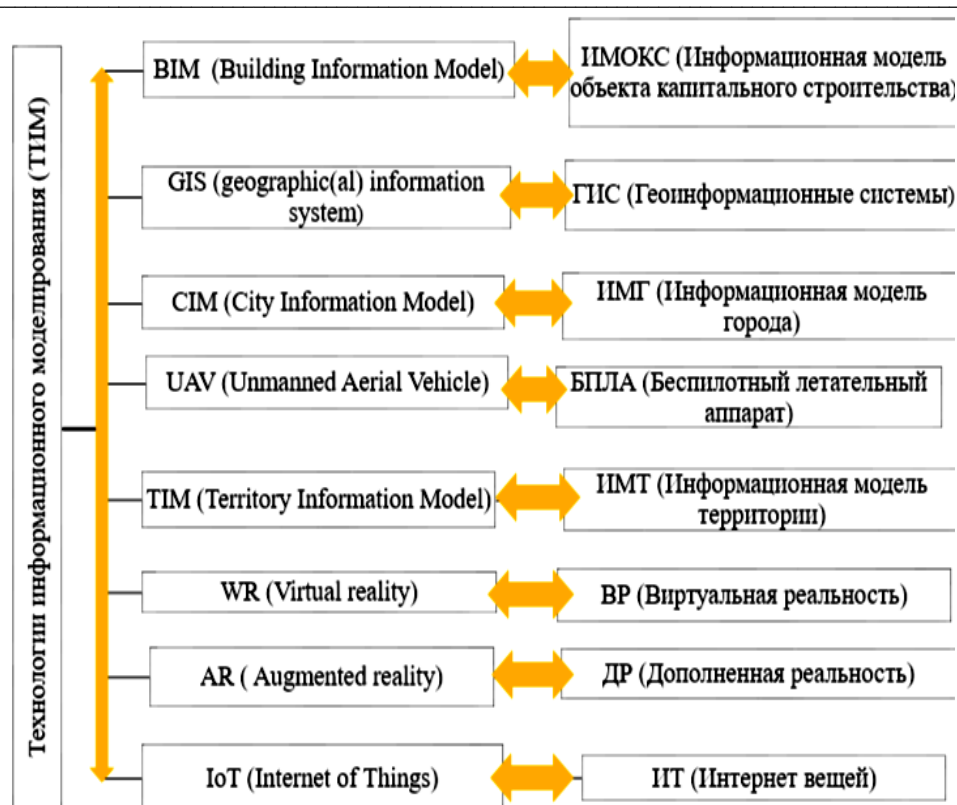


Рис. 1. Некоторые составные цифровые технологии в общей системе ТИМ

На основе анализа литературных источников систематизирована информация об области применения и основных преимуществах БПЛА-технологии на различных стадиях ЖЦ зданий и сооружений (табл.). Отметим, что область применения и основные преимущества дрон-технологии для стадии сноса (утилизации) авторами анализируемых публикаций не рассматриваются. Между тем возможности применения дрон-технологии именно на данной стадии очевидны (см. табл.).

*Область применения БПЛА-технологии и основные ее достоинства
 на различных стадиях ЖЦ зданий и сооружений*

Стадии ЖЦ	Область применения (основные достоинства)	Источники
1	2	3
Предпроектирование	Топографические съемки — сокращение продолжительности выполнения работ и уменьшение затрат на инженерно-изыскательные работы	[3—5, 13, 16, 17, 20, 21, 23, 25—28]
	Топографические съемки — точность измерений за счет возможности использования высокоточных камер в разрешении 4K и более; получение разноракурсных изображений, которые в дальнейшем обрабатываются в специальных программных комплексах; итог — подробная трехмерная модель территории и расположенных на ней объектов	[3, 4, 8, 16, 20, 21, 23, 25, 29]
	Топографические съемки — возможность работы в труднодоступных районах; благодаря дистанционному харак-	[16, 25—27, 30]

Стадии ЖЦ	Область применения (основные достоинства)	Источники
1	2	3
	теру управления работой БПЛА нет необходимости в нахождении геодезистов на месте проведения съемок	
Проектирование	Топографические съемки — сокращение продолжительности дополнительной топографической съемки для проектирования инженерной цифровой модели местности: инженерно-топографический план в цифровом векторно-топологическом виде необходим для автоматизированного решения инженерных задач, включая создание цифровой модели рельефа и цифровой модели ситуации ¹	[3—5, 13, 16, 17, 20, 21, 25—28]
	Получение подробной, детализированной информации с участка, где ведется строительство, и ее сопоставление с проектной документацией	[3—5, 13, 16, 18—21, 25, 27—29]
	Контроль качества — повышение контроля качества	[19, 22, 23, 27, 28, 30—34]
	Своевременная доставка и подача строительных материалов и необходимых ресурсов на строительную площадку	[27—32, 34]
	Охрана труда и техника безопасности — благодаря возможности мониторинга (надеты ли на рабочих защитные каски, как устроены строительные леса и т. д.) снижается риск получения производственных травм на строительной площадке, в целом повышается уровень безопасности выполнения работ	[2—8, 16—19, 25, 27—30]
Эксплуатация	Обследование и технический осмотр вертикальных, горизонтальных и наклонных наружных ограждающих конструкций строительных систем, своевременное обнаружение и устранение дефектов наружных конструкций, обеспечивающих продление ЖЦ зданий и сооружений	[3, 8, 13, 16—18, 23, 25—28, 30—32]
	Мониторинг хода работ при техническом обслуживании строительных систем, обеспечение организационно-технологических решений, повышение качества выполнения работ при капитальном ремонте зданий и сооружений	
	Охрана труда и техника безопасности — уменьшение травматизма, соблюдение правил	
Снос (утилизация)	Мониторинг хода работ при сносе строительных систем — выполнение работ в соответствии с организационно-технологическими решениями	—
	Загрузка отходов и ненужных материалов в машины для транспортировки в места переработки или утилизации — своевременное выполнение работ	
	Охрана труда и техника безопасности — уменьшение производственного травматизма, соблюдение правил	

Стадии ЖЦ строительной системы, согласно действующему нормативному документу СП 333.1325800.2020², с добавлением стадии сноса, а также вопросы эффективности применения цифровых технологий для управления

¹ СП 317.1325800.2017. Инженерно-геодезические изыскания для строительства. Общие правила производства работ. П. 3.1.13. URL: <https://docs.cntd.ru/document/556610334?ysclid=mby2ooesba528700458>.

² СП 333.1325800.2020. Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573514520>.

ЖЦ и их взаимосвязи на различных стадиях ЖЦ рассмотрены авторами настоящей работы в публикациях [35, 36].

По данным таблицы составлен график (рис. 2), который наглядно демонстрирует, что дрон-технологии наиболее востребованы, как правило, на стадиях строительства и предпроектирования.

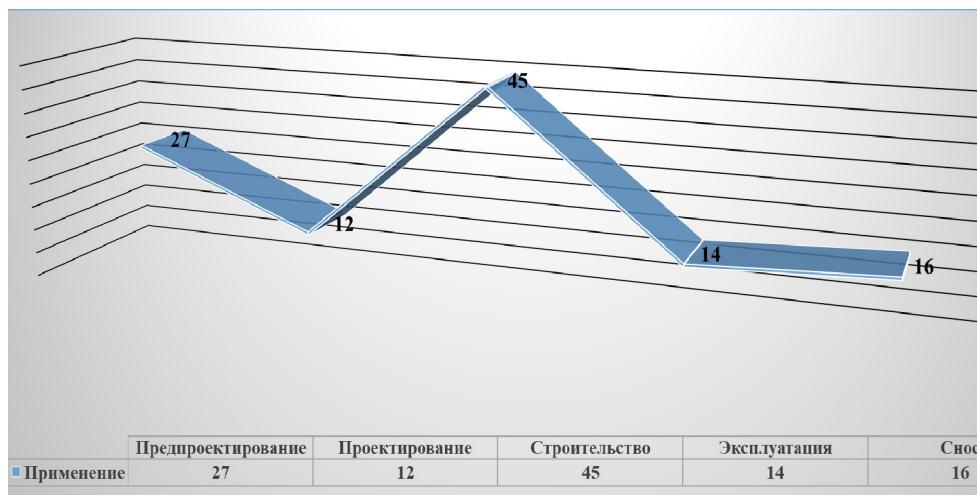


Рис. 2. Область применения дрон-технологий на различных стадиях ЖЦ строительных систем (на основе анализа литературных источников [1—34, 37])

Из данных таблицы видно, что на стадии предпроектирования строительные дроны в основном применяются для выполнения топографических съемок, что позволяет получать информацию в машиночитаемом формате и обрабатывать ее удаленными серверами в режиме реального времени. Как уже отмечалось, при такой сложившейся практике рынок труда с точки зрения востребованности специалистов в сфере геодезии, совершенно очевидно, претерпит серьезные изменения, поскольку потребность в кадрах сократится, но требования к их квалификации повысятся. Подобная практика будет также стимулировать создание новых, эффективных методов классификации и идентификации элементов на базе пространственного анализа данных.

В представленных ниже диаграммах отражены основные преимущества дрон-технологии на стадиях предпроектирования (рис. 3) и строительства (рис. 4), которые выявлены в т. ч. на основе анализа публикаций, приведенных в библиографическом списке данной статьи.

Обсуждение и заключение

Полученные авторами на основе анализа научной литературы данные показывают, что дрон-технологии на стадии строительства, как правило, используются для выполнения контрольно-наблюдательных и проверочных функций: контроль за соблюдением правил по охране и безопасности труда, качеством и объемом выполнения строительных технологических процессов, соответствием между организационными решениями на строительной площадке и проектной документацией и др.

Устойчивое развитие строительного производства тесно связано с цифровизацией строительных технологических процессов, в связи с чем

в последнее десятилетие активно ведутся разработки по применению БПЛА как ведущей машины для выполнения различных строительных работ.

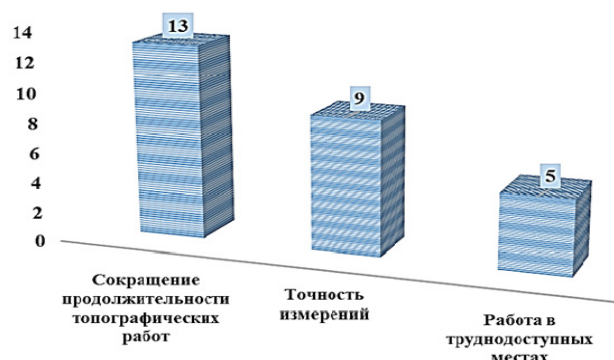


Рис. 3. Основные преимущества применения дрон-технологии на стадии предпроектирования ЖЦ строительных систем

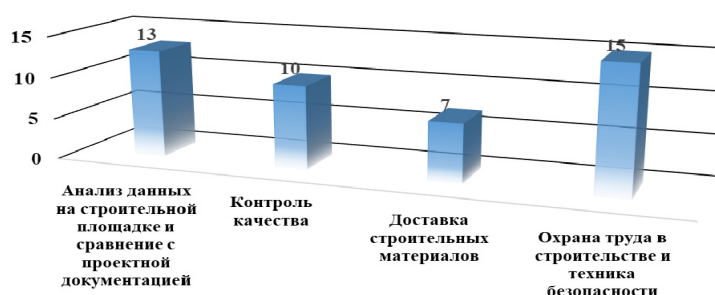


Рис. 4. Основные преимущества применения дрон-технологии на стадии строительства ЖЦ строительных систем

Известны случаи кастомизации (процесса изменения конструктивных и функциональных параметров) БПЛА в целях расширения их возможностей, например, для выполнения каменной кладки, сборки колонн круглого сечения из отдельных мелкогабаритных элементов (зависит от грузоподъемности БПЛА) [36]. В [38] приведены организационные решения для выполнения каменной кладки с применением БПЛА. Дроны приспособлены и для вязки арматурных сеток на проектных отметках монолитных конструкций³ и т. д.

Анализ публикаций [35, 36, 38] показывает, что для выполнения различных строительных работ с использованием БПЛА как орудия труда, необходимы разработки по обеспечению технологического процесса нужными рабочими органами. Так, если речь идет о поверхностных или глубинных вибраторах, применяемых с целью уплотнения бетонной смеси, то с помощью ИИ могут быть определены схемы установки вибраторов, продолжительность уплотнения

³ Дрону доверили вязку арматуры. URL: <https://nplus1.ru/news/2021/03/01/rebar>. Дата обращения: 01.03.2025.

в зависимости от подвижности бетонной смеси и т. д. В целом для строительных технологических процессов, где не требуются механизмы большой грузоподъемности, существует возможность дополнения БПЛА необходимыми устройствами — для роботизации, повышения экономической эффективности выполнения работ на стадии строительства. Эта проблема будет рассмотрена авторами в следующих статьях. В интеграции с другими цифровыми технологиями, входящими в ТИМ (см. рис. 1), с помощью БПЛА по определенному алгоритму ИИ можно составлять исполнительную документацию.

В заключение отметим, что полученные результаты свидетельствуют об огромном потенциале дрон-технологий на всех стадиях ЖЦ объекта недвижимости, несмотря на то, что в основном освещаются вопросы инспекционного, контролирующего и наблюдательного характера. Научная новизна проведенного исследования состоит в том, что на основе анализа литературных источников систематизированы области применения дрон-технологий на различных стадиях ЖЦ строительных систем, выявлены основные преимущества их применения на стадии сноса, а также отмечено расширение их возможностей на стадии строительства за счет изменения конструктивных и функциональных параметров БПЛА.

Исследование выполнено в рамках гранта Российского научного фонда «Проведение фундаментальных научных исследований и поисковых научных исследований малыми отдельными научными группами» (региональный конкурс), научный проект «Теоретические основы выбора эффективных решений, направленных на повышение рациональности использования и экологической безопасности городских территорий» (соглашение № 25-29-20187).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абрамян С. Г., Меняйлова Р. А., Панин В. А., Мгерян К. С. Обеспечение организационно-технологической надежности в строительстве на основе применения технологий информационного моделирования // Вестник Евразийской науки. 2024. Т. 16. № 4. URL: <https://esj.today/PDF/55SAVN424.pdf>.
2. Unmanned aerial vehicles (UAV) for safety in the construction industry: a systematic literature review / C. S. R. Perera, S. Gao, P. Manu, V. Francis, P. Urhal // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. 2022. Sci. 1101 092008. DOI: 10.1088/1755-1315/1101/9/092008.
3. Molina A. A., Huang Y., Jiang Y. A Review of Unmanned Aerial Vehicle Applications in Construction Management: 2016–2021 // Standards. 2023. Vol. 3. Iss. 2. Pp. 95–109. DOI: 10.3390/standards3020009.
4. Szóstak M., Nowobilski T., Mahamadu A. M., Pérez D. C. Unmanned aerial vehicles in the construction industry — Towards a protocol for safe preparation and flight of drones // International Journal of Intelligent Unmanned Systems. 2023. Vol. 11. Iss. 2. Pp. 296–316. DOI: 10.1108/IJUS-05-2022-0063.
5. Tatum M. C., Junshan L. Unmanned Aircraft System Applications in Construction // Procedia Engineering. 2017. Vol. 196. Pp. 167–175.
6. Yuvaraj D., Anandh K. S. A Rapid Review on the Application of Unmanned Aerial Vehicles in Construction Safety // Intelligent Systems Design and Applications. 2022. Lecture Notes in Networks and Systems. Vol. 646. Springer. Cham. DOI: 10.1007/978-3-031-27440-4_44.
7. Szóstak M., Nowobilski T. Application of unmanned aerial vehicles in construction industry // Transportation Overview — Przegląd Komunikacyjny. 2022. Vol. 2-3. Pp. 37–45. DOI: 10.35117/A_ENG_22_02_03_05.
8. Baistar R., Telishevskiy A. Application of Unmanned Aerial Vehicles in Construction Industry // Energy Engineering and Control Systems. 2024. Vol. 10. Iss. 1. Pp. 35–42. DOI: 10.23939/jeecs2024.01.035.
9. Адамцевич Л. А., Воробьев П. Ю., Железнов Е. М. Технология мониторинга объектов капитального строительства на этапах жизненного цикла методами дистанционного зондиро-

вания с использованием беспилотных летательных аппаратов (дронов) на основе высокоточной цифровой модели объекта // Строительство и архитектура. 2021. Т. 9. № 3(32). С.72—77. DOI: 10.29039/2308-0191-2021-9-3- 72–77.

10. Носков И. В., Носков К. И., Тиненская С. В., Ананьев С. А. Дрон-технологии в строительстве — современные решения и возможности // Вестник Евразийской науки. 2020. № 5. URL: <https://esj.today/PDF/37SAVN520.pdf>.

11. Бреус Н. Л., Токарев А. Е., Токарев А. А. Технологии беспилотного пилотирования при контроле строительства и эксплуатации линейных объектов капитального строительства // Вестник евразийской науки. 2022. Т. 14. № 3. URL: <https://esj.today/PDF/17SAVN322.pdf>.

12. Кудасова А. С., Тютина А. Д., Сокольников Э. В. Применение беспилотных летательных аппаратов в строительстве // Инженерный вестник Дона. 2021. № 8. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2021/7125.

13. Лосев Д. М. Цифровые технологии дистанционного управления и контроля при производстве строительных работ // Вестник НИЦ «Строительство». 2024. Вып. 41(2). С. 148—157. DOI: 10.37538/2224-9494-2024-2(41)-148-157.

14. Макарычев К. В., Воронин И. С. Перспективы применения БПЛА в строительстве // Научный аспект. URL: <https://na-journal.ru/5-2023-tehnologii-proizvodstva/5204-perspektivy-primeneniya-bpla-v-stroitelstve>.

15. Бузало Н. А., Кундрючков Д. Н., Пономарев Р. Р. Применение беспилотных летательных аппаратов при обследовании зданий и сооружений // Строительство и архитектура. 2022. Т. 10. № 1. С. 6—10. DOI: 10.29039/2308-0191-2021-10-1-6-10.

16. Rachmawati T., Kim S. Unmanned Aerial Vehicles (UAV) Integration with Digital Technologies toward Construction 4.0: A Systematic Literature Review // Sustainability. 2022. Vol. 14. Art. 5708. DOI: 10.3390/su14095708.

17. Acero M. A., Huang Y., Jiang Y. A Review of Unmanned Aerial Vehicle Applications in Construction Management: 2016–2021 // Standards. 2023. Vol. 3. Pp. 95—109. DOI: 10.3390/standards3020009.

18. Tian J., Luo S., Wang X., Hu J. Crane Lifting Optimization and Construction Monitoring in Steel Bridge Construction Project Based on BIM and UAV // Advances in Civil Engineering. 2021. Pp. 1—15. DOI: 10.1155/2021/5512229.

19. UAV-Enabled Site-to-BIM Automation: Aerial Robotic- and Computer Vision-Based Development of As-Built / H. Hamledari, Sh. Davari, E. Azar, B. McCabe, F. Flager, M. Fischer // As-Is BIMs and Quality Control. 2018. DOI: 10.1061/9780784481264.033.

20. Vacca G., Dessì A., Sacco Al. The Use of Nadir and Oblique UAV Images for Building Knowledge // International Journal of Geo-Information. 2017. Vol. 6. Art. 393. DOI: 10.3390/ijgi6120393.

21. Martin A., Rojas I., Franke K., Hedengren J. Evolutionary View Planning for Optimized UAV Terrain Modeling in a Simulated Environment // Remote Sensing. 2015. Vol. 8. Art. 26. DOI: 10.3390/rs8010026.

22. Vacanas Y., Themistocleous K., Agapiou A., Hadjimitsis D. Building Information Modelling (BIM) and Unmanned Aerial Vehicle (UAV) technologies in infrastructure construction project management and delay and disruption analysis // Proceedings of SPIE — The International Society for Optical Engineering. 2015. Art. 9535. DOI: 10.1117/12.2192723.

23. Patel T., Suthar V., Bhatt N. Application of Remotely Piloted Unmanned Aerial Vehicle in Construction Management. 2019. DOI: 10.1007/978-981-15-5195-6_25.

24. Андриевский Б. Р., Попов А. М., Мухайлов В. А., Попов Ф. А. Применение методов искусственного интеллекта для управления полетом беспилотных летательных аппаратов // Аэрокосмическая техника и технологии. 2023. Т. 1. № 2. С. 72—107.

25. Choi H. W., Kim H. J., Kim S. K., Na W. An Overview of Drone Applications in the Construction Industry // Drones. 2023. Vol. 7. Art. 515. DOI: 10.3390/drones7080515.

26. Martínez-Carricondo P., Carvajal-Ramírez F., Yero-Paneque L., Agüera-Vega F. Combination of HBIM and UAV photogrammetry for modelling and documentation of forgotten heritage // Case study: Isabel II dam in Níjar (Almería, Spain). Heritage Science. 2021. Vol. 9. DOI: 10.1186/s40494-021-00571-8.

27. Albeaino G., Gheisari M. Trends, Benefits, and Barriers of Unmanned Aerial Systems in the Construction Industry: A Survey Study in the United States // Journal of Information Technology in Construction. 2021. Vol. 26. Pp. 84—111. DOI: 10.36680/j.itcon.2021.006.

28. Zhou Sh., Gheisari M. Unmanned Aerial System Applications in Construction: A Systematic Review // Construction Innovation. 2018. DOI: 10.1108/CI-02-2018-0010.

29. Siebert S., Teizer J. Mobile 3D mapping for surveying earthwork projects using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) system // Automation in Construction. 2014. Vol. 41. Pp. 1—14. DOI: 10.1016/j.autcon.2014.01.004.
30. Gheisari M., Rashidi A., Esmaeili B. Using Unmanned Aerial Systems for Automated Fall Hazard Monitoring // Conference: Construction Research Congress. 2018. DOI: 10.1061/9780784481288.007.
31. Quality Assessment of DSMs Produced from UAV Flights Georeferenced with On-Board RTK Positioning. / G. Forlani, E. Dall'Asta, F. Diotri, U. Morra di Cella, R. Roncella, M. Santise // Remote Sensing. 2018. Vol. 10. Iss. 2. P. 311. DOI: 10.3110.10.3390/rs10020311.
32. Hallermann N., Morgenthal G. Unmanned aerial vehicles (UAV) for the assessment of existing structures // IABSE Symposium Report. 2013. Vol. 101. DOI: 10.2749/222137813808627172.
33. Dallasega P., Rauch E., Linder Ch. Industry 4.0 as an enabler of proximity for construction supply chains: A systematic literature review // Computers in Industry. 2018. Vol. 99. DOI: 10.1016/j.compind.2018.03.039.
34. Irizarry J., Karan E., Jalaei F. Integrating BIM and GIS to improve the visual monitoring of construction supply chain management // Automation in Construction. 2013. Vol. 31. Pp. 241—254. DOI: 10.1016/j.autcon.2012.12.005.
35. Абрамян С. Г., Бурлаченко О. В., Оганесян О. В., Бурлаченко А. О. Система управления жизненным циклом объектов капитального строительства с использованием цифровых технологий // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2021. Вып. 4(85). С. 305—313.
36. Абрамян С. Г., Бурлаченко О. В., Оганесян О. В., Бурлаченко А. О. Роль цифровых технологий при строительстве и повышении остаточного ресурса промышленной и строительной продукции // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2020. Вып. 4(81). С. 429—437.
37. Use of unmanned aerial vehicle for safety inspection at construction sites: a systematic literature review / J. Moura, C. José, C. Felipe, A. Lucas, P. Vinícius, C. Yêda, S. B. Lorena, L. Alves, B. Costa, G. Lopes // Concilium. 2023. Vol. 23. Pp. 491—508. DOI: 10.53660/CLM-760-23A26.
38. Latteur P., Goessens S., Mueller C. Masonry construction with drones // Conference: International Association for Shell and Spatial Structures Symposium. 2016. URL: https://www.researchgate.net/publication/316107815_Masonry_construction_with_drones

© Абрамян С. Г., Бурлаченко О. В., Оганесян О. В., Бурлаченко А. О., Карапузов В. И., 2025

Поступила в редакцию
31.03.2025

Ссылка для цитирования:

Исследование эффективности применения дрон-технологий как основы информационного моделирования жизненного цикла строительных систем / С. Г. Абрамян, О. В. Бурлаченко, О. В. Оганесян, А. О. Бурлаченко, В. И. Карапузов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2025. Вып. 2(99). С. 162—172. DOI: 10.35211/18154360_2025_2_162.

Об авторах:

Абрамян Сусанна Грантовна — канд. техн. наук, доц., доц. каф. технологий строительного производства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; susannagrانت@mail.ru

Бурлаченко Олег Васильевич — д-р техн. наук, проф., зав. каф. технологий строительного производства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; burlachenkoov@vgasu.ru

Оганесян Оганес Валерьевич — главный инженер, исследователь, Павелецкий вокзал, дирекция железнодорожных вокзалов — филиал ОАО «РЖД». Российская Федерация, 115054, г. Москва, Павелецкая пл., 1а; ogoganesyan@mail.ru

Бурлаченко Александр Олегович — аспирант каф. безопасности жизнедеятельности в строительстве и городском хозяйстве, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; a.o.burlachenko@gmail.com

Карапuzов Владислав Игоревич — студент, Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; vladislovekrpz@yandex.ru

**Susanna G. Abramyan^a, Oleg V. Burlachenko^a, Oganess V. Oganessyan^b,
Alexandr O. Burlachenko^a, Vladislav I. Karapuzov^a**

^a *Volgograd State Technical University*

^b *Regional Rail Station Directorate, Moscow Branch of OAO RZhD (Russian Railways)*

THE INVESTIGATION OF THE DRONE TECHNOLOGIES EFFECTIVENESS AS THE BASIS FOR INFORMATION MODELING OF THE BUILDING SYSTEMS LIFE CYCLE

The article considers digital technologies frequently used in the construction industry, ensuring the efficiency of construction of buildings and structures at various life cycle (LC) stages. The article is based on a review of scientific publications by domestic and foreign researchers and personal research of the authors. The main capabilities and advantages of using unmanned aerial vehicles (UAVs) are presented in tabular form for each LC stage of a real estate object. It has been established that drone technologies are mainly used at the buildings and structures construction stage to ensure labor protection and safety, quality control, analysis of real data at the construction site and comparison with design documentation, delivery (submission) of materials from on-site warehouses to the design site. The advantages of using UAVs at the pre-project stage are revealed, including reduced duration of topographic work, measurement accuracy, and work in hard-to-reach places. The possibility of expanding the use of drone technologies at the stage of construction of a real estate object is noted, namely when performing individual technological processes by changing or improving the design and functional parameters of the UAV.

Key words: construction, life cycle, drone technologies, digital technologies, integration, drone customization.

For citation:

Abramyan S. G., Burlachenko O. V., Oganessyan O. V., Burlachenko A. O., Karapuzov V. I. [The investigation of the drone technologies effectiveness as the basis for information modeling of the building systems life cycle]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2025, iss. 2, pp. 162—172. DOI: 10.35211/18154360_2025_2_162.

About authors:

Susanna G. Abramyan — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; susannagrnt@mail.ru; ORCID: 0000-0002-3938-1096; Scopus: 6508040964, Researcher ID: C-7099-2016

Oleg V. Burlachenko — Doctor of Engineering Sciences, Professor, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; burlachenkoov@vgtu.ru; ORCID: 0000-0003-1477-2709

Oganess V. Oganessyan — Chief engineer, researcher, Pavletsky Station, Regional Rail Station Directorate, Moscow Branch of OAO RZhD (Russian Railways). 1a, Pavletskaya sq., Moscow, 115054, Russian Federation; ogoganesyan@mail.ru; ORCID: 0000-0002-2050-2302

Alexander O. Burlachenko — Postgraduate student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; a.o.burlachenko@gmail.com

Vladislav I. Karapuzov — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; vladislovekrpz@yandex.ru