

УДК 69.05

[https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-2\(41\)-148-157](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-2(41)-148-157)

EDN: ZCOBGS

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ И КОНТРОЛЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ

Д.М. ЛОСЕВ

Тюменский индустриальный университет, ул. Луначарского, д. 2, г. Тюмень, 625001, Российская Федерация

Аннотация

Введение. Строительная отрасль в Российской Федерации имеет хороший потенциал к цифровизации. Несмотря на многие неблагоприятные факторы, значительное число наиболее прогрессивных строительных компаний внедряет в свою работу новые технологии, видя их высокий потенциал и эффективность. Поэтому начавшаяся сейчас на государственном уровне работа по «легализации» технологического информационного моделирования имеет большие шансы на успех. Цифровая трансформация является необходимым шагом для устойчивого развития экономики и строительной отрасли.

Цель: выявить преимущества применения современных цифровых технологий в строительстве с целью их дальнейшего внедрения в строительный процесс для автоматизации рутинных процессов и минимизации ошибок.

Материалы и методы. Метаанализ 18 отечественных и зарубежных исследований, имеющих статус публикаций ВАК или SCOPUS, о применении цифровых технологий в строительстве и оценка эффективности изученных технологий.

Результаты. Преимущества беспилотных летательных аппаратов и дронов для картографирования безупречны, как и сложности их использовании в городской среде, особенно в центре городов-миллионников. Основные преимущества использования дрон-технологий в строительстве таковы: получение детализированных данных со строительных площадок и их сравнение с проектной документацией; объективный мониторинг динамики строительства; сокращение количества нарушений правил охраны труда и техники безопасности; улучшение качества мониторинга за объектом, круглосуточный доступ к труднодоступным зонам; оценка объемов выполненных работ; оперативное реагирование на отклонения от проектной документации и своевременное исправление недочетов; совместная работа с BIM (Building Information Model) и цифровой моделью текущего объекта с возможностью экспорта в удобные программы САПР. Основные недостатки использования дрон-технологий в строительстве: максимальное сопротивление ветру 15 м/с; во время дождя или снегопада полученные данные могут быть некорректными; невозможность съемки внутри строящегося объекта именно в автоматическом режиме.

Выводы. Крановая камера Crane Camera Pix4D – самое безопасное решение на сегодня для получения аэрофотоснимков с последующей конвертацией в 2D и 3D.

Ключевые слова: дрон-технологии, цифровые технологии, информационное моделирование, контроль строительства, цифровизация строительства

Для цитирования: Лосев Д.М. Цифровые технологии дистанционного управления и контроля при производстве строительных работ. *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2024;41(2):148–157. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-2\(41\)-148-157](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-2(41)-148-157)

Вклад авторов

Автор берет на себя ответственность за все аспекты работы над статьей.

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 20.03.2024

Поступила после рецензирования 23.04.2024

Принята к публикации 02.05.2024

DIGITAL TECHNOLOGIES FOR REMOTE CONTROL AND MONITORING OF CONSTRUCTION WORKS

D.M. LOSEV

Industrial University of Tyumen, Lunacharskogo str., 2, Tyumen, 625001, Russian Federation

Abstract

Introduction. The construction industry in the Russian Federation has good potential for digitalization. In spite of numerous unfavorable factors, a significant number of the most progressive construction companies adopt new technologies in their work, recognizing their high potential and effectiveness. Therefore, the legalization of information modeling technologies, which has been initiated at the governmental level, has a great chance of success. Digital transformation constitutes a necessary step for the sustainable development of the economy and construction industry.

Aim. To identify the advantages of using modern digital technologies in construction in order to further implement them in construction projects for automating routine processes and minimizing errors.

Materials and methods. The study provides a meta-analysis of 18 domestic and foreign studies (VAK or SCOPUS publications) on the application of digital technologies in construction, as well as an effectiveness assessment of the studied technologies.

Results. The advantages of unmanned aerial vehicles and mapping drones are undeniable, as well as the difficulties in using them in urban environments, especially in the centers of million cities. The main advantages of using drone technologies in construction include reception of detailed data from construction sites and their comparison with design documentation; objective monitoring of construction dynamics; a reduction in the number of occupational health and safety violations; improved quality of site monitoring and round-the-clock access to hard-to-reach areas; assessment of the scope of work performed; prompt response to deviations from design documentation and timely corrective actions; work with the BIM (Building Information Model) and digital model of the current object with the possibility of export to convenient CAD programs. The main disadvantages of using drone technology in construction are as follows: the maximum wind resistance of 15 m/s; the data obtained during rain or snowfall may be incorrect; the impossibility of automatic imaging within the project under construction.

Conclusions. The Pix4D Crane Camera is currently the safest solution for capturing aerial images, with subsequent conversion to 2D and 3D.

Keywords: drone technologies, digital technologies, information modeling, construction monitoring, construction digitalization

For citation: Losev D.M. Digital technologies for remote control and monitoring of construction works. *Vestnik NIC Stroitel'stvo = Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2024;41(2):148–157. (In Russian). [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-2\(41\)-148-157](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-2(41)-148-157)

Author contribution statement

The author takes responsibility for all the aspects of the article.

Funding

No funding support was obtained for the research.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.

Received 20.03.2024

Revised 23.04.2024

Accepted 02.05.2024

Введение

Во всем мире строительная отрасль занимает около 8–10% от валового внутреннего продукта стран, обеспечивает занятость трудового населения и выступает связующим звеном между различными отраслями промышленности и экономики. Однако доля процессов с применением цифровых технологий в строительной отрасли меньше, чем в других сферах народного хозяйства, таких как торговля, автомобилестроение, банковский сектор и государственное управление.

В Российской Федерации на государственном уровне принято решение об уже давно назревшем переходе на стандарты цифровизации отрасли, которые доказали свою эффективность во всем мире. Говоря о потенциале и актуальности внедрения цифровых решений при проектировании, строительстве и эксплуатации мостов, необходимо учитывать, что сегодня практически у всех крупных структур, занятых в данных сферах, идет активная работа по внедрению технологии информационного моделирования и контроля. Это позволит избежать множества недостатков при отдельных процессах проектирования, строительства и эксплуатации мостовых сооружений в рамках проектов автомобильных дорог.

Целью данной работы является изучение применения современных цифровых технологий на строительных площадках.

Беспилотные летательные аппараты в строительстве

Для увеличения возможной прибыли стоящие во главе строительные компании внедряют в строительное производство новейшие цифровые технологии, что, в свою очередь, позволяет повысить качество и уменьшить финансовые расходы [1].

Внедрение в процессы строительства беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) – дронов – является одной из таких инноваций. Дрон по своей сути является летающей камерой с возможностью установки на него различного оборудования (сканер, тепловизор, газоанализатор, лидар) для выполнения необходимых задач. Управление занимается оператор с помощью пульта либо автономно по заранее составленному плану полета [2].

Развитие БПЛА происходит стремительными темпами, и сам масштаб задач, связанных со строительством, способствует этому. Основной задачей, в которой задействованы БПЛА, является топографическая съемка. Перед началом строительства необходимо собрать необходимую информацию об участке территории, на которой планируется возведение объекта.

Полученная информация позволит провести грамотный анализ и принять взвешенное решение по вопросам планирования строительной площадки, облегчит проектировщикам выполнение своих задач [3, 4].

В последние годы для работы по созданию топографической карты все чаще применяются дроны. При этом возрастает качество выполняемой работы в сравнении с традиционными методами.

Преимущества использования БПЛА:

– Уменьшение длительности, снижение затрат на процесс полевых работ. При применении классических наземных методов на сбор необходимого объема информации с большой площади для получения результата могут потребоваться недели [5].

– Отсутствие логистических сбоев.

– Точность измерений. Камера выполняет съемку в разрешении 4К, вследствие чего из серии снимков, с разных ракурсов, с последующей обработкой в программных комплексах, получается создать детализированную 3D-модель рассматриваемого участка земли и находящихся на нем зданий и сооружений [6].

– Работа на труднодоступных территориях. Поскольку управление БПЛА происходит дистанционно, нахождение специалистов, ведущих геодезическую съемку, непосредственно в исследуемом районе не требуется [7].

– Городское планирование. За прошедшие годы разработки в области совершенствования БПЛА расширили область применения в городском планировании. Дроны позволяют изучать имеющиеся экологические и социальные условия на объекте исследования [8]. Позволяют анализировать полученные данные о городском трафике с помощью нейросетей, изучать трансформирующуюся инфраструктуру города. Дроны облегчают возможность исследования деградаций в окружающей среде, гидрологических изменениях и позволяют сравнивать собранную информацию за период отслеживания [9].

– Повышение безопасности на строительных площадках. Задача работодателей, в частности строительных компаний, обеспечить безопасность и уменьшить производственный травматизм на рабочем месте. Применение БПЛА обеспечивает выполнение этой задачи, например дроны могут отслеживать наличие на рабочих касок, устройство строительных лесов.

– Инспекция кровли и техническое обслуживание зданий. Одно из применений БПЛА – это инспекция и контроль зданий и сооружений, позволяющие без риска и в кратчайшие сроки осмотреть труднодоступные места, например осмотр кровли или труднодоступных конструкций под пролетом моста или путепровода [10].

В отличие от традиционных методов контроля, требующих финансово затратного, травмоопасного и трудоемкого инструментария, применение беспилотных летательных аппаратов компаниями, занятыми процессами строительства, позволяет сократить время инспекций, увеличить эффективность, безопасность и сократить финансовые издержки, возникающие в процессе строительства [11]. Если для сбора информации и проведения инспекций требуется беспилотный летательный аппарат и используемое для обработки полученной информации программное обеспечение, то его можно взять в аренду. Такой вариант оптимален для частных лиц и может быть рассмотрен, например, при строительстве частного дома или покупке участка земли. В свою очередь, строительным организациям или негасовым компаниям, обслуживающим трубопроводы, для проведения систематических проверок необходимо иметь БПЛА в собственности так же, как и сотрудников в штате,

обученных работе с ними, что позволит избежать лишних затрат на постоянную аренду и техобслуживание [12].

При использовании БПЛА для обнаружения повреждений в конструкциях, таких как трещины, протечки, работы проходят безопаснее и точнее, что, в свою очередь, увеличивает скорость оценки и принятия решения в отношении проблемы, а также уменьшает материальные издержки. В сравнении с традиционными методами инспекции сэкономленное время исчисляется сотнями рабочих человеко-часов [9].

Также дроны можно применять и для инспекции солнечных панелей, так как камера имеет высокое разрешение записи, что позволит в полной мере оценить их состояние и принять решение о необходимости техобслуживания.

Одно из актуальных направлений развития дрон-технологий – это тепловизионная диагностика. При установке на дрон специального модуля, а именно тепловизионной камеры, открываются новые возможности для эффективного контроля за трубопроводами, крышами, электрическими сетями. Камера позволяет зафиксировать инфракрасное излучение, излучаемое при нарушении изоляции, что, в свою очередь, ведет к перегреву и утечке.

Высокое разрешение съемки позволяет обнаруживать область с тепловыми сигнатурами, которые глаз человека распознать не может. Дроны с установленными на них тепловизионными камерами справляются с поиском места нарушения изоляции быстрее и эффективнее, чем при традиционном методе, в котором необходимо вручную просканировать всю потенциальную область и только в доступных для прохождения местах. Уменьшение времени инспекции снижает затраты, а также повышает качество за счет получения снимков высокого разрешения [13].

Неотъемлемой частью любого инвестиционного объекта является его реклама и маркетинг, презентация, демонстрация от начала строительства до ввода в эксплуатацию. Дрон позволяет получать фотографии с разных ракурсов, а также может создавать высококачественные панорамные снимки.

Принцип работы беспилотных летательных аппаратов для решения задач контроля строительства на примере топографической съемки:

- сканирование строительной площадки для создания трехмерного изображения с высоким разрешением;
- специализированная цифровая платформа анализирует полученную с помощью БПЛА топографическую съемку и сравнивает ее с проектной документацией;
- проектировщики, менеджеры проекта, мастера, прорабы, инженеры, используя специализированную цифровую платформу, получают необходимую информацию для решения поставленных индивидуальных задач в общем процессе строительного производства.

NIVE – первая компания, которая спроектировала и запустила производство серийных дронопортов на российском рынке. Дронопорты уже зарекомендовали себя на объектах строительства Сколково и Иннополиса.

В 2020 году данный проект был представлен на международной выставке GITEX в ОАЭ и даже с минимальным постпродакшеном собрал вокруг себя большой интерес среди инвесторов в строительной отрасли и нефтяной промышленности.

NIVE – это комплексное автоматизированное решение по аэромониторингу и «умному» анализу данных. В режиме реального времени, с применением технологии искусственного

интеллекта, HIVE автоматизирует работу критически важных индустрий, исключая человеческий фактор и затраты на постобработку данных, полученных с воздуха.

Необходимая регулярность вылета дрона назначается застройщиком или заказчиком из установленного на отдельном участке, близком к строительной площадке, дронпорта. Вылеты происходят в автоматическом или ручном режиме по заранее заданному маршруту. Тем самым дроны осуществляют контроль за производством строительных работ, следят за выполнением требований техники безопасности, информируют застройщика и заказчика о ситуации на площадке в режиме реального времени. Параллельно с камер дрона ведется видеозапись полета [14].

В отличие от зарубежных аналогов отечественный производитель имеет ряд положительных отличий, а именно:

- автоматическая замена аккумулятора, благодаря сменным блокам подзарядки станция с дроном работает 24/7;
- дронпорт работает в любых климатических районах;
- в станцию встроены охраняемый модуль и климат-контроль;
- площадь охвата одного дронпорта 100 км².

Управление и контроль за работой беспилотников происходит на разработанной веб-платформе. Для создания полетного задания необходимо выбрать нужную станцию на интересующей строительной площадке и построить миссию, отражая в ней все необходимые параметры (высоту, скорость, точки интереса), а также действия (запись, панорама, поворот камеры, наклон камеры, зум, съемка по времени, съемка по расстоянию). При необходимости можно наблюдать за ходом миссии online. После завершения миссии происходит автоматическая отправка полученных данных на облачный сервис для дальнейшей работы.

К дополнительным возможностям можно отнести круглосуточный мониторинг с камер видеонаблюдения на дронпорте, две на улице и две внутри, отображение погодных условий в реальном времени со встроенной в дронпорт метеостанцией, передачу информации о состоянии аккумуляторов во время полета, а также возможность перехвата в ручное управление, приостановление миссии и принудительное возвращение дрона на станцию [15].

Возможности дронов от HIVE при контроле за строительством:

- фотографический план местности и геодезическая привязка в необходимой системе координат;
- вычисление объемов земляных работ, сыпучих материалов;
- оценка выполненных работ по площади и анализ отклонений от проекта;
- автоматическое распознавание факта ношения или отсутствия рабочих касок и средств индивидуальной защиты;
- создание 3D-модели объекта с геопривязкой к необходимым координатам для последующих вычислений и работы;
- охрана территории.

Регулярные полеты дронов гарантируют защиту от проникновения на территорию посторонних лиц. Современная система дрона по обнаружению препятствий позволяет беспилотнику легко маневрировать среди оборудования.

Применение технологии Crane Camera на строительной площадке

Crane Camera – это усовершенствованная система камер, устанавливаемая на стрелу башенного крана и подключенная к программному обеспечению фотограмметрии от компании Pix4Dbim.

Всепогодная система камер работает от системы «жизнедеятельности» крана и разработана для того, чтобы выдерживать вибрации крана, одновременно обеспечивая высокое качество изображения при движении крана. После установки камера будет автоматически делать фотографии объекта каждый день в одно и то же время и загружать результаты в облако Pix4Dbim. Все необходимые настройки выполняются удаленно, через облачный сервис, и нет необходимости снимать камеру с крана. В свою очередь, оператор крана не должен делать ничего, кроме своей обычной работы. Каждый день система автоматически собирает изображения и передает их в облако Pix4Dbim через Wi-Fi или соединение 4G. Затем изображения автоматически обрабатываются и преобразуются в 2D-масштабированные и привязанные к географическим координатам ортофотопланы, 3D-облака точек, 3D-модели сетки и 2D-карты рельефа.

Возможности Crane Camera:

- Облако Pix4Dbim преобразует изображения в ортофотопланы и 3D-модели, которые можно измерять, анализировать и сравнивать с чертежами САПР.

- Результаты можно отправлять команде, работающей над проектом, одним нажатием кнопки, также есть возможность экспортировать в стороннее программное обеспечение BIM или CAD для дальнейшего анализа.

- С Crane Camera нет необходимости заходить на сайт, чтобы собирать или анализировать результаты. Никакого вмешательства человека не требуется, поэтому нет необходимости в специальной подготовке. Как только система будет установлена и закреплена на крановой стреле, результаты будут получены автоматически.

- Значительная экономия финансов и времени. В любое время можно посмотреть, что происходило на строительной площадке в определенный день.

Преимущества Crane Camera Pix4D перед дронами:

Если у дрона нет возможности автоматической работы и для его работы необходим оператор, то Crane Camera работает в любую погоду, ей не важна температура, ветер, она не может разрядиться или попасть в аварию.

Преимущества Crane Camera Pix4D перед веб-камерами:

- Благодаря Crane Camera качество и четкость изображений значительно выше, чем у веб-камеры, значительно различаются выходные данные по полноте предоставляемой информации.

- Программное обеспечение Pix4D использует расширенный анализ изображений и фотограмметрические алгоритмы для обработки изображений, что приводит к созданию 2D-мозаик изображений, которые являются фотограмметрическими. Будучи безразмерными и масштабированными, эти 2D-ортофотопланы могут использоваться для измерения расстояний и поверхностей. Более того, их можно сравнить с чертежами CAD/BIM, используемыми на объекте.

- Благодаря GPS, включенному в систему камер, изображения имеют точную географическую привязку в реальных координатах. Это означает, что результаты полностью совместимы с системами BIM, CAD и GIS.

Планирование и мониторинг строительной площадки в тесной городской застройке является сложной задачей. Ограниченное пространство требует более тщательного планирования и отчетности. Эффективно координировать поставки материалов и сводить к минимуму дублирующие поставки, в полной мере использовать все имеющиеся квадратные метры, в том числе и в случае хранения материалов на строительной площадке, возможно осуществить с помощью Crane Camera Pix4D [16, 17].

Заключение

В Минстрое ожидают, что применение технологий информационного моделирования только в процессе проектирования и строительства позволит достичь экономии до 20 % средств на возведение объекта. Кроме того, использование информационных технологий должно снизить административные барьеры и сократить сроки возведения объекта.

Список литературы

1. Aicardi I., Chiabrando F., Grasso N., Lingua A.M., Noardo F., Spanò A. UAV Photogrammetry with Oblique Images: First Analysis on Data Acquisition and Processing. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*. 2016;XLI-B1:835–842. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-xli-b1-835-2016>
2. Носков И.В., Носков К.И., Тиненская С.В., Ананьев С.А. Дрон-технологии в строительстве-современные решения и возможности. *Вестник евразийской науки*. 2020;12(5):27. Режим доступа: <https://esj.today/PDF/37SAVN520.pdf>
3. Yang C.H., Wen M.C., Chen Y.C., Kang S.C. An Optimized Unmanned Aerial System for Bridge Inspection. In: *Proceedings of the 32nd ISARC, Oulu, Finland*. 2015; pp. 625–630. <https://doi.org/10.22260/isarc2015/0084>
4. Кудасова А.С., Тютина А.Д., Сокольникова Э.В. Применение беспилотных летательных аппаратов в строительстве. *Инженерный вестник Дона*. 2021;(8):31–38.
5. Ellenberg A., Branco L., Krick A., Bartoli I., Kontsos A. Use of Unmanned Aerial Vehicle for Quantitative Infrastructure Evaluation. *Journal of Infrastructure Systems*. 2014;{21}:21–27. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)is.1943-555x.0000246](https://doi.org/10.1061/(asce)is.1943-555x.0000246)
6. Ham Y., Han K.K., Lin J.J., Golparvar-Fard M. Visual monitoring of civil infrastructure systems via camera-equipped Unmanned Aerial Vehicles (UAVs): a review of related works. *Visualization in Engineering*. 2016;{11}:289–296. <https://doi.org/10.1186/s40327-015-0029-z>
7. Бердников А.Д., Коркишко А.Н. Применение беспилотных летательных аппаратов при строительстве и обустройстве нефтегазовых объектов. В: Погорелова С.Д. (ред.). *Проблемы инженерного и социально-экономического образования в техническом вузе в условиях модернизации высшего образования: Материалы XXII Междунар. науч.-практ. конф., Тюмень, 27–28 апреля 2023 г. Т. 2*. Тюмень: Тюменский индустриальный университет; 2023, с. 21–23.
8. Daponte P., De Vito L., Mazzilli G., Picariello F., Rapuano S. A height measurement uncertainty model for archaeological surveys by aerial photogrammetry. *Measurement*. 2017;{98}:192–198. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2016.11.033>
9. Котова Т.В. О вопросах применения БПЛА в строительстве и благоустройстве территории. В: *Исследования изменений атмосферы, климата и динамики ландшафтов: материалы V Кавказского Международного экологического форума, Грозный, 20–21 декабря 2021 г. Грозный: Чеченский государственный университет им. Ахмата Абдулхамидовича Кадырова; 2021, с. 158–160*. <https://doi.org/10.36684/53-2021-1-158-160>
10. Котова Т.В. Важные применения дронов и БПЛА в мониторинге строительства. В: *Развитие науки в XXI веке: сб. науч. тр. по материалам I Междунар. междисциплинарной конф., Москва, 22 марта 2022 г. Москва: Научно-издательский центр Толмачево; 2022, с. 5–8*.
11. Мустафинов К.Д. БПЛА в строительстве. В: *Наука и инновации – современные концепции: сб. науч. ст. по итогам работы Междунар. науч. форума, Москва, 27 марта 2020 г. Т. 1. Москва: Инфинити; 2020, с. 83–87*.

12. *Лаборов В.А., Гамаюнова О.С.* Робототехника и bim-технологии в строительстве. Инженерные исследования. 2021;(5):15–22.
13. *Perritt H.H. Jr., Sprague E.O.* Domesticating Drones: The Technology, Law, and Economics of Unmanned Aircraft. London: Routledge; 2016. <https://doi.org/10.4324/9781315577999>
14. HIVE. Autonomous drone solutions [internet]. Available at: <https://hive.aero/>.
15. *Мураховский М.В., Ильина Л.А.* Перспективы рынка фуднет для продвижения передовых стартапов по производству инновационных продуктов питания. В: Обеспечение научно-технологического суверенитета АПК: роль государства, науки и бизнеса: сб. материалов Междунар. науч.-практ. конф. Москва: ВИАПИ им. А.А. Никонова; 2023, с. 22–25.
16. *Roberts D., Bretl T., Golparvar-Fard M.* Detecting and classifying cranes using camera-equipped UAVs for monitoring crane-related safety hazards. In: Computing in Civil Engineering 2017. Proceedings; 2017, pp. 442–449. <https://doi.org/10.1061/9780784480847.055>
17. *Sutjaritvorakul T., Vierling A., Berns K.* Data-driven worker detection from load-view crane camera. In: Proceedings of the 37th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC). IAARC Publications; 2020, pp. 864–871. <https://doi.org/10.22260/isarc2020/0119>
18. *Абрамян С.Г., Бурлаченко А.О., Кумов А.В.* Перспектива и опыт применения беспилотных летательных аппаратов в строительстве. В: Актуальные проблемы и перспективы развития строительного комплекса: сб. тр. Междунар. науч.-практ. конф., Волгоград, 1–2 декабря 2020 г. Т. 2. Волгоград: Волгоградский государственный технический университет; 2020, с. 10–14.

References

1. *Aicardi I., Chiabrando F., Grasso N., Lingua A.M., Noardo F., Spanò A.* UAV Photogrammetry with Oblique Images: First Analysis on Data Acquisition and Processing. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences. 2016;XLI-B1:835–842. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-xli-b1-835-2016>
2. *Noskov I.V., Noskov K.I., Tinenskaia S.V., Ananov S.A.* Dron-technologies in construction – modern solutions and opportunities. The Eurasian Scientific Journal. 2020;12(5). Available at: <https://esj.today/PDF/37SAVN520.pdf>. (In Russian).
3. *Yang C.H., Wen M.C., Chen Y.C., Kang S.C.* An Optimized Unmanned Aerial System for Bridge Inspection. In: Proceedings of the 32nd ISARC, Oulu, Finland. 2015; pp. 625–630. <https://doi.org/10.22260/isarc2015/0084>
4. *Kudasova A.S., Tyutina A.D., Sokolnikova E.V.* Application of unmanned aerial vehicles in construction. Engineering journal of Don. 2021;(8):31–38. (In Russian).
5. *Ellenberg A., Branco L., Krick A., Bartoli I., Kotsos A.* Use of Unmanned Aerial Vehicle for Quantitative Infrastructure Evaluation. Journal of Infrastructure Systems. 2014;(21):21–27. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)is.1943-555x.0000246](https://doi.org/10.1061/(asce)is.1943-555x.0000246)
6. *Ham Y., Han K.K., Lin J.J., Golparvar-Fard M.* Visual monitoring of civil infrastructure systems via camera-equipped Unmanned Aerial Vehicles (UAVs): a review of related works. Visualization in Engineering. 2016;(1):289–296. <https://doi.org/10.1186/s40327-015-0029-z>
7. *Berdnikov A.D., Korkishko A.N.* The use of unmanned aerial vehicles in the construction and arrangement of oil and gas facilities. In: Pogorelova S.D. (ed.). Problems of engineering and socio-economic education in a technical university in the context of modernization of higher education: Materials of the XXII International Scientific and Practical Conference, Tyumen, April 27–28, 2023. Vol. 2. Tyumen: Industrial University of Tyumen; 2023, pp. 21–23. (In Russian).
8. *Daponte P., De Vito L., Mazzilli G., Picariello F., Rapuano S.* A height measurement uncertainty model for archaeological surveys by aerial photogrammetry. Measurement. 2017;(98):192–198. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2016.11.033>
9. *Kotova T.V.* On the use of UAVs in construction and landscaping. In: Studies of changes in the atmosphere, climate and landscape dynamics: proceedings of the V Caucasian International Environmental Forum, Grozny, December 20–21, 2021. Grozny: Kadyrov Chechen State University; 2021, pp. 158–160. (In Russian). <https://doi.org/10.36684/53-2021-1-158-160>

10. *Kotova T.V.* Important applications of drones and UAVs in construction monitoring. In: The development of science in the XXI century: collection of scientific papers based on the materials of the I International Interdisciplinary Conference, Moscow, March 22, 2022. Moscow: Scientific Publishing Center Tolmachevo; 2022, pp. 5–8. (In Russian).
11. *Mustafinov K.D.* UAVs in construction. In: Science and innovation – modern concepts: collection of scientific articles based on the results of the work of the International Scientific Forum, Moscow, March 27, 2020. Vol. 1. Moscow: Infiniti Publ.; 2020, pp. 83–87. (In Russian).
12. *Laborov V.A., Gamayunova O.S.* Robotics and BIM technologies in construction. *Inzhenernyye issledovaniya = Engineering Research*. 2021;(5):15–22. (In Russian).
13. *Perritt H.H. Jr., Sprague E.O.* Domesticating Drones: The Technology, Law, and Economics of Unmanned Aircraft. London: Routledge; 2016. <https://doi.org/10.4324/9781315577999>
14. HIVE. Autonomous drone solutions [internet]. Available at: <https://hive.aero/>.
15. *Murakhovskiy M.V., Ilyina L.A.* Prospects of the foodnet market for the promotion of advanced startups for the production of innovative food products. In: Ensuring the scientific and technological sovereignty of the agro-industrial complex: the role of the state, science and business: collection of materials of the International Scientific and Practical Conference. Moscow: RIAPI named after A.A. Nikonov; 2023, pp. 22–25. (In Russian).
16. *Roberts D., Bretl T., Golparvar-Fard M.* Detecting and classifying cranes using camera-equipped UAVs for monitoring crane-related safety hazards. In: Computing in Civil Engineering 2017. Proceedings; 2017, pp. 442–449. <https://doi.org/10.1061/9780784480847.055>
17. *Sutjaritvorakul T., Vierling A., Berns K.* Data-driven worker detection from load-view crane camera. In: Proceedings of the 37th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC). IAARC Publications; 2020, pp. 864–871. <https://doi.org/10.22260/isarc2020/0119>
18. *Abrahamyan S.G., Burlachenko A.O., Kumov A.V.* Perspective and experience of using unmanned aerial vehicles in construction In: Actual problems and prospects of development of the construction complex: proceedings of the International Scientific and Practical Conference, Volgograd, 1–2 December 2020. Vol. 2. Volgograd: Volgograd State Technical University; 2020, pp. 10–14. (In Russian).

Информация об авторе / Information about the author

Данила Михайлович Лосев, студент-магистрант по направлению «Цифровое строительство», Тюменский индустриальный университет, Тюмень

e-mail: losev_21@mail.ru

Danila M. Losev, Master's degree student, "Digital Construction", Industrial University of Tyumen, Tyumen

e-mail: losev_21@mail.ru