УДК 338.49:004.94
https://www.doi.org/10.47813/mip.7.2026.20.3002
EDN UFGCLG

Информационно-аналитическая интеграция экономики малых высот и BIM-систем для управления инфраструктурой и ресурсами

П.В. Ендуткин*

Красноярский государственный аграрный университет, пр. Мира, 90, Красноярск, 660049, Россия

*E-mail: endutkin@kp-pro.ru

Аннотация. В статье рассматривается концепция интеграции экономики малых высот и BIM систем в целях повышения эффективности управления инфраструктурой и ресурсами. Актуальность исследования обусловлена развитием низковысотной аэромобильности, ростом сети инфраструктурных объектов для беспилотных воздушных судов и расширением применения BIM технологий в цифровой экономике и строительной отрасли. Показано, что существующие работы по экономике малых высот и BIM преимущественно анализируют эти области раздельно, что ограничивает возможности комплексного планирования и эксплуатации инфраструктуры. Цель исследования состоит в разработке интегрированной информационной модели, связывающей пространственно технические, эксплуатационные и экономические данные объектов малых высот с BIM контуром. Используются методы системного анализа, структурно функционального моделирования и концептуального проектирования архитектуры информационной системы. В результате предложены четырёхслойная модель, архитектура информационного обеспечения и сценарий применения для оценки альтернатив конфигурации инфраструктуры и ресурсного обеспечения. Сделан вывод, что расширение информационного обеспечения BIM систем за счёт включения параметров экономики малых высот позволяет повысить согласованность данных, поддержать сценарный анализ и обосновать управленческие решения по развитию инфраструктуры.

Ключевые слова: BIM-система, экономика малых высот, информационное обеспечение, инфраструктура, автоматизация, цифровая модель, ресурсное управление, низковысотная аэромобильность.

Для цитирования: Ендуткин, П. В. Информационно-аналитическая интеграция экономики малых высот и BIM-систем для управления инфраструктурой и ресурсами / П. В. Ендуткин // Модернизация, Инновации, Прогресс (MIP ENGINEERING-VII-2026): материалы VII Всероссийской (национальной) научной конференции (Красноярск, 11–12 сентября 2026 г.). – Красноярск: Красноярский краевой Дом науки и техники Российского Союза научных и инженерных общественных объединений, 2026. – Т. 20. – С. 17-26. – https://doi.org/10.47813/mip.7.2026.20.3002. – EDN: UFGCLG.

Information analytical integration of the low altitude economy and BIM systems for infrastructure and resource management

P.V. Endutkin*

Krasnoyarsk State Agrarian University, 90 Mira Avenue, Krasnoyarsk, 660049, Russia

*E-mail: endutkin@kp-pro.ru

Abstract. The paper presents a concept of integrating the low-altitude economy and BIM systems in order to improve the efficiency of infrastructure and resource management. The relevance of the study is driven by the development of low-altitude air mobility, the growth of infrastructure networks for unmanned aerial vehicles, and the expanding use of BIM technologies in the digital economy and construction sector. Existing research on the low-altitude economy and BIM mainly addresses these domains separately, which limits the possibilities for comprehensive planning and operation of the associated infrastructure. The aim of the study is to design an integrated information model that links spatial-technical, operational and economic data of low-altitude infrastructure objects with the BIM core. The methodology combines system analysis, structural-functional modelling and conceptual design of the information system architecture. As a result, a four-layer model, an information support architecture and a demonstration scenario for assessing alternative infrastructure configurations and resource provisioning are proposed. It is concluded that extending BIM information support by incorporating low-altitude economy parameters increases data consistency, enables scenario-based analysis and strengthens decision-making for infrastructure development.

Keywords: BIM system, low-altitude economy, information support, infrastructure, digital model, resource management, automation.

For citation: Endutkin, P. V. Information analytical integration of the low altitude economy and BIM systems for infrastructure and resource management / P. V. Endutkin // Modernization, Innovations, Progress (MIP ENGINEERING-VII-2026): Proceedings of the VII All-Russian (National) Scientific Conference (Krasnoyarsk, September 11–12, 2026). – Krasnoyarsk: Krasnoyarsk Regional Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Public Associations, 2026. – Vol. 20. – P. 17-26. – https://doi.org/10.47813/mip.7.2026.20.3002. – EDN: UFGCLG.

1. Введение

Развитие экономики малых высот является одним из заметных направлений современной цифровой и транспортной трансформации территорий, включая использование низковысотного воздушного пространства, инфраструктуры для беспилотных воздушных судов, логистических узлов, посадочных площадок и сопутствующих инженерных систем [1-3]. В научной литературе это направление связывается с территориальным развитием, инфраструктурным обеспечением, организацией потоков, безопасностью и социально-экономическими эффектами, однако вопросы интеграции соответствующих данных с информационными моделями объектов разработаны ограниченно [4-7].

Параллельно с этим технологии информационного моделирования зданий и сооружений получили широкое распространение как инструмент цифрового представления объекта на всех стадиях жизненного цикла. В работах последних лет BIM рассматривается не только как средство проектирования, но и как основа координации участников проекта, управления данными, автоматизации выпуска документации, контроля ресурсов и повышения экономической эффективности строительства [8-10]. Кроме того, научные публикации демонстрируют интеграцию BIM с IoT, GIS, телекоммуникационными системами и системами мониторинга, что существенно расширяет аналитический потенциал BIM-среды [11, 12].

Несмотря на это, в существующих исследованиях практически отсутствует целостная постановка задачи интеграции экономики малых высот и BIM-систем как единой информационно-аналитической среды. Такой дефицит особенно заметен в условиях, когда объекты экономики малых высот имеют пространственную, техническую, ресурсную и экономическую природу одновременно, а принятие решений требует увязки планировочных, эксплуатационных и финансовых параметров [4, 13, 14]. Следовательно, для повышения эффективности информационного обеспечения BIM-систем требуется расширение традиционного состава данных и включение в BIM-контур параметров, описывающих маршруты, загрузку, стоимость инфраструктуры, эксплуатационные режимы и ресурсные ограничения объектов малых высот [15].

Целью настоящего исследования является разработка концепции информационно-аналитической интеграции экономики малых высот и BIM-систем для управления инфраструктурой и ресурсами. Для достижения поставленной цели решаются следующие

задачи: проанализировать особенности предметной области экономики малых высот; определить потенциал BIM-систем как базовой платформы представления инфраструктурных объектов; предложить структуру интегрированной модели данных и архитектуру информационного обеспечения; показать сценарий применения предложенного подхода в задачах инфраструктурного и ресурсного управления.

2. Материалы и методы

Методологическую основу исследования составили системный анализ, структурно-функциональное моделирование и концептуальное проектирование информационной системы [16]. Использование системного анализа обусловлено многокомпонентным характером экономики малых высот, включающим физическую инфраструктуру, маршруты перемещения, технологические процессы, ресурсные потоки и экономические параметры, взаимосвязанные в рамках единой управленческой задачи. Структурно-функциональный подход позволил выделить основные сущности предметной области и определить связи между ними в контуре BIM-ориентированного информационного обеспечения.

Первый этап направлен на декомпозицию объектов экономики малых высот. В качестве ключевых объектов выделены посадочные площадки, логистические хабы, ангары, пункты технического обслуживания, узлы энергоснабжения, диспетчерские элементы и маршруты малых высот. Для каждого типа объекта определяются пространственно-технические характеристики, эксплуатационные параметры и экономические показатели, необходимые для принятия решений. Пространственно-технические характеристики включают местоположение, конфигурацию, пропускную способность и инженерное оснащение; эксплуатационные параметры охватывают режимы работы, нагрузку, состояние и потребление ресурсов; экономические показатели описывают капитальные и эксплуатационные затраты, тарифы, выручку и показатели эффективности.

На втором этапе анализируются функциональные возможности BIM-систем как средства представления и сопровождения инфраструктурных объектов. BIM позволяет формировать единую информационную среду, описывать геометрию и атрибуты объекта, поддерживать междисциплинарную координацию, автоматизировать документацию и использовать данные модели на различных стадиях жизненного цикла [17]. Одновременно исследования по интеграции BIM и IoT, BIM и GIS, а также BIM и систем мониторинга показывают [11,12], что BIM может служить базовым контуром для объединения внешних потоков данных и аналитических сервисов.

На третьем этапе определяется концептуальная модель интеграции экономики малых высот и BIM-систем. В основу модели положено выделение четырех взаимосвязанных слоев: BIM-слоя, экономического слоя, эксплуатационного слоя и интеграционного слоя. BIM-слой обеспечивает описание физической инфраструктуры; экономический слой содержит показатели стоимости, затрат, доходов и эффективности; эксплуатационный слой аккумулирует данные о загрузке, техническом состоянии, энергопотреблении и потоках операций; интеграционный слой реализует сопоставление сущностей, синхронизацию данных и правила агрегации.

В качестве четвертого этапа формируется сценарий применения, ориентированный на сравнение альтернатив инфраструктурного размещения объектов экономики малых высот. Такой сценарий позволяет оценить, как изменение конфигурации сети площадок, состава оборудования и параметров эксплуатации влияет на затраты, загрузку ресурсов и общую эффективность инфраструктуры. Данный сценарий выступает не как полноформатная экспериментальная проверка, а как методическая демонстрация работоспособности предложенной архитектуры и её аналитической применимости. Основные сущности интегрированной модели представлены в таблице 1.

Таблица 1. Состав сущностей интегрированной модели экономики малых высот и BIM-систем.

Слой модели	Основные сущности	Функциональное назначение
BIM-слой	Площадка, хаб, ангар, инженерные сети, зона обслуживания	Пространственно-техническое описание инфраструктурных объектов и их атрибутов
Экономический слой	CAPEX, OPEX, тариф, загрузка, выручка, срок окупаемости	Оценка экономической эффективности и альтернатив развития инфраструктуры
Эксплуатационный слой	Потоки операций, энергопотребление, техобслуживание, доступность	Поддержка мониторинга состояния, режимов работы и ресурсной обеспеченности
Интеграционный слой	Идентификаторы объектов, правила агрегации, API, механизмы обмена	Согласование данных, межсистемная синхронизация и поддержка аналитических

Представленная в таблице 1 структура слоёв и сущностей задаёт формализованную основу метода, позволяя строго разделять типы данных и одновременно обеспечивать их согласованную обработку в одной информационной модели. Это делает возможным воспроизводимую настройку интеграции для различных объектов и сценариев экономики малых высот.

3. Результаты и обсуждение

Предложенная концепция информационно-аналитической интеграции экономики малых высот и BIM-систем, в которой BIM выступает базовым пространственно-техническим контуром, а экономические и эксплуатационные данные формируют связанные аналитические подсистемы. Такой подход позволяет отказаться от фрагментарного хранения данных, при котором проектные сведения о площадках, узлах и инженерной инфраструктуре существуют отдельно от расчетов затрат, сценариев загрузки и эксплуатационных показателей.

В результате становится возможной разработка структурной схемы интегрированной информационной модели. В этой схеме каждый инфраструктурный объект экономики малых высот, представленный в BIM-модели, дополняется набором атрибутов, относящихся к его экономике и эксплуатации. Например, для посадочной площадки могут быть заданы капитальные затраты на создание, стоимость обслуживания, допустимая интенсивность операций, доступность энергоснабжения, уровень загрузки и прогнозируемая выручка от предоставления сервисов. Аналогичным образом логистический хаб или склад могут быть описаны как пространственно определенные BIM-объекты, связанные с маршрутами малых высот, объемом операций и ресурсной потребностью.

Архитектура информационного обеспечения предусматривает интеграцию нескольких функциональных контуров (уровней). На нижнем уровне располагается хранилище BIM-модели как единая база пространственно-технических данных по объектам инфраструктуры. На следующем уровне размещается хранилище экономических и эксплуатационных параметров, содержащее показатели затрат, доходности, ресурсного потребления и состояния объектов. Над ними функционирует интеграционный модуль, обеспечивающий сопоставление сущностей, актуализацию идентификаторов, обмен данными и запуск аналитических процедур. На верхнем уровне находятся прикладные сервисы, ориентированные на сравнение сценариев, визуализацию параметров и поддержку управленческих решений.

В рамках сценария применения предложенного подхода, рассматривается сеть инфраструктурных объектов малых высот на городской или региональной территории, включающая несколько площадок, один или несколько хабов, а также инженерные и диспетчерские элементы. При наличии BIM-моделей этих объектов система позволяет сопоставить проектные параметры с эксплуатационными и экономическими данными, после чего сформировать несколько альтернатив конфигурации сети. В рамках одной альтернативы может увеличиваться число площадок, а в другой, например, усиливаться ресурсная

оснащенность существующих узлов. Еще один альтернативный вариант обеспечивает изменение интенсивности маршрутов и режимов эксплуатации.

Следует отметить, что применение интегрированной модели в таком сценарии позволяет получить ряд аналитических эффектов. Во-первых, появляется возможность оценивать влияние пространственно-планировочных решений на экономические показатели без разрыва между инженерной и финансовой информацией. Во-вторых, обеспечивается более точная оценка загрузки ресурсов, включая энергоснабжение, техническое обслуживание и доступность инфраструктуры, за счет использования связанных атрибутов объекта и данных мониторинга [18]. В-третьих, повышается качество визуализации решений, поскольку аналитические показатели могут быть интерпретированы непосредственно в контексте BIM-модели и территориального размещения объектов [19].

Представленные результаты позволяют уточнить роль BIM в задачах экономики малых высот. Если в традиционном подходе BIM преимущественно обслуживает проектирование и координацию строительства, то в предложенной модели BIM расширяется до уровня платформы интегрированного управления инфраструктурой и ресурсами. Это особенно важно для развивающихся территориальных систем, где каждое решение по размещению, конфигурации или модернизации объекта связано не только с геометрией и инженерией, но и с транспортно-логистическими потоками, стоимостью эксплуатации и режимами обслуживания.

Таким образом, полученные результаты позволяют интерпретировать интеграцию экономики малых высот и BIM-систем как перспективное направление развития информационного обеспечения BIM в контексте инженерии, автоматизации и цифрового управления инфраструктурой. Научная значимость предложенного подхода состоит в том, что он расширяет предметную область BIM за пределы традиционного строительного описания объекта и включает в неё пространственно связанные экономические и эксплуатационные параметры. Тем самым BIM-система начинает выполнять не только функцию моделирования объекта, но и функцию координации аналитических данных, необходимых для поддержки решений по инфраструктурному развитию [20].

С практической точки зрения предложенная модель может использоваться для задач предварительного планирования и модернизации инфраструктуры малых высот, выбора состава ресурсного оснащения, оценки альтернатив размещения площадок и анализа загруженности объектов. Интеграция BIM с экономическими и мониторинговыми данными особенно важна в тех случаях, когда инфраструктурные объекты функционируют как взаимосвязанная сеть, а не как набор изолированных сооружений. В такой ситуации

эффективность определяется не только качеством отдельного объекта, но и согласованностью всей системы маршрутов, сервисных узлов, ресурсов и режимов обслуживания.

Предложенный подход согласуется с направлениями развития BIM, связанными с интеграцией с IoT, GIS, системами мониторинга и концепцией цифровых двойников. Если BIM и GIS обеспечивают пространственный и территориальный уровень описания, а IoT и мониторинг дают потоковые данные о функционировании, то экономический слой делает возможным переход от наблюдения и координации к оценке эффективности и обоснованию управленческих решений. Для тематики повышения эффективности информационного обеспечения BIM-систем это означает повышение полноты данных, улучшение межсистемной согласованности и расширение набора аналитических сценариев, доступных пользователю. При практической реализации особое значение будут иметь вопросы достоверности мониторинговых данных, унификации атрибутов BIM-объектов и масштабируемости аналитических сервисов в региональных системах малых высот.

4. Заключение

Рассмотренная концепция информационно-аналитической интеграции экономики малых высот и BIM-систем ориентирована на управление инфраструктурой и ресурсами в условиях расширения цифровых транспортно-логистических сервисов. При этом BIM может выступать не только средством проектного моделирования, но и базовой платформой для согласованного представления пространственно-технических, экономических и эксплуатационных данных. Разработанная четырехслойная модель и соответствующая архитектура информационного обеспечения создают предпосылки для повышения полноты, структурированности и прикладной значимости данных, используемых в управленческих процессах.

Практическая ценность результатов состоит в возможности их применения при проектировании цифровых платформ для инфраструктуры малых высот, разработке аналитических сервисов и совершенствовании методов информационного обеспечения BIM-систем. Научная перспектива заключается в переходе от концептуальной модели к программному прототипу с последующей апробацией на реальных объектах и сценариях эксплуатации.

Список литературы

1. Ковалев, И. В. Анализ системных аспектов развития экономики малых высот и интеграции технологий / И. В. Ковалев, Д. С. Покусаев, С. Р. Кузьмик // Информатика. Экономика.

Управление. – 2025. – Т. 4, № 3. – С. 4001–4013. – https://doi.org/10.47813/2782-5280-2025-4-3-4001-4013. – EDN: ZWTLWY.

2. Рязанов, А. А. Трансформация малой авиации КНР в «экономику низких высот» / А. А. Рязанов // Индустриальная экономика. – 2024. – № S2. – С. 130–138. – https://doi.org/10.47576/2949-1886.2024.70.56.019. – EDN: CXWCQF.
3. Ковалев, И. В. К вопросу формирования блочно-модульной структуры системы управления беспилотных летательных объектов / И. В. Ковалев, В. В. Лосев, М. В. Сарамуд, А. О. Калинин, А. С. Лифарь // Современные инновации, системы и технологии. – 2021. – Т. 1, № 3. – С. 54–71. – https://doi.org/10.47813/2782-2818-2021-1-3-48-64. – EDN: ECMMWF.
4. Ендуткин, П. В. Концептуальные принципы архитектуры многокомпонентного информационного обеспечения BIM-систем / П. В. Ендуткин, И. В. Ковалев // Информатика. Экономика. Управление. – 2024. – Т. 3, № 4. – С. 0330–0338. – https://doi.org/10.47813/2782-5280-2024-3-4-0330-0338. – EDN: DTFQEO.
5. Yuronen, Yu. P. The concept of creation of information system for environmental monitoring based on modern GIS-technologies and earth remote sensing data / Yu. P. Yuronen, E. A. Yuronen, V. V. Ivanov, I. V. Kovalev, P. V. Zelenkov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2015. – Vol. 94. – Art. 012023. – https://doi.org/10.1088/1757-899X/94/1/012023. – EDN: VALBXD.
6. Shkundalov, D. Bibliometric analysis of Building Information Modeling, Geographic Information Systems and Web environment integration / D. Shkundalov, T. Vilutienė // Automation in Construction. – 2021. – Vol. 128. – Art. 103757. – https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103757.
7. Kovalev, I. Model implementation of the simulation environment of voting algorithms, as a dynamic system for increasing the reliability of the control complex of autonomous unmanned objects / I. Kovalev, V. Losev, M. Saramud, M. Petrosyan // MATEC Web of Conferences. – 2017. – Vol. 132. – Art. 04011. – https://doi.org/10.1051/matecconf/201713204011. – EDN: XNKSVN.
8. Дорофеев, Е. П. BIM-системы как инновационные инструменты в проектировании и строительстве / Е. П. Дорофеев // Экономика строительства. – 2023. – № 7. – С. 55–57. – EDN: ONODVV.
9. Ковалев, И. В. Анализ эффективности организационно-технологических комплексов предприятий / И. В. Ковалев, А. А. Новожилов, Т. А. Рукавицына // Системы управления и информационные технологии. – 2010. – № 4 (42). – С. 36–39.

10. Городнова, Н. В. Применение BIM-технологий в цифровой экономике: мировой опыт и российская практика / Н. В. Городнова, В. А. Лемеза // Экономика, предпринимательство и право. – 2022. – Т. 12, № 8. – С. 2241–2260. – https://doi.org/10.18334/epp.12.8.115082. – EDN: XSISOS.
11. Абрамян, С. Г. Интеграция BIM и ГИС технологий в целях обеспечения экологической безопасности строительства / С. Г. Абрамян, А. В. Котляревская, О. В. Оганесян, А. О. Бурлаченко, А. А. Дикмеджян // Международный научно-исследовательский журнал. – 2020. – № 5 (95), ч. 1. – С. 32–35. – https://doi.org–/10.23670/IRJ.2020.95.5.004. – EDN: YJZWJL.
12. Барановский, И. В. Анализ мирового опыта внедрения BIM-технологий и их интеграция с телекоммуникационными системами: перспективы для Республики Беларусь / И. В. Барановский, И. В. Тимошкевич // Цифровая трансформация. – 2025. – Т. 31, № 3. – С. 54–65. – https://doi.org/10.35596/1729-7648-20–25-31-3-54-65. – EDN: PAVVQQ.
13. Kovalev, I. Conceptual basis for digitalization of specifications of transport and technological cycles of agricultural UAVs / I. Kovalev, D. Kovalev, K. Astanakulov, V. Podoplelova, D. Borovinsky, S. Efa // E3S Web of Conferences. – 2023. – Vol. 443. – Art. 06014. – https://doi.org/10.1051/e3sconf/202344306014. – EDN: QEBFFO.
14. Ендуткин, П. В. К вопросу анализа транзакционной надежности многокомпонентного информационного обеспечения BIM-систем / П. В. Ендуткин, Е. В. Туева // Современные инновации, системы и технологии. – 2025. – Т. 5, № 2. – С. 3040–3049. – https://doi.org/10.47813/2782-2818-2025-5-2-3040-3049. – EDN: ILFKJG.
15. Kovalev, I. Cost-effectiveness analysis of the implementation of transport and technological cycles in the swarm use of agricultural UAVs / I. Kovalev, D. Kovalev, K. Astanakulov, V. Podoplelova, A. Voroshilova, Z. Shaporova // E3S Web of Conferences. – 2024. – Vol. 471. – Art. 04017. – https://doi.org/10.1051/e3sconf/202447104017. – EDN: LGAJJO.
16. Распопин, Н. А. Модели и методы оптимизации сбора и обработки информации / Н. А. Распопин, М. В. Карасева, П. В. Зеленков, Е. В. Каюков, И. В. Ковалев // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М. Ф. Решетнева. – 2012. – Т. 13, № 2 (42). – С. 69–72. – EDN: PBYXSD.
17. Широбокова, Д. А. Автоматизация работы предприятия с помощью BIM-технологии / Д. А. Широбокова, М. А. Кожевникова // Уральские ТИМ чтения. Технологии информационного моделирования зданий и территорий – BIMSoft 2021: материалы Всероссийской научно-практической конференции (Екатеринбург, 20–21 мая 2021 г.). – Екатеринбург: Издательство УМЦ УПИ, 2021. – С. 69–80.

18. Kovalev, I. V. Multiversion environment creation for control algorithm execution by autonomous unmanned objects / I. V. Kovalev, P. V. Zelenkov, V. V. Losev, D. I. Kovalev, N. V. Ivleva, M. V. Saramud // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2017. – Vol. 173. – Art. 012025. – https://doi.org/10.1088/1757-899X/173/1/012025. – EDN: YVPDPB.
19. Wang, S. TopoDimRed: a novel dimension reduction technique for topological data analysis / S. Wang, B. Chen // Informatics. Economics. Management. – 2023. – Vol. 2, No. 2. – P. 0201–0213. – https://doi.org/10.47813/2782-5280-2023-2-2-0201-0213. – EDN: GUGCET.
20. Денисенко, В. В. Системы для анализа информационной инфраструктуры и информационных объектов предприятия / В. В. Денисенко, А. М. Гончаров, В. В. Окорокова // Современные инновации, системы и технологии. – 2024. – Т. 4, № 4. – С. 0227–0237. – https://doi.org/10.47813/2782-2818-2024-4-4-0227-0237. – EDN: XQKGCY.