

УДК 338.27

ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ МОНИТОРИНГА СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ

Д.В. Ковалева, В.А. Федоров

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, Красноярск, email: Kovalevad_2005@mail.ru, vfedorov2@gmail.com

Аннотация. В условиях цифровой трансформации строительной отрасли беспилотные летательные аппараты (БПЛА) становятся перспективным инструментом для повышения эффективности мониторинга объектов. Целью исследования является экономический анализ целесообразности внедрения беспилотных летательных аппаратов и оценка экономической эффективности соответствующих инвестиций. Методология основана на финансовом моделировании инвестиционного проекта с пятилетним горизонтом планирования и дисконтировании денежных потоков с использованием ставки 42%, определенной кумулятивным методом. Результаты расчета ключевых показателей эффективности демонстрируют высокую привлекательность проекта. Полученные результаты подтверждают, что потенциальная операционная экономия от использования БПЛА (40–60%) не только окупает все затраты на внедрение, но и создает значительную добавленную стоимость, что обосновывает экономическую целесообразность данной инвестиции для повышения рентабельности строительных компаний, а также для повышения конкурентоспособности.

Ключевые слова: экономический анализ, беспилотные летательные аппараты (БПЛА), мониторинг строительных объектов, инвестиционный проект, чистый дисконтированный доход (NPV), внутренняя норма доходности (IRR), ставка дисконтирования, финансовая модель, окупаемость.

ECONOMIC ANALYSIS OF THE USE OF UNMANNED AERIAL VEHICLES FOR MONITORING CONSTRUCTION SITES

D.V. Kovaleva, V.A. Fedorov

Siberian State University of Science and Technology named after Academician M.F. Reshetnev, Krasnoyarsk, email: Kovalevad_2005@mail.ru, vfedorov2@gmail.com

Abstract. In the context of the digital transformation of the construction industry, unmanned aerial vehicles (UAVs) are becoming a promising tool for improving the efficiency of object monitoring. The purpose of this study is to provide an economic analysis of the feasibility of implementing UAVs and to assess the economic effectiveness of the corresponding investments. The methodology is based on financial modeling of an investment project with a five-year planning horizon and the discounting of cash flows using a 42% interest rate determined by the cumulative method. The results of calculating key performance indicators demonstrate the high attractiveness of the project. The results obtained confirm that the potential operational savings from the use of UAVs (40-60%) not only cover all the implementation costs, but also create significant added value, which justifies the economic feasibility of this investment for increasing the profitability of construction companies and improving their competitiveness.

Keywords: economic analysis, unmanned aerial vehicles (UAVs), construction site monitoring, investment project, net present value (NPV), internal rate of return (IRR), discount rate, financial model, payback period.

Дата поступления статьи в редакцию: 05.12.2025

Дата принятия статьи в печать: 15.01.2026

Введение

Современное строительство является сложным и многогранным процессом, требующим высокого уровня технологического оснащения и непрерывного контроля качества работ. В условиях динамичного рынка с ужесточающимися требованиями к срокам и качеству проектов традиционные методы мониторинга строительных объектов, такие как визуальный осмотр, геодезические измерения и аэрофотосъемка с пилотируемых аппаратов, демонстрируют свою недостаточную эффективность. Эти методы исторически требовали привлечения большого числа специалистов – геодезистов, инженеров, проектировщиков – что занимало значительное время и неизбежно сопровождалось ошибками и задержками из-за человеческого фактора. Кроме того, обследование площадок, особенно на высоте или в труднодоступных зонах, связано с высокими рисками для персонала и необходимостью использования специализированной техники, что ведет к существенному росту непроизводственных издержек.

Актуальность темы настоящего исследования напрямую связана с растущим спросом на цифровизацию строительной отрасли и объективной необходимостью оптимизации всех видов ресурсов. В этом контексте одним из наиболее перспективных инструментов становятся беспилотные летательные аппараты (БПЛА). Их применение открывает новые возможности для повышения эффективности контроля, безопасности работ, снижения затрат времени и ресурсов, а также для получения высокоточных данных о состоянии строительных площадок. БПЛА позволяют оперативно получать актуальную информацию с высоты, быстро проводить инспекции, выявлять проблемы на ранних этапах и предотвращать срывы сроков. При этом технология минимизирует риски, связанные с человеческим фактором, и сокращает потребность в аренде дорогостоящей подъемной техники.

Согласно отраслевым прогнозам, рынок БПЛА в строительстве демонстрирует стабильный рост с ожидаемым увеличением более чем на 20% ежегодно в ближайшее десятилетие, что подтверждает экономический интерес и потенциал технологии [1].

Цель исследования

Целью данной работы является проведение экономического анализа применения БПЛА для мониторинга строительных объектов с акцентом на оценку их эффективности и целесообразности внедрения в строительную практику.

Объекты и методы исследования

Объектом настоящего экономического исследования является финансовая модель инвестиционного проекта по внедрению и эксплуатации системы мониторинга строительных объектов на базе беспилотных летательных аппаратов (БПЛА).

Предмет исследования строго ограничен экономическими параметрами этого проекта: структурой капитальных и операционных затрат, источниками финансирования, прогнозируемыми доходами или объемом генерируемой экономии, а также итоговыми показателями финансовой эффективности.

Для построения и анализа модели использовались методы финансового моделирования и инвестиционного анализа. Исходной базой послужили данные, приведенные в таблице 1.

Таблица 1

Исходные данные для инвестиционного проекта

Показатель, т. руб.	Значение
1. Стоимость технологического оборудования	2 080
2. Стоимость лицензии	200
3. Расходы по оплате труда в 1-ый год	600
4. Ежегодное увеличение по оплате труда	40
5. Стоимость сырья и материалов в 1-ый год	1 010
6. Ежегодное увеличение затрат на материалы	95
7. Дополнительные издержки (постоянные)	12
8. Объем реализации, т. ед.: в 1-ый год	49
во 2-ой год	49
в 3-ий год	52
в 4-ый год	51
в 5-ый год	54
9. Цена продукции в 1-ый год, руб./ед.	87
10. Увеличение цены в каждый последующий год руб./ед.	6,5
11. Процент за пользование кредитом	25

На основе исходных данных была построена детализированная пятилетняя модель инвестиционного проекта. Ключевым аналитическим инструментом стал метод дисконтирования денежных потоков для приведения разновременных затрат и результатов к сопоставимому виду. Ставка дисконтирования была определена кумулятивным методом, суммирующим несколько компонентов риска, как показано в таблице 2.

Так же на основе дисконтированных денежных потоков были рассчитаны стандартные показатели эффективности инвестиционного проекта: чистый дисконтированный доход, внутренняя норма доходности и дисконтированный срок окупаемости.

Расчет ставки дисконтирования

Фактор риска	Показатель	Значение, %
Наличие ключевой фигуры	Ключевая фигура есть	0,00
Размер компании	Средняя	2,00
Структура капитала	Хорошая	1,00
Товарная диверсификация	Хорошая	1,00
Территориальная диверсификация	Плохая	4,00
Диверсификация клиентуры	Отличная	0,00
Прогнозируемость прибыли	Удовлетворительная	3,00
Страновой риск	Малый	0,00
Итого надбавка за риск		11,00
Безрисковая ставка		21,00
Инфляция		10,00
Итого ставка дисконтирования		42,00

Результаты исследования**Экономический анализ технологии БПЛА и результаты инвестиционного моделирования**

Технологической основой, генерирующей экономический эффект, являются конструктивные особенности и возможности современных беспилотных летательных аппаратов. БПЛА, или дроны, представляют собой аппараты без пилота на борту, управляемые дистанционно или автономно [2]. Для целей строительного мониторинга применяются преимущественно два типа. Мультикоптеры, в частности квадрокоптеры, отличаются высокой маневренностью, возможностью вертикального взлета и посадки, а также стабильного зависания, что делает их идеальными для детальной инспекции фасадов, кровель, узлов конструкций и контроля качества на локальных участках. Однако их время полета ограничено, обычно 20-55 минут в зависимости от модели (например, DJI Matrice 300 RTK летает до 55 минут, а DJI Phantom 4 RTK – около 30 минут), что является их ключевым эксплуатационным ограничением. БПЛА самолетного типа, такие как senseFly eBee X, используют фиксированные крылья, что обеспечивает большую продолжительность полета (до 90 минут) и эффективность для аэрофотосъемки обширных территорий на этапе инженерных изысканий или мониторинга линейных объектов, но они менее маневренны и требуют специальных условий для взлета и посадки [3]. Экономическая эффективность напрямую определяется полезной нагрузкой. RTK-модули, интегрированные с системами GPS и ГЛОНАСС, обеспечивают сантиметровую точность позиционирования (1-2 см), превращая БПЛА в мощный геодезический инструмент. Это позволяет в разы сокращать время и стоимость топографической съемки, точного выноса точек в натуру и контроля объемов земляных работ по сравнению с традиционными методами [4]. Лидары (лазерные сканеры) позволяют создавать высокоточные цифровые модели местности и объектов. Тепловизоры выявляют скрытые дефекты: теплопотери через ограждающие конструкции, неравномерный прогрев систем, что позволяет предотвращать дорогостоящий ремонт на этапе эксплуатации. Интеграция данных, полученных с БПЛА, с программным обеспечением для фотограмметрии и информационного моделирования зданий (BIM) завершает цикл создания стоимости, превращая сырые данные в управленческую информацию для принятия решений по корректировке работ, оптимизации логистики материалов и контроля сроков.

Экономический эффект от внедрения БПЛА в строительстве носит комплексный характер и формируется за счет воздействия на несколько ключевых статей затрат. Во-первых, достигается радикальное сокращение издержек на инженерно-геодезическое сопровождение. Высокая скорость и точность съемки с дронов позволяют заменить или существенно сократить трудозатраты полевых геодезистов при выполнении топографических съемок, подсчете объемов грунта, создании ортофотопланов и цифровых моделей рельефа. Во-вторых, обеспечивается оперативный мониторинг хода строительства. Регулярные облеты с наложением полученных данных на BIM-модель позволяют мгновенно выявлять отклонения от проекта. Раннее обнаружение ошибок, таких как несоответствие габаритов или неверное расположение конструкций, предотвращает их накопление и дорогостоящие переделки на поздних, более

затратных стадиях. Таким образом, БПЛА работают как инструмент превентивного управления себестоимостью. В-третьих, технология минимизирует затраты на инспекцию опасных и труднодоступных объектов. Обследование высотных фасадов, элементов мостов, кровель и внутренних пространств традиционно требует привлечения промышленных альпинистов или аренды автовышек. БПЛА выполняют эту задачу быстрее, безопаснее и в разы дешевле, полностью исключая риски для персонала и расходы на спецтехнику. В-четвертых, повышается эффективность управления ресурсами на площадке. Аэросъемка помогает контролировать складирование материалов, перемещение техники, выявлять их недостаток или нерациональное использование, минимизируя простои рабочих бригад. Совокупное действие этих факторов формирует значительный потенциал для экономии [5].

Согласно данным, представленным в работе, внедрение систем мониторинга на базе БПЛА способно сокращать соответствующие операционные расходы на 40–60%, что делает данную технологию одной из наиболее окупаемых цифровых инноваций в строительстве.

Количественным подтверждением этого тезиса являются результаты финансового моделирования инвестиционного проекта.

Анализ начинается с оценки капитальных затрат. Структура первоначальных инвестиций в размере 2 532,5 тыс. рублей показывает, что подавляющую часть (82,1%) составляют затраты на технологическое оборудование – сами БПЛА и специализированная нагрузка к ним. Это подчеркивает капиталоемкость первоначального этапа внедрения. Стоимость лицензии на ПО (7,9%) и создание оборотного запаса (10,0%) формируют остаток. Финансирование проекта осуществляется преимущественно за счет заемных средств (90%), что указывает на его кредитоспособность, но одновременно повышает финансовые риски за счет необходимости обслуживания долга. Результаты моделирования денежных потоков представлены в таблице 3.

Таблица 3

Денежные потоки и показатели эффективности проекта (тыс. руб.)

Показатель / Год	0	1	2	3	4	5
Инвестиционная деятельность	-2532,5	-0	0	0	0	1040
Операционная деятельность	0	1822,30	2030,03	2530,08	2720,53	
Финансовая деятельность	2532,5	0	-570	-570	-570	-570
Сальдо реальных денег (нарастающим итогом)	0	1822,30	4422,33	7522,42	10812,94	14897,62

Модель операционной деятельности, построенная на пятилетнем горизонте, демонстрирует положительную динамику. Выручка от предоставления услуг мониторинга, рассчитанная исходя из объемов и цен (см. табл. 1), показывает устойчивый рост. При этом, несмотря на запланированный ежегодный рост затрат на оплату труда и материалы, темп роста выручки их опережает, что и обеспечивает увеличивающийся положительный денежный поток от операций – с 1 822,3 тыс. до 3 262,2 тыс. рублей. Этот рост является первым визуальным индикатором экономической состоятельности проекта.

Для интегральной оценки привлекательности проекта и учета стоимости денег во времени были рассчитаны ключевые показатели эффективности на основе дисконтированных потоков. Результаты расчета представлены ниже в таблице 4.

Таблица 4

Показатели эффективности инвестиционного проекта

Показатель	Значение
Чистый дисконтированный доход (NPV), тыс. руб.	+2 055,47
Индекс доходности (PI)	1,87
Внутренняя норма доходности (IRR),	79,09
Дисконтированный срок окупаемости (DPP), лет	3,3

Чистый дисконтированный доход (NPV) проекта составил +2 055,47 тыс. рублей. Положительное значение NPV – это главный критерий принятия инвестиционного решения. Оно означает, что после покрытия всех первоначальных и текущих затрат, а также после учета стоимости привлеченного капитала (процентов по кредиту и требуемой доходности), проект генерирует дополнительную стоимость в размере более 2 млн рублей в текущих ценах. Это прямое количественное доказательство его экономической целесообразности. Индекс доходности (PI), равный 1,87, дополняет этот вывод. Он показывает,

что на каждый вложенный в проект рубль дисконтированных инвестиций приходится 1,87 рубля дисконтированных денежных поступлений. Значение, существенно превышающее 1.0, подтверждает высокую эффективность использования капитала и отдачу от вложений. Внутренняя норма доходности (IRR) проекта составляет 79,09%. Этот показатель имеет критически важное значение. Он отражает расчетную годовую доходность проекта. Факт, что IRR (79,09%) почти вдвое превышает использованную в расчетах высокую ставку дисконтирования (42%), свидетельствует об исключительном запасе финансовой прочности. Проект сохранит свою прибыльность и привлекательность даже в случае существенного ухудшения макроэкономических условий, роста стоимости заемных средств или реализации части рисков. Такой уровень IRR характерен для высокоэффективных технологических проектов. Дисконтированный срок окупаемости (DPP) равен 3,3 года. Этот показатель означает, что с учетом временной стоимости денег первоначальные инвестиции будут полностью возвращены в течение первых трех с небольшим лет эксплуатации службы мониторинга. Для строительной отрасли, где горизонт планирования проектов обычно составляет 3-5 лет, такой срок окупаемости является вполне приемлемым и указывает на относительно быстрый возврат капитала, что снижает долгосрочные инвестиционные риски.

Полученные финансовые показатели находятся в полной взаимосвязи и формируют целостную картину экономической привлекательности проекта.

Положительный NPV и $PI > 1$ указывают на абсолютную и относительную эффективность. Высокий IRR, значительно превышающий стоимость капитала, подтверждает, что проект генерирует доходность, с лихвой покрывающую все риски. Умеренный срок окупаемости делает проект практичным с точки зрения управления ликвидностью компании. Совокупность этих результатов (см. в табл. 4), доказывает, что экономия от внедрения БПЛА не только полностью покрывает все издержки, но и формирует значительную добавленную стоимость, повышая общую рентабельность бизнеса.

Выводы

Проведенный в работе комплексный экономический анализ применения беспилотных летательных аппаратов для мониторинга строительных объектов позволяет сделать однозначный и обоснованный вывод о высокой финансовой эффективности и стратегической целесообразности данной инвестиции. Исследование было целенаправленно сфокусировано на экономических аспектах, переведя технологические преимущества БПЛА в язык конкретных финансовых показателей и денежных потоков. Анализ показал, что экономический эффект от использования технологии реализуется через несколько четких каналов: кардинальное сокращение времени и стоимости геодезических работ и топографической съемки за счет высокой точности и скорости съемки с RTK-модулями; минимизация финансовых потерь от переделок и ошибок благодаря оперативному превентивному контролю и сравнению данных с BIM-моделями; существенное снижение издержек на инспекцию высотных и труднодоступных объектов за счет замены услуг альпинистов и аренды спецтехники на полеты дронов; повышение прозрачности и управляемости логистических процессов на стройплощадке через регулярный аэромониторинг. Суммарное воздействие этих факторов, согласно отраслевым данным, заложенным в основу работы, способно обеспечить экономию соответствующих операционных расходов строительной компании на 40–60%, что формирует мощный экономический драйвер для внедрения.

Наиболее убедительным и объективным доказательством экономической целесообразности стали результаты детального финансового моделирования конкретного инвестиционного проекта по созданию службы мониторинга. Рассчитанные ключевые показатели эффективности представляют собой стройную систему взаимодополняющих аргументов. Положительный чистый дисконтированный доход в размере +2 055,47 тыс. рублей свидетельствует о создании значительной дополнительной стоимости после покрытия всех затрат и стоимости капитала. Индекс доходности на уровне 1,87 подтверждает высокую отдачу на каждый вложенный рубль. Внутренняя норма доходности, достигающая 79,09% и почти вдвое превышающая агрессивно рассчитанную ставку дисконтирования, демонстрирует исключительный запас финансовой прочности, устойчивость к рискам и высокую потенциальную доходность для инвестора даже в неблагоприятных условиях. Дисконтированный срок окупаемости в 3,3 года указывает на относительно быстрый возврат инвестиций и приемлемый уровень риска, соответствующий отраслевым стандартам. Совокупность этих показателей ($NPV > 0$, $PI > 1$, $IRR >$ ставки дисконтирования, адекватный DPP) является исчерпывающим формальным критерием для принятия положительного инвестиционного решения.

Таким образом, внедрение БПЛА для мониторинга строительных объектов следует квалифицировать не как операционную или капитальную затрату, а как высокодоходную стратегическую инвестицию

в цифровую трансформацию компании. Эта инвестиция направлена на повышение конкурентоспособности, управляемости и финансовой устойчивости строительного бизнеса.

Она позволяет перевести технологические преимущества – скорость, высокую точность и безопасность сбора данных – в конкретные, измеримые экономические результаты: снижение издержек по ключевым статьям, повышение вероятности соблюдения сроков и бюджета проекта, увеличение общей рентабельности. В условиях ускоряющейся цифровизации строительной отрасли такие инвестиции перестают быть просто конкурентным преимуществом; они становятся необходимым стандартом ведения бизнеса для компаний, которые нацелены на долгосрочное лидерство, эффективное управление капиталом и успешную реализацию сложных проектов в условиях растущих требований рынка.

Литература

1. Макарычев К.В., Воронин И.С. Перспективы применения БПЛА в строительстве // Научный аспект. 2023. Т. 25, № 5. С. 3194-3199. EDN: DBRUKE.
2. Грешнев И.Н. Применение квадрокоптеров или дронов при проведении осмотра места происшествия // Студенческая наука – взгляд в будущее: Материалы XV Всероссийской студенческой научной конференции, Красноярск, 26-27 марта 2020 года. Том Часть 4. Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2020. С. 166-168. EDN: DTDXXD.
3. Бурукина О.А. Понятие, виды БПЛА и их соответствие международному гуманитарному праву // Теории и проблемы политических исследований. 2018. Т. 7. № 6А. С. 101-110. EDN: TQRLIG.
4. Елисеев А.Н., Федоров Д.М., Кондратьев Р.Ю. Оценка экономической эффективности применения БПЛА // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. 2018. Т. 1, № 9. С. 252-253. EDN: YQIFXV.
5. Петров М.Э., Коробенков А.Д. Использование БПЛА в строительстве // Наука Промышленность Оборона: Труды XXV Всероссийской научно-технической конференции. В 4-х томах, Новосибирск, 17-19 апреля 2024 года. Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2024. С. 147-151. EDN: GIOCNF.