

# Применение беспилотных авиационных систем для планирования и экономической оценки проектов развития горных территорий

Д.А. Грачёв, Д.В. Рыбаков, В.В. Филатов, Н.С. Акиншин, В.Д. Кутков ✉

Государственный университет управления, г. Москва, Российская Федерация

✉ [vd\\_kutkov@guu.ru](mailto:vd_kutkov@guu.ru)

**Резюме:** В статье предложен и обоснован системный подход к управлению развитием горных территорий на основе внедрения беспилотных авиационных систем. Обоснована актуальность перехода от концептуального описания возможностей беспилотных авиационных систем к практическому инструментарию для планирования, многокритериальной оценки и экономического обоснования проектов. Целью работы является представление комплексной методологии, позволяющей «квалифицированным заказчикам», таким как органы регионального управления и корпорации, принимать взвешенные инвестиционные решения по применению беспилотных авиационных систем для решения социально-экономических задач в условиях сложного рельефа и ограниченной доступности. В основе исследования лежит методологическая рамка «Сценарий → Требования → Модель жизненного цикла», адаптированная для специфики горных регионов. В качестве ключевых инструментов предложены формализация задач с помощью «Паспорта сценария» и анализа операционных рисков, применение методов многокритериального анализа для объективного выбора оптимального класса беспилотных авиационных систем, а также экономическое моделирование на основе расчета совокупной стоимости владения и чистого экономического эффекта (Net Benefit). Результаты работы демонстрируют применение методологии на практических примерах, включая организацию экстренной доставки медикаментов и мониторинг объектов инфраструктуры. Сделан вывод, что предложенный подход является эффективным инструментом стратегического планирования, который снижает риски неэффективного вложения средств и способствует устойчивому и экономически оправданному развитию горных территорий.

**Ключевые слова:** горные территории, устойчивое развитие, беспилотные авиационные системы, сценарное моделирование, экономическая оценка, многокритериальный анализ, стоимость жизненного цикла, поддержка принятия решений, квалифицированный заказчик

**Благодарности:** Работа финансировалась за счет средств федерального бюджета (учредитель – Минобрнауки России) в рамках выполнения Государственного задания на проведение научно-исследовательской работы по теме: «Разработка и обоснование подходов к планированию и осуществлению внедрения, развертывания, и организации применения автономных беспилотных систем, робототехнических комплексов и инфраструктурных сетей связи, навигации, наблюдения и управления, обеспечивающих эксплуатацию таких систем и комплексов, с заданными нормативными уровнями безопасности выполнения полетов и движения комплексов, и вероятности выполнения функциональных задач» (шифр научной темы FZNW-2023-0067). Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

**Для цитирования:** Грачёв Д.А., Рыбаков Д.В., Филатов В.В., Акиншин Н.С., Кутков В.Д. Применение беспилотных авиационных систем для планирования и экономической оценки проектов развития горных территорий. *Горная промышленность*. 2025;(6):44–48. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-6-44-48>

## Application of unmanned aerial systems for planning and economic assessment of development projects in the mountain territories

D.A. Grachev, D.V. Rybakov, V.V. Filatov, N.S. Akinshin, V.D. Kutkov ✉

State University of Management, Moscow, Russian Federation

✉ [vd\\_kutkov@guu.ru](mailto:vd_kutkov@guu.ru)

**Abstract:** This article proposes and justifies a system-based approach to managing the development of mountain territories based on implementation of the unmanned aerial systems. The relevance of transitioning from a conceptual description of the unmanned aerial systems capabilities to a practical toolkit for planning, multi-criteria evaluation, and economic justification

of projects is established. The study aims to present a comprehensive methodology that allows the 'competent customers', such as the regional authorities and corporations, to make well-founded investment decisions regarding the use of unmanned aerial systems for solving social and economic problems in conditions of complex terrain and limited accessibility. The research is based on the 'Scenario → Requirements → Life Cycle Model' methodological framework, adapted for the specific features of mountain regions. The key instruments proposed include task formalization via a "Scenario Passport", operational risk analysis, application of multi-criteria decision making for selecting the optimal class of unmanned aerial systems, and economic modeling based on the Total Cost of Ownership and the Net Benefit calculations. The results demonstrate the methodology application in practical cases, including emergency delivery of medications and infrastructure monitoring. It is concluded that the proposed approach serves as an effective strategic planning tool that reduces the risks of inefficient investment and contributes to the sustainable and economically viable development of mountain territories.

**Keywords:** mountain territories, sustainable development, unmanned aerial systems, scenario modeling, economic assessment, multi-criteria analysis, life cycle cost, decision support, competent customer

**Acknowledgements:** The research was funded by the Federal Budget (the budget owner is the Ministry of Education and Science of Russia) as part of the State Assignment for scientific research on the topic: "Development and justification of approaches to planning and implementing the introduction, deployment, and management of autonomous unmanned systems, robotic complexes, and infrastructure networks for communication, navigation, surveillance, and control that ensure the operation of such systems and complexes, with specified regulatory safety levels for flying and movement of the complexes, and the probability of performing their functional tasks" (research topic code FZNW-2023-0067). No additional grants have been received to conduct or supervise this specific research.

**For citation:** Grachev D.A., Rybakov D.V., Filatov V.V., Akinshin N.S., Kutkov V.D. Application of unmanned aerial systems for planning and economic assessment of development projects in the mountain territories. *Russian Mining Industry*. 2025;(6):44–48. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-6-44-48>

## Введение

Горные территории сталкиваются с комплексом взаимосвязанных социально-экономических и инфраструктурных проблем, таких как экономическое отставание и депопуляция<sup>1</sup> [1], а также значительный инфраструктурный дефицит<sup>2</sup> [2]. Транспортная изоляция, повышенные риски чрезвычайных ситуаций, связанные с высокой экологической уязвимостью [3], и высокая стоимость создания и поддержания инфраструктуры остаются ключевыми барьерами, ограничивающими экономическую активность и качество жизни населения. Данные обстоятельства определяют необходимость внедрения новых технологических подходов, способных повысить управляемость и экономическую эффективность программ развития горных территорий. Беспилотные авиационные системы (БАС) представляют собой перспективную технологию для решения этих проблем, однако их широкому внедрению препятствует методологический разрыв между техническими возможностями и практическими инструментами для экономического обоснования [4].

На практике решения о внедрении БАС часто принимаются на основе отдельных технических параметров, что не позволяет корректно оценить совокупные затраты и реальную рентабельность. Отсутствует целостная методология, ориентированная на «квалифицированных заказчиков» – органы регионального управления и корпоративных инвесторов.

Целью настоящей статьи является разработка и апробация комплексной методологии для системного планирования и оценки экономической эффективности проектов

с применением БАС в горных условиях. Предлагаемый подход призван стать практическим инструментом, позволяющим перейти от точечных экспериментов к масштабируемым и экономически обоснованным программам регионального развития.

## Материалы и методы

Предлагаемая методология основана на концептуальной рамке «Сценарий → Требования → Модель жизненного цикла», обеспечивающей прослеживаемую связь от операционной задачи до итоговой стоимости владения. Процесс состоит из трех последовательных этапов и адаптирует принципы системного инжиниринга к контексту регионального управления, дополняя их экономическими инструментами.

Этап 1. Формализация сценария и оценка рисков. На данном этапе происходит переход от общего описания проблемы к ее структурированной форме. Сценарное планирование является ключевым инструментом для стратегического управления в условиях высокой неопределенности, характерной для сложных систем, таких как горные регионы [5]. Основным инструментом является «Паспорт сценария» – формализованный документ, который декомпозирует качественную цель на конкретные параметры, включая ключевые показатели эффективности (KPI). Пример иллюстрации, позволяющей описать сценарии применения и выделить параметры, приведены на рис. 1.

Также паспорт определяет операционные границы, включая пространственные (территория выполнения работ), временные (сезонность, время суток) и регуляторные (ограничения воздушного пространства) рамки. Такой подход соответствует необходимости в формализованном фреймворке оценки, основанном на измеримых KPI, для объективного сравнения альтернатив [6].

Этап 2. Многокритериальный анализ и выбор класса решений. Поскольку выбор оптимальной БАС является ком-

1 Sustainable Mountain Development. Report of the Secretary-General at the sixty-sixth session. 2011. A/66/294. Available at: [https://www.un.org/esa/dsd/resources/res\\_pdfs/ga-66/SG%20report\\_Sustainable%20Mountain%20Development.pdf](https://www.un.org/esa/dsd/resources/res_pdfs/ga-66/SG%20report_Sustainable%20Mountain%20Development.pdf) (accessed: 06.10.2025).

2 The effects of poor infrastructure in education, transport and communities. Available at: <https://www.dbsa.org/article/effects-poor-infrastructure-education-transport-and-communities> (accessed: 06.10.2025).

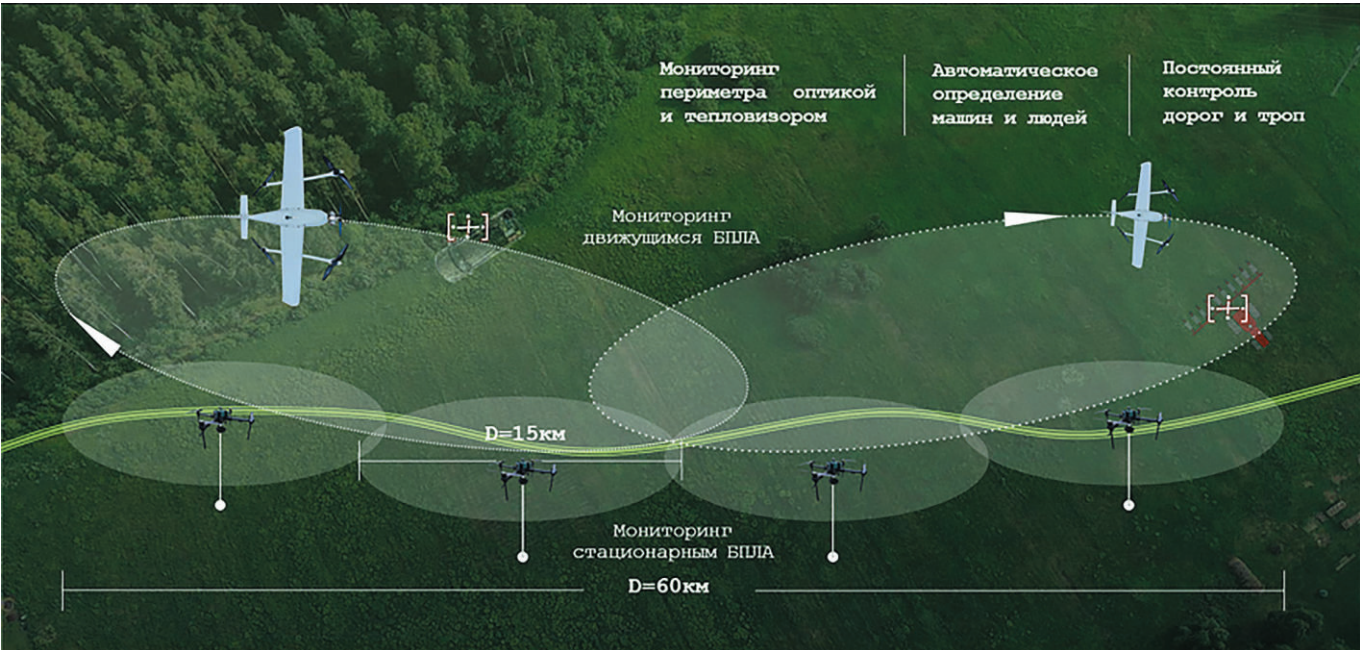


Рис. 1  
Пример иллюстрации сценария (Контроль территории)

Fig. 1  
Example illustration of a scenario (Area Control)

плексной задачей, на втором этапе применяется подход MCDM. На основе требований и KPI из «Паспорта сценария» формируется система показателей для объективного сравнения альтернативных классов технологических решений (например, БАС самолетного типа, мультироторные системы, гибридные VTOL). Важной частью этапа является применение механизма жесткой фильтрации, который отсеивает решения, не удовлетворяющие минимально допустимым пороговым значениям по критичным параметрам (например, ветроустойчивость). В качестве примера на рис. 2 представлены результаты подобного конкурентного анализа применяемых для мониторинга территорий VTOL взлётным весом до 30 кг.

Этап 3. Экономическое моделирование. Финальный этап посвящен расчету экономической целесообразности отобранных решений. Оценка основывается на двух моделях. Во-первых, рассчитывается TCO, включающая все капитальные и операционные расходы на протяжении жизненного цикла системы. Во-вторых, на основе TCO определяется Net Benefit, который сопоставляет полную стоимость владения с совокупными монетизированными выгодами (прямая экономия, предотвращенный ущерб) [7]. Проект считается экономически целесообразным, если показатель Net Benefit имеет положительное значение.

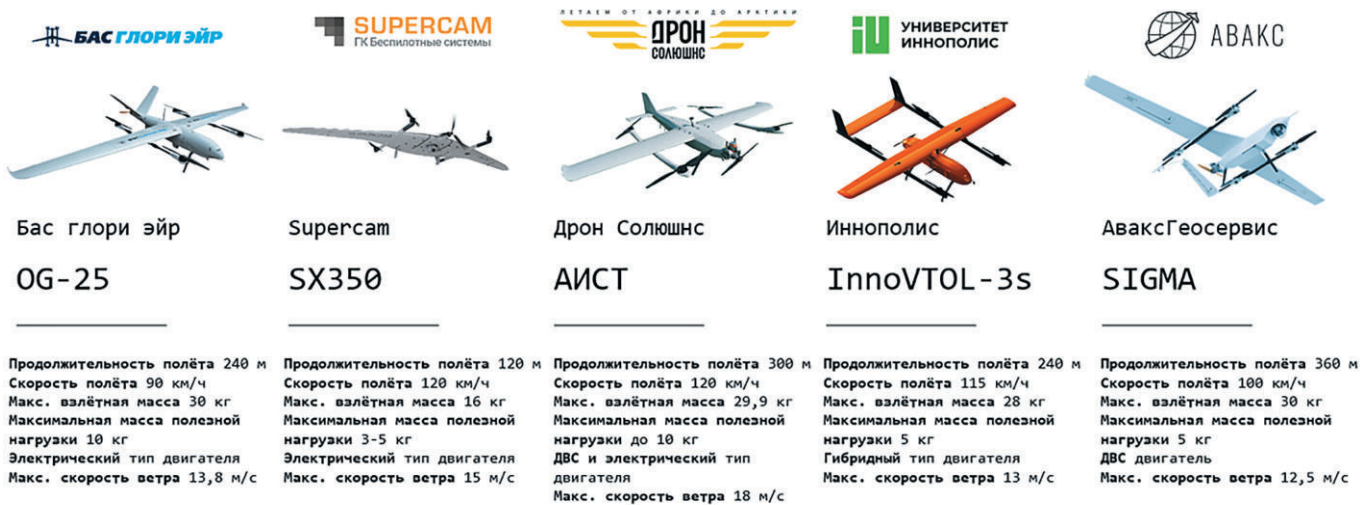


Рис. 2  
Пример многокритериального сравнения БАС одного класса

Fig. 2  
Example of a multicriteria comparison of the UAVs with in the same class



## Результаты

Апробация предложенной методологии на практических кейсах демонстрирует ее способность обеспечивать системный и обоснованный выбор технологических решений, а также количественно оценивать их экономическую целесообразность. Результаты показывают, как последовательное применение трехэтапного анализа позволяет трансформировать абстрактную потребность в конкретный, верифицируемый проект.

На первом этапе, при решении задачи по экстренной доставке медикаментов (сценарий L2S), методология позволила трансформировать цель «обеспечить доставку» в строгие измеримые KPI (доставка 5 кг на 50 км за 90 мин). Анализ рисков выявил ключевые угрозы (порывы ветра, потеря сигнала), что привело к формулированию критически важных технических требований: высокая крейсерская скорость, стабильность в полете при сильном ветре и наличие дублирующего спутникового канала связи. Это позволило еще до сравнения конкретных моделей отсеять целый пласт легких мультироторных аппаратов как заведомо неподходящих.

На втором этапе, в рамках задачи по мониторингу линий электропередачи (ЛЭП), возник конфликт требований: необходимость быстро обследовать протяженные участки и проводить детальную инспекцию отдельных опор, требующую зависания. Применение MCDM-подхода позволило формализовать и взвесить противоречивые критерии. Сравнительный анализ показал, что мультироторные системы хороши в инспекции, но проигрывают по дальности, а БАС самолетного типа – наоборот. В результате наивысшую оценку получили гибридные VTOL-системы, интегрирующие преимущества обоих классов.

На финальном этапе для проекта мониторинга ЛЭП с использованием VTOL-системы был произведен детальный расчет. Итоговая сумма TCO за пять лет составила около 15 млн руб., включая стоимость оборудования, зарплату операторов и техническое обслуживание. Далее был рассчитан чистый Net Benefit путем сопоставления этих затрат с потенциальными выгодами. Согласно статистике регулярный мониторинг позволяет предотвратить крупные аварии, формируя предотвращенный ущерб в размере 10–12 млн руб. Дополнительная экономия в 5–7 млн руб. достигается за счет полного отказа от использования дорогостоящих пилотируемых вертолетов для инспекций. Таким образом, итоговый Net Benefit, как разница между выгодами (15–19 млн) и затратами (15 млн), оказался положительным, что доказывает экономическую выгоду проекта.

## Обсуждение и заключение

Предложенная методология «Сценарий → Требования → Модель жизненного цикла» представляет собой фундаментальный сдвиг в парадигме управления региональным развитием, смещая фокус с технологического детерминизма на ценностно-ориентированный подход [8]. Ключевая ценность методологии заключается в обеспечении строгой трассируемости от социально-экономических вызовов до конкретных, измеримых технико-экономических требований. Это трансформирует процесс закупки и внедрения БАС из акта приобретения техники в управляемый инвестиционный процесс, превращая аналитику в действенный инструмент управления.

Главным практическим следствием данного подхода является формирование института «квалифицированного заказчика». Методология предоставляет региональным органам власти и корпорациям формализованный язык для взаимодействия с производителями, позволяя формулировать требования не в терминах летно-технических характеристик, а на основе операционной эффективности (KPI) и предельной совокупной стоимости владения (ТСО). В этом контексте переосмысливается и роль цифровых систем поддержки принятия решений: они эволюционируют от калькуляторов до стратегических систем управления знаниями, функционируя как институциональная память и «цифровой двойник» операционной деятельности<sup>3</sup>.

Несмотря на доказанную практическую пользу методология обладает значительным потенциалом для развития. Перспективные направления исследований сфокусированы на переходе к портфельной оптимизации проектов, стандартизации дескрипторов сценариев для формирования единого информационного поля и интеграции моделей TCO и Net Benefit с предиктивной аналитикой на основе машинного обучения.

В заключение предложенная методология является инструментом стратегического управления, который обеспечивает переход от этапа фрагментированных технологических экспериментов к формированию зрелой, масштабируемой и экономически устойчивой отрасли [9]. Внедрение данного системного и экономически обоснованного подхода является ключом к успешной интеграции беспилотных авиационных систем в экономику и устойчивому развитию труднодоступных территорий.

<sup>3</sup> White papers. AnyLogic Simulation Software. Available at: <https://www.anylogic.com/resources/white-papers/> (accessed: 06.10.2025).

## Список литературы / References

1. Дабиев Д.Ф. Оценка развития горных регионов России. *Горная промышленность*. 2022;(2):81–83. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-2-81-83>  
Dabiev D.F. Assessment of the development of the mountain regions of Russia. *Russian Mining Industry*. 2022;(2):81–83. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-2-81-83>
2. Айдаралиев А.А. Устойчивое развитие горных регионов Кыргызстана: проблемы и перспективы. *Вестник международного университета Кыргызстана*. 2020;(2):25–30.  
Aidaraliev A.A. Sustainable development of mountain regions of Kyrgyzstan: Problems and prospects. *Vestnik Mezhdunarodnogo Universiteta Kyrgyzstana*. 2020;(2):25–30. (In Russ.)

3. Sadyrov S., Isaev E., Tanaka K., Murata A., Sidle R.C. High-resolution assessment of climate change impacts on the surface energy and water balance in the glaciated Naryn River basin, Central Asia. *Journal of Environmental Management*. 2025;374:124021. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.124021>
4. Xue Y., Kong F., Li S., Zhang Q., Qiu D., Su M., Li Z. China starts the world's hardest "Sky-High Road" project: Challenges and countermeasures for Sichuan-Tibet railway. *The Innovation*. 2021;2(2):100105. <https://doi.org/10.1016/j.xinn.2021.100105>
5. Schoemaker P.J.H. Scenario planning: A tool for strategic thinking. *Sloan Management Review*. 1995;36(2):25–40. Available at: [https://ftms.edu.my/images/Document/MOD001074%20-%20Strategic%20Management%20Analysis/WK4\\_SRMOD001074\\_Schoemaker\\_1995.pdf](https://ftms.edu.my/images/Document/MOD001074%20-%20Strategic%20Management%20Analysis/WK4_SRMOD001074_Schoemaker_1995.pdf) (accessed: 06.10.2025).
6. Бородин С.Н. Модель оценки устойчивого развития региона на основе индексного метода. *Экономика региона*. 2023;19(1):45–59. <https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2023-1-4>  
Borodin S.N. A model for assessing regional sustainable development based on the index method. *Economy of Regions*. 2023;19(1):45–59. (In Russ.) <https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2023-1-4>
7. Aurambout J.-P., Gkoumas K., Ciuffo B. Last mile delivery by drones: an estimation of viable market potential and access to citizens across European cities. *European Transport Research Review*. 2019;11:30. <https://doi.org/10.1186/s12544-019-0368-2>
8. Erisman S., Pesantes M.A., Beran D., Leuenberger A., Farnham A., Gonzalez de White M.B. et al. How to bring research evidence into policy? Synthesizing strategies of five research projects in low-and middle-income countries. *Health Research Policy and Systems*. 2021;19:29. <https://doi.org/10.1186/s12961-020-00646-1>
9. Wilmer H., Spiess J., Clark P.E., Anderson M., Burns A., Crootof A. et al. Collaborative adaptive management in the greater Yellowstone ecosystem: A rangeland living laboratory at the us sheep experiment station. *Sustainability*. 2025;17(7):3086. <https://doi.org/10.3390/su17073086>

**Информация об авторах**

**Грачев Дмитрий Александрович** – научный сотрудник Центра управления инжиниринговыми проектами, Государственный университет управления, г. Москва, Российская Федерация; e-mail: [da\\_grachev@guu.ru](mailto:da_grachev@guu.ru)

**Рыбаков Дмитрий Владимирович** – научный сотрудник Центра управления инжиниринговыми проектами, Государственный университет управления, г. Москва, Российская Федерация; e-mail: [dv\\_rybakov@guu.ru](mailto:dv_rybakov@guu.ru)

**Филатов Владимир Викторович** – кандидат технических наук, директор Центра управления инжиниринговыми проектами, Государственный университет управления, г. Москва, Российская Федерация; e-mail: [vv\\_filatov@guu.ru](mailto:vv_filatov@guu.ru)

**Акиншин Никита Сергеевич** – аспирант, специалист Центра управления инжиниринговыми проектами, Государственный университет управления, г. Москва, Российская Федерация; e-mail: [ns\\_akinshin@guu.ru](mailto:ns_akinshin@guu.ru)

**Кутков Владимир Дмитриевич** – аспирант, специалист Центра управления инжиниринговыми проектами, Государственный университет управления, г. Москва, Российская Федерация; e-mail: [vd\\_kutkov@guu.ru](mailto:vd_kutkov@guu.ru)

**Information about the authors**

**Dmitry A. Grachev** – Research Associate of Center for Engineering Project Management, State University of Management, Moscow, Russian Federation; e-mail: [da\\_grachev@guu.ru](mailto:da_grachev@guu.ru)

**Dmitry V. Rybakov** – Research Associate of Center for Engineering Project Management, State University of Management, Moscow, Russian Federation; e-mail: [dv\\_rybakov@guu.ru](mailto:dv_rybakov@guu.ru)

**Vladimir V. Filatov** – Cand. Sci. (Eng.), Director of the Center for Engineering Project Management, State University of Management, Moscow, Russian Federation; e-mail: [vv\\_filatov@guu.ru](mailto:vv_filatov@guu.ru)

**Nikita S. Akinshin** – Postgraduate Student, Specialist at the Center for Engineering Project Management, State University of Management, Moscow, Russian Federation; e-mail: [ns\\_akinshin@guu.ru](mailto:ns_akinshin@guu.ru)

**Vladimir D. Kutkov** – Postgraduate Student, Specialist at the Center for Engineering Project Management, State University of Management, Moscow, Russian Federation; e-mail: [vd\\_kutkov@guu.ru](mailto:vd_kutkov@guu.ru)

**Article info**

Received: 06.09.2025

Revised: 27.10.2025

Accepted: 01.11.2025

**Информация о статье**

Поступила в редакцию: 06.09.2025

Поступила после рецензирования: 27.10.2025

Принята к публикации: 01.11.2025