

УДК 69.001.5

О. В. Бурлаченко, С. Г. Абрамян, **Н. А. Фоменко**, А. О. Бурлаченко

Волгоградский государственный технический университет

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО ПРИМЕНЕНИЮ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В УПРАВЛЕНИИ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ОБЪЕКТОВ СТРОИТЕЛЬСТВА

Применение технологий информационного моделирования в строительстве предполагает применение технических средств, позволяющих формировать и поддерживать электронную модель объекта строительства на всем протяжении жизненного цикла. Одним из наиболее эффективных видов приспособлений для этих целей являются беспилотные летательные аппараты. В последнее время они находят широкое применение в строительном комплексе для различных целей. Однако до настоящего момента отсутствует методология, позволяющая на основе беспилотных летательных аппаратов сформировать систему управления жизненным циклом объекта строительства в единый технологический процесс. Проведенные авторами статьи исследования дают возможность реализовать системный подход к применению беспилотных летательных аппаратов для управления жизненным циклом на основе технологий блокчейна.

Ключевые слова: объект строительства, беспилотные летательные аппараты, жизненный цикл, блокчейн-технологии.

Введение

Развивающиеся в последние годы технологии информационного моделирования в строительстве (ТИМ) предполагают формирование и ведение информационной модели объекта строительства на протяжении жизненного цикла. Такой подход является, безусловно, перспективным, поскольку позволяет перейти от принятия решений по принятым критериям (как правило, технико-экономическим) на каком-либо определенном этапе жизненного цикла, к управлению жизненным циклом объекта как к единому технологическому процессу [1—5].

В связи с этим необходимо изменение парадигмы технологий применения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в строительном комплексе. В настоящий момент данное направление эволюции строительной отрасли развивается интенсивно. Согласно [6—14] ежегодный прирост применения БПЛА в строительстве и эксплуатации зданий составляет порядка 30 %. Это обусловлено рядом существенных преимуществ применения БПЛА в строительстве:

1. Экономия времени и ресурсов, обусловленная увеличением темпов рабочих процессов и возможностью автоматизированного выполнения ряда работ (мониторинг, геодезическое обследование и т. д.).
2. Повышение безопасности работ посредством автоматизированной инспекции с контролем опасных зон, мониторинга высотных работ, контроля тяжелого и опасного оборудования.
3. Сбор и хранение более точных и надежных данных о состоянии объектов на основе применения съемки высокого качества.
4. Возможность доставки материалов на высотные объекты и в труднодоступные районы.

В то же время до сих пор отсутствует четкий алгоритм применения БПЛА на различных этапах жизненного цикла объекта строительства с возможностью принятия оптимальных решений по выбору параметров технических средств в зависимости от конкретного объекта и этапа жизненного цикла.

Материалы и методы

Решение этой задачи авторы предлагают в 3 этапа:

1. Анализ и классификация применения различных технических средств по видам работ и этапам жизненного цикла.
2. Выбор конкретных технических средств с учетом их технических характеристик.
3. Принятие оптимального решения на основе выбранных критериев оптимизации.

В таблице представлены результаты анализа применения БПЛА для выполнения различных операций на этапах жизненного цикла объекта.

Краткое описание основных областей применения БПЛА в строительстве

Область применения	Описание
Выполнение топографической съемки	Получение необходимых данных о ландшафте окружающей местности
Контроль строительных технологических процессов	Контролируются технологическая последовательность и качество выполнения работ, соблюдение сроков выполнения работ с учетом действующих законодательных и нормативных документов
Контроль над трудовыми ресурсами	Наблюдение и установление эффективности, безопасности выполнения рабочими строительных технологических процессов.
Мониторинг нескольких строительных площадок	При строительстве и эксплуатации объектов, разрозненных территориально либо находящихся в труднодоступных районах, одной генподрядной организации практически нет возможности ежедневного контроля над процессом выполнения работ на каждой строительной площадке. Необходимая информация получается от производителей работ, что не всегда дает объективную картину. БПЛА позволяют выполнять оперативное решение необходимых задач на разных объектах единого комплекса. Сокращаются также командировочные расходы и затраты на поездки
Отчет перед инвесторами о ходе выполненных работ	Регулярные съемки строящихся и эксплуатируемых объектов с помощью БПЛА и передача данных инвесторам позволяют не только отчитаться о процессе выполнения работ, но и ознакомить с применяемыми технологиями
Страхование и безопасность труда	С помощью БПЛА можно контролировать использование рабочими на строительной площадке средств индивидуальной защиты, выполнение требований по безопасности труда. Регулярные съемки позволят устранять проблемы, предотвращать аварийные ситуации, сокращать расходы на страхование

Область применения	Описание
Осуществление строительного маркетинга	Фото- и видеосъемки местности, выполненные с помощью БПЛА с высоты птичьего полета с разных ракурсов до начала строительства и на стадии строительства, могут привлечь потенциальных инвесторов, дополнительных покупателей
Доставка, подача и монтаж некоторых строительных грузов	При строительстве линейно-протяженных сооружений и уникальных зданий, синхронизируя поставки материалов с помощью съемок БПЛА, можно сократить транспортные расходы. Также современные БПЛА могут транспортировать грузы массой 30...120 кг. С их помощью можно также монтировать некоторые элементы при строительстве башен и мачт в сложных условиях
Обследования объектов	Позволяет на стадии эксплуатации за короткие сроки получить информацию о наличии дефектов, их характере и, не подвергая людей опасности, оценить объемы ущерба от аварий, пожаров

Что касается технических характеристик и конструктивных решений, то следует отметить, что БПЛА, применяемые в настоящее время в строительстве, делятся на тяжелые и легкие [7].

Тяжелые БПЛА самолетного типа предназначены для транспортировки крупногабаритных строительных грузов. Различают устойчивые тяжелые БПЛА (хорошо управляемые, устойчивые к ветровым нагрузкам), которые могут находиться в воздухе ограниченное время (до 40 мин), и БПЛА с увеличенным временем полета (более 60 мин) [7].

Легкие беспилотные летающие аппараты вертолетного типа (коптеры) могут находиться в одной точке для выполнения определенной работы (съемки, мониторинга и т. д.).

Конструктивно различают виды коптеров по количеству двигателей: три (трикоптер) четыре (квадрокоптер), шесть (гексокоптер), восемь (октокоптер), реже двенадцать бесколлекторных электродвигателей с винтами (пропеллеров). Как отмечается в [8], винтов может быть по одному на двигатель или коаксиально два. В некоторых публикациях [11—13] подчеркивается, что в строительстве в основном применяют квадрокоптеры.

К легким относятся также БПЛА «парящие», позволяющие вести мониторинг какого-либо объекта или явления. Они могут находиться в воздухе неограниченное время.

В настоящей работе авторы ориентируются на исследование нового поколения БПЛА, оснащенного искусственным интеллектом (ИИ). Применение этого нового, интенсивно развивающегося инструмента позволяет реализовывать технологии предиктивной аналитики, т. е. принимать управленческие решения, основанные на анализе массива статистических данных [14, 15], построенного со структуризацией по этапам жизненного цикла объекта.

Очевидно, что существующие на современном этапе развития строительные технологии применения БПЛА позволяют возвести уникальные здания и сооружения в самых сложных условиях с минимальными затратами труда и времени.

Фотографии, видеозаписи, выполненные с помощью камер БПЛА, в онлайн-режиме передаются для хранения, обработки и принятия решений в электронную базу. Так осуществляется проверка соответствия фактически выполненных работ требованиям нормативных документов (информация находится в блокчейне) и рабочей документации (BIM). На этой же стадии при отсутствии отклонений оформляются строительные журналы, необходимые акты на скрытые работы и другие документы, входящие в общую исполнительную документацию.

Благодаря видеосъемкам, фотографиям с БПЛА можно узнать, как влияют строительные процессы на окружающую природную среду.

Известно, что строительная отрасль негативно воздействует на атмосферу, гидросферу и литосферу, поэтому необходимо в процессе выполнения некоторых строительных работ инструментально определять выбросы вредных веществ (особенно от работающих машин и механизмов), с оформлением соответствующего документа. Таким образом, блокчейны по технологии и организации выполнения работ должны быть рассмотрены как неделимые элементы от экологических блокчейнов.

Рассмотрим возможность реализации представленной выше концепции на примере уникального объекта. На рисунке 1 представлены несколько фрагментов из общего проекта уникального объекта, разработанного с помощью программы Revit. Альтернативой данному пакету сегодня может служить отечественная разработка, выполненная в рамках импортозамещения, — программный комплекс Model Studio CS, имеющий возможность работы с BIM-моделями. К преимуществам данного инструмента относится работа с различными типами данных и возможность создания неограниченного количества 3D-визуализаций.



Рис. 1. Фрагменты фасадов здания Академии искусств, без опорных сетчатых башен

Программные комплексы Revit и Model Studio CS интегрируются с БПЛА для съемки труднодоступных участков как самих уникальных объектов (например, конструкций покрытий или иных сложных конструкций), так и расположенных, например в горной местности, участков строительства. При этом информация, снятая БПЛА, преобразуется в 3D-модель и импортируется в программные пакеты Revit и Model Studio CS для дальнейшего использования.

Конструктивные решения здания обеспечивают безопасную его эксплуатацию, несмотря на сейсмичность территории.

Для объединения жизненного цикла подобных сложных объектов авторами предлагается использование блокчейн-технологий, т. е. совокупности баз данных по технологиям и методам производства работ для изысканий, строительства, эксплуатации, реконструкции конкретного объекта. Здания и сооружения, которые строятся по типовым проектам, должны иметь индивидуальные блокчейн-технологии, т. к. на технологию возведения и методы производства работ влияют не только конструктивная система или схема строительной системы и т. д., но и условия производства работ и другие факторы [16—18]. На основе применения данной технологии составлена блокчейн-схема выбора управляющих решений на этапе строительства объекта (рис. 2).

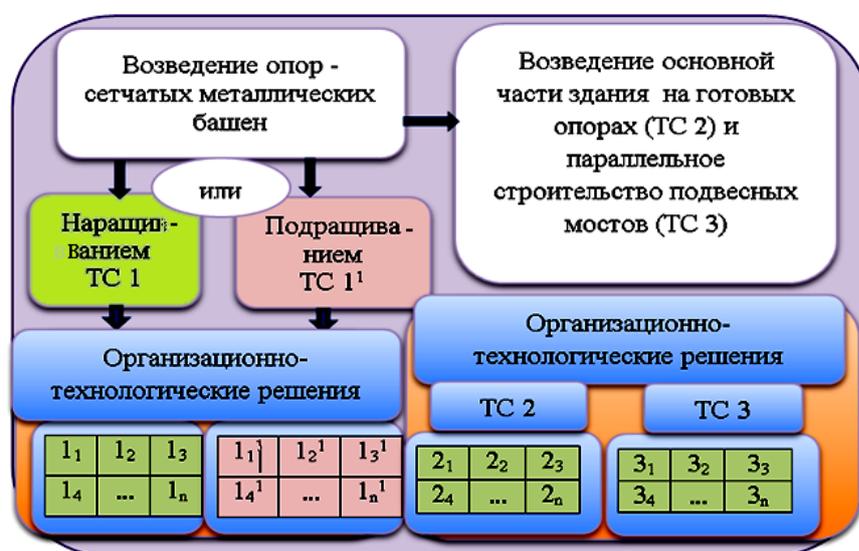


Рис. 2. Вариант технологии возведения здания Академии искусств: $1_1 \dots 1_n$; $2_1 \dots 2_n$; $3_1 \dots 3_n$ — условные обозначения возможных организационно-технологических решений в зависимости от выбора грузоподъемных механизмов

На рисунке 2 указаны два метода возведения башен-опор: наращивание и подращивание. В результате расчетов определена большая эффективность второго метода, который, в свою очередь, многовариантен, для каждого варианта определяются свои блокчейны. Окончательный вариант принимается в соответствии с расчетами по эколого-экономическому обоснованию.

Доставку и монтаж элементов строительных конструкций можно производить с помощью транспортно-монтажных средств, вертолетов и БПЛА (диафрагмы жесткости).

Результаты и обсуждение

Принципиальные отличия и преимущества предлагаемой технологии от ранее существующих технологий заключаются в следующем:

- высокая транспортная и монтажная технологичность (одной машиной можно выполнять как транспортные, так и монтажные работы;

- отпадает необходимость применения большегабаритных подъемных механизмов (кранов);
- нет надобности на строительной площадке выполнять работы по укрупненной сборке секций опорной башни;
- качественный пооперационный контроль, автоматическое заполнение журналов производства работ и актов на скрытые работы посредством компьютерных технологий с помощью БПЛА.

Если условия производства работ (например, бездорожье, крутые возвышенности) не позволяют выполнить транспортировку и монтаж элементов на строительную площадку, то можно использовать воздушный транспорт: вертолеты серий МИ и КА, БПЛА, которые снабжены телевизионными камерами, обеспечивающими обзор зоны монтажа и груза.

Марка БПЛА определяется в зависимости от дальности полета, динамического потолка и грузоподъемности, которая определяется по формуле:

$$P = M_{п.в} + M_T + M_0,$$

где $M_{п.в}$ — масса пустого БПЛА; M_T — масса топлива и смазки; M_0 — масса дополнительного оборудования.

Заключение

Проведенные авторами исследования позволяют объединить в единый технологический процесс применение БПЛА на различных этапах жизненного цикла объекта строительства на основе применения блокчейн-технологий.

За счет внедрения блокчейн-технологии можно не только сократить нецелевые материальные, технические, финансовые затраты, но и снизить вредное воздействие каждого строительного технологического процесса на окружающую среду. Особенно эффективно применение БПЛА и технологии блокчейн для сложных в организационно-технологическом выполнении объектов.

Предлагаемая принципиально новая технология монтажа опорных элементов уникальных зданий из отдельных модулей, отличается от традиционных технологий не только высокой монтажной, но и транспортной технологичностью.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Guo H., Li H., Skitmore M. Life-Cycle Management of Construction Projects Based on Virtual Prototyping Technology // Journal of Management in Engineering. 2010. Vol. 26. Iss. 1. DOI: 10.1061/(ASCE)0742-597X(2010)26:1(41).
2. Азаров В. Н., Бурлаченко О. В., Бурлаченко А. О., Азарова М. Д. Управление жизненным циклом объекта капитального строительства с минимизацией загрязнения атмосферного воздуха // Вестник МГСУ. 2024. Т. 19. № 3. С. 456—468. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.3.456-468.
3. Азаров В. Н., Бурлаченко О. В., Бурлаченко А. О., Елфимов К. А. Методология принятия оптимальных решений по управлению жизненным циклом объекта капитального строительства с учетом критерия пылевого загрязнения атмосферного воздуха // Экономика строительства и природопользования. 2023. № 3(88). С. 48—54.
4. Возможности цифровых технологий для каждого этапа жизненного цикла строительной системы / С. Г. Абрамян, О. В. Бурлаченко, О. В. Оганесян, А. О. Бурлаченко, В. В. Плешаков // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2022. Вып. 2(87). С. 317—325.
5. BIM-технологии в строительстве: функции, развитие и опыт применения / С. Г. Абрамян, О. В. Бурлаченко, О. В. Оганесян, А. О. Бурлаченко, А. Р. Шаюнусов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2021. Вып. 1(82). С. 323—332.

6. Бурлаченко О. В., Елфимов К. А., Бунин Д. В. Информационное обеспечение управления жизненным циклом строительных объектов в концепции BIM // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2018. Вып. 54(73). С. 217—227.
7. Погорелов В. А. Перспективы применения беспилотных летательных аппаратов в строительстве // Инженерный вестник Дона. 2016. № 1. 7 с. URL: http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_61_Pogorelov.pdf_d7b40d7df9.pdf.
8. Оника С. Г., Куликовская О. Е., Атаманенко Ю. Ю. Использование беспилотных летательных аппаратов для решения инженерных задач маркшейдерии и геодезии // Горная механика и машиностроение. 2018. № 2. С. 15—21.
9. Лосев Д. М. Цифровые технологии дистанционного управления и контроля при производстве строительных работ // Вестник НИЦ «Строительство». 2024. Т. 41. № 2. С. 148—157. DOI: 10.37538/2224-9494-2024-2(41)-148-157.
10. 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>.
11. 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.
12. Кавелин А. С., Нуриев В. Э., Тютина А. Д. Использование квадрокоптеров для обследования объектов // Инженерный вестник Дона. 2019. № 7. 7 с. URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_60_7y2019_Kavelin.pdf_5267dca612.pdf.
13. Абрамян С. Г., Бурлаченко А. О., Кумов А. В. Перспектива и опыт применения беспилотных летательных аппаратов в строительстве // Актуальные проблемы и перспективы развития строительного комплекса : сб. ст. междунар. науч.-практ. конф. 2020. Ч. 2. С. 10—15.
14. Mohsan S. A. H., Othman N. Q. H., Yanlong L., Alsharif M. H. Unmanned aerial vehicles (UAVs): practical aspects, applications, open challenges, security issues, and future trends // Intelligent Service Robotics. 2023. Vol. 16. Pp. 109—137. DOI: 10.1007/s11370-022-00452-4.
15. Андреев А. Искусственный интеллект в строительстве // URL: <https://bim-info.ru/articles/iskusstvennyy-intellekt-v-stroitelstve/?ysclid=m3y7go4y2591043031>.
16. Kassem M. Blockchain in the built environment and construction industry: A systematic review, conceptual models and practical use cases // ResearchGate. 2019.
17. Краснов И. Д. Выполнение контракта в строительстве с помощью интеграции технологий блокчейн // Integral. 2020. № 3. С. 289—298.
18. Liu Z., Chi Z., Osmani M., Demian P. Blockchain and Building Information Management (BIM) for Sustainable Building Development within the Context of Smart Cities // Sustainability. 2021. Vol. 13. Iss. 4. DOI: 10.3390/su13042090.

© Бурлаченко О. В., Абрамян С. Г., Фоменко Н. А., Бурлаченко А. О., 2025

Поступила в редакцию
в декабре 2024 г.

Ссылка для цитирования:

Бурлаченко О. В., Абрамян С. Г., [Фоменко Н. А.](#), Бурлаченко А. О. Технологические решения по применению беспилотных летательных аппаратов в управлении жизненным циклом объектов строительства // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2025. Вып. 1(98). С. 197—204. DOI: 10.35211/18154360_2025_1_197.

Об авторах:

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; ORCID: 0000-0003-1477-2709; burlachenkoov@vlgasu.ru

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; ORCID: 0000-0002-3938-1096; Scopus: 6508040964, Researcher ID: C-7099-2016

Фоменко Николай Александрович — канд. техн. наук, доц., доц. каф. технологий строительного производства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

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

Oleg V. Burlachenko, Susanna G. Abramyan, Nikolay A. Fomenko, Aleksander O. Burlachenko

Volgograd State Technical University

TECHNOLOGICAL SOLUTIONS FOR THE USE OF UNMANNED AERIAL VEHICLES IN THE MANAGEMENT OF THE CONSTRUCTION OBJECTS LIFE CYCLE

The use of information modeling technologies in construction involves the use of technical means that allow you to form and maintain an electronic model of a construction object throughout its life cycle. One of the most effective devices types for these purposes is unmanned aerial vehicles (UAVs). Recently, they have been widely used in the construction industry for various purposes. However, to date, there is no methodology that allows, on the basis of UAVs, to form a system that allows managing the life cycle of a construction object into a single technological process. The research conducted by the authors of the article makes it possible to implement a systematic approach to the use of UAVs for life cycle management based on blockchain technologies.

Key words: construction object, unmanned aerial vehicles, life cycle, blockchain technologies.

For citation:

Burlachenko O. V., Abramyan S. G., **Fomenko N. A.**, Burlachenko A. O. [Technological solutions for the use of unmanned aerial vehicles in the management of the construction objects 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. 1, pp. 197—204. DOI: 10.35211/18154360_2025_1_197.

About authors:

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

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

Nikolay A. Fomenko — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation

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