

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 69.05

DOI: 10.22227/1997-0935.2026.7.1229-1249

Управление жизненным циклом многофункциональных объектов строительства на основе модели сквозных процессов

Антон Павлович Храбров

Национальный исследовательский Московский государственный
строительный университет (НИУ МГСУ); г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Приведены результаты исследования жизненного цикла (ЖЦ) многофункциональных объектов строительства с учетом их функциональной специфики. Научная проблема исследования заключается в несоответствии существующих способов управления проектами строительства многофункциональных объектов современным требованиям к качеству и эффективности их реализации в рамках теории управления ЖЦ. Объектом исследования являются организационно-технологические решения (ОТР), реализуемые в рамках сквозных процессов через этапы проектирования, строительства и эксплуатации в ходе ЖЦ. Предмет исследования — комплекс критериев оценки качества принимаемых решений: стоимости, надежности, технологичности и функциональности. Цель исследования — разработка многокритериальной системы оценки комплекса ОТР для управления ключевыми сквозными процессами ЖЦ многофункционального объекта.

Материалы и методы. В качестве материалов исследования предложена база данных ОТР, привязанных к этапу ЖЦ строительного объекта и виду сквозного процесса. Разработанная математическая модель выбора и оценки проектных решений на основе матричного метода обработки данных позволяет проводить комплексный анализ эффективности проекта строительства в течение ЖЦ многофункционального объекта.

Результаты. Представлены: база данных ОТР для сквозных процессов на протяжении ЖЦ многофункционального объекта строительства, математическая модель выбора и комплексной оценки проектных решений, практический инструмент управления ЖЦ на основе сравнения различных сценариев организации этапов жизненного цикла и выбора оптимального по критерию стоимости и технологическим характеристикам решений.

Выводы. Область применения инструмента оценки лежит в постановке задачи оптимизации стоимостных и технических характеристик сценария управления ЖЦ многофункционального объекта. Оптимальный выбор технологий, материалов и планировочных решений дает возможность снизить затраты на строительство и эксплуатацию, повысить долговечность и комфортность зданий.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: управление жизненным циклом, многофункциональный объект строительства, сквозной процесс, система оценки, организационно-технологические решения, многокритериальный анализ, матричная формализация, база данных

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Храбров А.П. Управление жизненным циклом многофункциональных объектов строительства на основе модели сквозных процессов // Вестник МГСУ. 2026. Т. 21. Вып. 7. С. 1229–1249. DOI: 10.22227/1997-0935.2026.7.1229-1249

Автор, ответственный за переписку: Антон Павлович Храбров, a.khrabrov@cckgroup.ru.

Life cycle management of multifunctional construction projects based on an end-to-end process model

Anton P. Khrabrov

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU);
Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The paper presents the results of a study of the life cycle of multifunctional construction facilities, taking into account their functional specifics. The scientific problem of the study is the discrepancy between the existing methods of managing projects for the construction of multifunctional facilities and modern requirements for the quality and effectiveness of their implementation within the framework of the theory of life cycle management. The object of the research is organizational and technological solutions implemented within the framework of end-to-end processes through the stages of design, construction and operation within the life cycle. The subject of the research is a set of criteria for assessing the quality of decisions made: cost, reliability, adaptability and functionality. The purpose of the research is to develop a multi-criteria evaluation system for a set of organizational and technological solutions for managing key end-to-end processes of the multifunctional facility's life cycle.

Materials and methods. A database of organizational and technological solutions related to the stage of the life cycle of a construction facility and the type of end-to-end process was proposed as research materials. The developed mathemati-

cal model for selecting and evaluating design solutions based on the matrix data processing method allows for a comprehensive analysis of the effectiveness of a construction project during the life cycle of a multifunctional facility.

Results. The research results include: a database of organizational and technological solutions for end-to-end processes throughout the life cycle of a multifunctional construction facility, a mathematical model for selecting and comprehensively evaluating design solutions, and a practical life cycle management tool based on comparing different scenarios for organizing life cycle stages and selecting optimal solutions based on cost and technological characteristics.

Conclusions. The scope of the assessment tool lies in setting the task of optimizing the cost and technical characteristics of the life cycle management scenario of a multifunctional facility. The optimal choice of technologies, materials, and planning solutions reduces construction and maintenance costs, and increases the durability and comfort of buildings.

KEYWORDS: life cycle management, multifunctional construction facility, end-to-end process, evaluation system, organizational and technological solutions, multi-criteria analysis, matrix formalization, database

FOR CITATION: Khrabrov A.P. Life cycle management of multifunctional construction projects based on an end-to-end process model. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2026; 21(7):1229-1249. DOI: 10.22227/1997-0935.2026.7.1229-1249 (rus.).

Corresponding author: Anton P. Khrabrov, a.khrabrov@cckgroup.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Современный тренд в развитии коммерческой недвижимости в городах определяет растущую популярность строительства многофункциональных объектов, способных гибко подстраиваться под потребительский спрос населения. Это обеспечивает стабильность загрузки площадей здания и, как следствие, максимальную эффективность реализации проекта [1–3].

Следующий тренд лежит в области управления строительными проектами на базе концепции жизненного цикла (ЖЦ). Он определяет все больший интерес девелоперских компаний к реализации полного ЖЦ, начиная с этапа планирования до сноса здания, что позволяет расширить границы бизнеса [4, 5]. Мировая практика показывает эффективность такого способа управления: интегрированный процесс принятия взаимосвязанных организационно-технологических решений (ОТР) от этапа к этапу позволяет экономить до 30 % затрат и повышать прибыльность проекта [6, 7].

Управление ЖЦ строительного объекта на основе его оценки (Life cycle assessment (LCA)) основано на комплексном анализе бизнес-проекта на стадиях планирования, проектирования, строительства, эксплуатации, редевелопмента и сноса, что обеспечивает понимание объекта как динамической системы с долгосрочными последствиями [8]. Преимущества реализации такого подхода лежат в сфере достижения множества целей современных концепций городского девелопмента:

1. Концепции гибкости городских решений и быстрой адаптации к условиям изменяющегося пользовательского спроса, что ведет к повышению экономической эффективности строительного проекта [9, 10].
 2. Концепции циркулярной экономики, нацеленной на экономию ресурсов при взаимоувязанном планировании расходов на строительство и эксплуатацию объекта [11, 12].
 3. Концепции цифрового управления, основанной на создании единой BIM-модели и реализации на ее основе интегрированных процессов управления [13, 14].
- Таким образом, управление ЖЦ отвечает за сквозное планирование, нацеленное на максимизацию до-

ходности проекта строительства, оптимизацию затрат на создание объекта, а также вклад в реализацию цели устойчивого городского развития как мирового тренда городского строительства [15, 16].

Анализ мировой и отечественной практики строительства многофункциональных объектов показывает наличие ряда особенностей, отражение которых в процессе управления ЖЦ подобных проектов будет играть ключевую роль в его будущей доходности и определять порядок принятия решений (табл. 1).

В первую очередь, особенностью является повышенная социальная роль многофункционального объекта в городе, что накладывает ответственность за корректный выбор участка с оптимальными условиями транспортной и пешеходной доступности, а также учета интенсивности использования территории в зоне влияния объекта [17]. Повышенные требования к надежности, функциональности, безопасности объекта для различных групп населения определяют выбор соответствующих проектных решений [18].

Немаловажной особенностью остается и целесообразность гибкого управления арендными площадями в соответствии с изменением потребительского спроса, что диктует потребность создания системы контроля и активного реагирования на функциональное заполнение площадей [19]. Указанная особенность определяет частую необходимость редевелопмента или реконструкции здания, и учет данного аспекта при выборе планировочных, конструктивных и инженерных решений здания на этапе проектирования позволит оптимизировать затраты на данный процесс. Он может заключаться в организации малого объема ремонтных работ по изменению внутренней отделки или несущих конструкций здания или его полной реконструкции конструкций. Мировой опыт показывает, что периодичность этого этапа, как правило, от 1 до 5 лет, что требует учета при управлении зданием на всем протяжении его ЖЦ [20].

В области научных исследований актуальными направлениями управления ЖЦ многофункциональных объектов являются:

- применение цифровых инструментов управления на протяжении всего ЖЦ [21–23];

Табл. 1. Особенности управления многофункциональных объектов

Table 1. Management features of multifunctional facilities

Особенности многофункциональных объектов Features of multifunctional facilities	Сквозной процесс управления End-to-end management process	Направления реализации сквозного процесса Directions of implementation of the end-to-end process
Повышенная социальная роль объектов в городе как центров предоставления услуг The increased social role of facilities in the city as service delivery centers	Управление потребительским спросом Consumer demand management	Частая, по сравнению с монофункциональными зданиями, необходимость разработки проектов редевелопмента/реконструкции здания. Требования к обеспечению условий доступности к объекту для различных групп пользователей. Требования к организации универсальной среды. Требования к повышенной надежности и функциональности проектных решений Requirements for ensuring accessibility conditions to the facility for various user groups. Requirements for the organization of a universal environment. There is a frequent need to develop redevelopment/reconstruction projects in comparison with monofunctional buildings. Requirements for increased reliability and functionality of design solutions
Быстрая сменяемость арендаторов и необходимость адаптации пространства под новые функции The rapid turnover of tenants and the need to adapt the space to new functions	Управление материальными потоками и ресурсами Management of material flows and resources	Гибкость пространственно-планировочных решений. Организация технологических процессов в здании. Особые требования к ремонтпригодности и замене конструкций. Системы управления арендным бизнесом Flexibility of spatial planning solutions. Organization of technological processes in the building. Special requirements for maintainability and replacement of structures. Rental business management systems
Повышенные объемы информации по управлению многофункциональностью Increased amounts of information on multi- functionality management	Цифровое управление и контроль Digital management and control	Долгосрочное процессное планирование и прогнозирование целевых характеристик. Сбор, хранение документации. Системы организации взаимосвязанных процессов Collection and storage of documentation. Long-term process planning and forecasting of target characteristics. Systems for organizing interconnected processes
Повышенные требования к безопасности различных групп населения Increased safety requirements for various groups of the population	Управление безопасностью Security management	Требования ГО и ЧС. Экологическая безопасность. Пожарная безопасность и др. Civil defense and emergency requirements. Environmental safety. Fire safety, etc.
Требование соответствия социальных объектов принципам устойчивого развития The requirement of compliance of social facilities with the principles of sustainable development	Управление энергоэффективностью Energy efficiency management	Системы интегрированного управления работой инженерных систем. Технологии умного дома. Мероприятия по повышению энергоэффективности архитектурно-планировочных и конструктивных решений Integrated management systems for engineering systems. Smart home technologies. Measures to improve the energy efficiency of architectural planning and design solutions

- использование современных технологий проектирования, строительства и эксплуатации, нацеленных на повышение надежности, функциональности и технологичности процессов [24, 25];
- реализация сквозных мероприятий по обеспечению экологической безопасности объекта строительства и минимизации вредного воздействия от его эксплуатации на городскую среду;
- вопросы энергоэффективности, рационального использования ресурсов, их рециркуляции и снижения выбросов углекислого газа в процессе эксплуатации [26, 27];
- вопросы изучения социальных эффектов в области формирования многофункциональной городской среды [28, 29];
- вопросы потребительского менеджмента при гибком управлении площадями аренды и способы повышения эффективности проекта [30, 31].

Особое внимание уделяется разработке и научному обоснованию практических инструментов принятия решений в области сквозного управления организационно-технологическими процессами на протяжении ЖЦ на основе методов математического моделирования, многокритериального анализа, технологий обработки больших данных, использования инструмента прогнозирования на базе искусственного интеллекта [32–35].

В настоящее время для России это направление исследований — новое и актуальное, что определяется появлением на рынке девелоперских компаний, предлагающих услуги по сквозному управлению ЖЦ, и недостаточным развитием научно-методической базы для создания инструментов управления ЖЦ многофункциональных объектов.

В отечественной науке управление ЖЦ представляет собой междисциплинарное направление, интегрирующее вопросы проектирования, организации строительного процесса, инженерии, экономики, цифрового менеджмента и экологии. В области проектирования и строительства объектов общественного назначения представлены исследованиями таких российских авторов, как А.А. Лапидус, Л.А. Адамцевич, А.В. Звягинцева [29, 32, 33], которые подчеркивают роль выбора технологий строительства и методов организации строительного производства при управлении ЖЦ. В работах таких авторов, как П.Г. Грабовый, В.В. Волгин, Т.З. Азимов, А.С. Трошин [21, 35, 36–38] рассматриваются вопросы управления рисками при реализации ЖЦ строительных объектов, а также области их возникновения. Исследование Н.Г. Верстиной [20] посвящено анализу современных подходов к обеспечению устойчивого развития строительных организаций. В трудах С.Г. Шеиной [24, 30], В.Я. Мищенко [24] определены особенности оценки стоимости ЖЦ.

Особое внимание в научной сфере уделено применению цифровых технологий. В исследованиях В.И. Травуша, А.Н. Овчинникова и А.А. Волкова,

А.М. Эльмурзаева [22, 23, 25] представлены подходы к информационному моделированию надежности организационно-технологической последовательности строительства. А.О. Рыбакова, В.А. Волкодав, И.А. Волкодав [39, 40] рассмотрели вопросы информационного моделирования и область BIM-технологий для управления ЖЦ зданий. Вопросы эколого-экономического обоснования ЖЦ, которые входят в состав исследования, определены в работе А.А. Бенужа [27], в которой представлена эколого-экономическая модель ЖЦ здания на основе концепции «зеленого» строительства.

Необходимо отметить высокий вклад профессора Л.А. Опариной в многостороннее развитие темы управления ЖЦ, в ее работах представлены и методологически описаны методы применения искусственного интеллекта при реализации технологических процессов строительства [41, 42], а также один подход к реализации сквозного процесса рационального использования материалов при реализации «бережливого производства», рассматриваемых в настоящем исследовании.

Объекты исследования — многофункциональные здания, которые имеют особенности и специфику организации их ЖЦ. Она рассматривалась в работе А.С. Романцова [28] как определение многофункционального комплекса коммерческой недвижимости, а также в ранее выполненной работе автора [34].

Результаты изучения трудов отечественных ученых легли в основу разработки авторского подхода к управлению ЖЦ многофункциональных зданий с учетом комплекса технологических, организационных, экологических, экономических факторов и определили цель данного исследования — построение модели сквозных процессов с учетом особенностей управления ЖЦ многофункциональных объектов строительства и разработка инструмента оценки вариантов ОТР, принимаемых на каждой из стадий ЖЦ на основе матричного метода.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования выступает ЖЦ многофункционального объекта строительства, который включает основные этапы: планирование, проектирование, строительство, эксплуатация, редевелопмент и снос. Управление ЖЦ заключается в последовательной организации и контроле сквозных процессов принятия ОТР, имеющих единую цель эффективности. Это позволяет превратить разрозненные этапы в единый управляемый поток информации и материальных ценностей, где все решения скоординированы между собой в рамках единой системы управления.

Для целей исследования определены три этапа ЖЦ, на которых принимаются организационно-технологические решения:

- этап проектирования/редевелопмента — основная стадия принятия ОТР на этапах создания

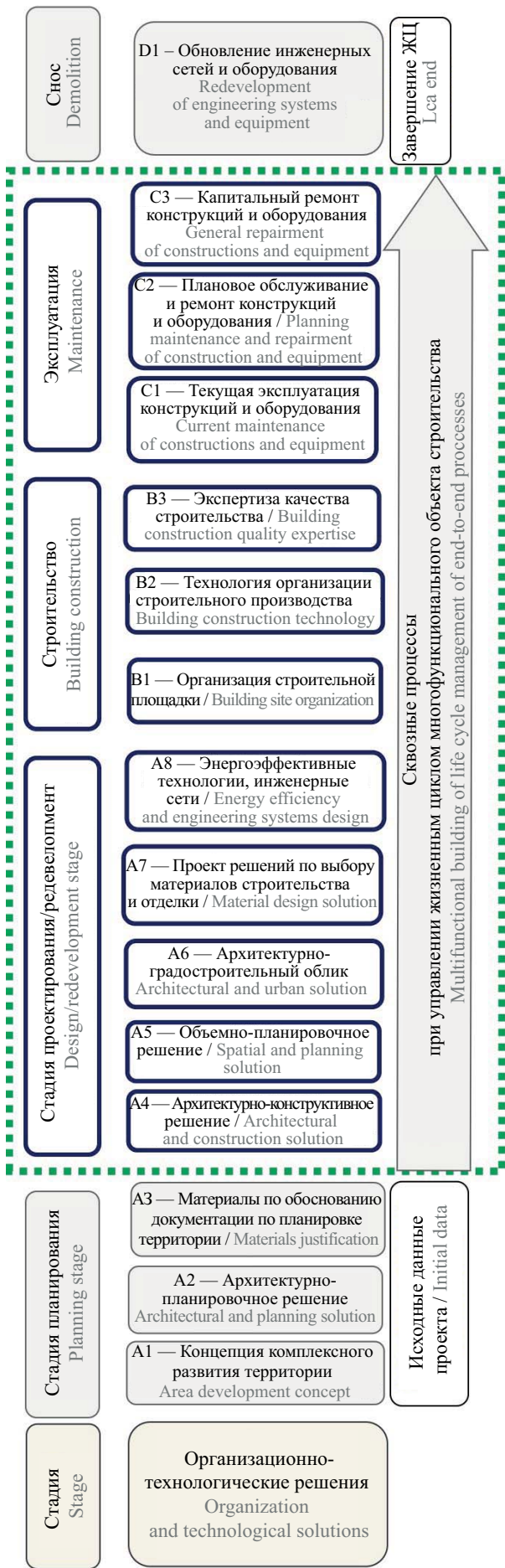


Рис. 1. Структура данных жизненного цикла многофункционального объекта
Fig. 1. The data structure of the life cycle of a multifunctional object

проекта и реализации редевелопмента для адаптации к изменению потребительского спроса;

- этап строительства — стадия создания объекта строительства и область принятия решений по организации строительного производства и контроля качества строительства;

- этап эксплуатации — стадия принятия управленческих решений по типу реализации ОТР по управлению состоянием объекта строительства с целью обеспечения максимальной доходности.

Этап планирования принимается в виде исходных данных для реализации проекта, определяющих финансовую модель его реализации. Этап сноса принимается как окончание ЖЦ и завершение процесса управления.

Редевелопмент является главной особенностью в управлении ЖЦ многофункционального объекта строительства, представляющий часто повторяющийся процесс для гибкой адаптации к потребительскому спросу на предоставляемые услуги со стороны населения.

На рис. 1 представлена структура данных исследования ЖЦ многофункционального объекта, которая включает три основных измерения.

1. Измерение 1 S — этапы ЖЦ:

$$S = \sum S_i, \text{ где } i = \{1, 2, 3\}, \quad (1)$$

где S_1 — этап проектирования; S_2 — этап строительства; S_3 — этап эксплуатации.

2. Измерение 2 G — группы организационно-технологических решений внутри этапа:

$$G = \sum G_j; j = \{1, 2, 3 \dots n\}. \quad (2)$$

Нумерация мероприятий назначается сквозной, где первый индекс — порядковый номер S_i и далее, порядковый номер группы и подгруппы решения. Мероприятия формируют базу данных для управления ЖЦ многофункционального объекта.

3. Измерение 3 K — рассматриваемые сквозные процессы, обеспечивающие эффективность управления ЖЦ многофункционального объекта:

$$K = \sum K_n; n = \{1, 2, 3, 4\}, \quad (3)$$

где K_1 — управление потребительским спросом: комплекс ОТР в области адаптации площадей здания под потребительский спрос; K_2 — управление материальными потоками ресурсами: комплекс ОТР по планированию, закупке, логистике, контролю и утилизации всех физических материалов, необходимых для реализации проекта; K_3 — цифровое управление и контроль: создание единой, непрерывной цифровой среды на основе данных, которая обеспечивает прозрачность, прогнозируемость и оптимальное принятие решений на всех этапах; K_4 — управление безопасностью: целостная, системная и проактивная практика, интегрированная на всех этапах ЖЦ, направленная на минимизацию рисков и обеспечение благополучия для всех участников, взаимодействующих с объектом.

Таким образом, в качестве объекта исследования имеем четкую трехмерную структуру данных в виде матрицы M (этапы $S \times$ группы решений $G \times$ сквозные процессы K). Задача исследования — разработка и обоснование прикладного инструмента для принятия решений по выбору ОТР, определяющих эффективность управления ЖЦ на всем его протяжении, и нужно выбрать оптимальный набор мероприятий по заданным критериям.

В ходе исследования в качестве критериев эффективности E определены четыре параметра:

$$E = \sum(C, R, F, T), \quad (4)$$

где C (Cost) — стоимость реализации мероприятий, денежные единицы; R (Reliability) — надежность, как вклад в общую надежность системы, доля, значение определяется лимитирующим значением. Целевой показатель надежности назначается не менее лимитирующего показателя; F (Functionality) — функциональность, как степень выполнения целевых функций, доля; T (Technology) — технологичность, как уровень внедренных технологий, доля.

Они являются едиными для оценки проектных решений на каждом из этапов (ЖЦ). Оценка эффективности сквозного процесса проводится на основе анализа значения итогового интегрального показателя и сравнения их значения для различных сценариев управления. Он рассчитывается в виде итогового вектора оценки набора решений (Project Evaluation Vector — PEV):

$$PEV = f(C, R, F, T). \quad (5)$$

Порядок исследования представлен в виде четырехшаговой процедуры, целью которой является разработка инструмента управления сквозными процессами на протяжении ЖЦ многофункционального объекта, основанного на системе принятия ОТР, обеспечивающих заданные параметры эффективности (рис. 2).

Первые три блока необходимы для моделирования процесса управления ЖЦ многофункционального объекта строительства на основе разработанной базы данных (рис. 3). Четвертый блок модели определяет принятие обоснованных решений и возможности гибкого управления жизненным циклом.

Блок 1. Формирование базы данных ОТР представляет собой исходные сведения для управления ЖЦ многофункционального объекта строительства. База данных (рис. 4) — это генеральная совокупность всех организационно-технологических решений, которые могут быть реализованы для каждого из рассматриваемых сквозных процессов управления ЖЦ. Модель оценки определяется как трехмерная структура данных $M [S, G, K]$. Каждая запись базы данных представляет собой решение x , описываемое совокупностью полей:

- 1) этап жизненного цикла S_i ;
- 2) группа решений G_j ;
- 3) обеспечиваемый сквозной процесс K_n .

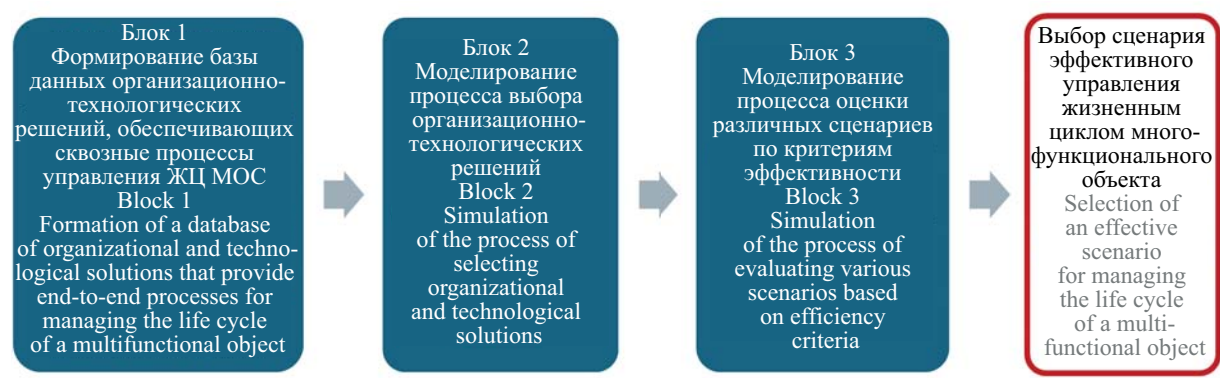


Рис. 2. Моделирование процесса эффективного управления жизненным циклом на основе оценки организационно-технологических решений при реализации сквозных процессов

Fig. 2. Modelling the process of effective life cycle management based on the assessment of organizational and technological solutions in the implementation of end-to-end processes

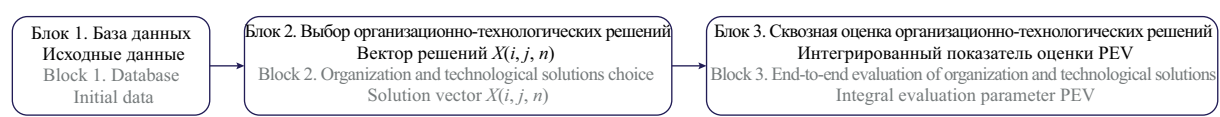


Рис. 3. Структура базы данных

Fig. 3. Database structure

Блок 1 Исходных данных / Block 1 Of the source data					
1		2			3
Этап жизненного цикла Life cycle stage		Организационно-технологические решения Organizational and technological			Сквозной процесс End-to-end process solutions
S		G			K
Этап / Stage	i	Группа Group	Подгруппа Sub group	Решение j Solution j	n
Проектирование Design	1	1	1.1	1.1.1	{1, 2, 3, 4}
				1.1. n	
		1.2	1.2.1	1.2.1	
				1.2. n	
		...	...	...	
				...	
Строительство Construction	2	1	1.1	1.1.1	
				1.1. n	
		1.2	1.2.1	1.2.1	
				1.2. n	
		...	...	...	
				...	
Эксплуатация Maintenance	3	1	1.1	1.1.1	
				1.1. n	
		1.2	1.2.1	1.2.1	
				1.2. n	
		...	...	...	
				...	

Рис. 4. Структура базы данных организационно-технологических решений (Блок 1)

Fig. 4. The structure of the database of organizational and technological solutions (Block 1)

Блок 2. Моделирование процесса выбора ОТР, основанное на матричном инструменте обработки базы данных.

На данном этапе проводится моделирование различных сценариев управления ЖЦ многофункционального объекта путем выбора различных сочетаний ОТР. Элементом матрицы является конкретное решение X , имеющее набор атрибутов (i, j, n) :

$$X[i, j, n] = \{0, 1\}, \tag{6}$$

где 0 — решение не выбрано; 1 — решение выбрано для реализации.

Результатом этапа стала таблица с набором или наборами ОТР для рассматриваемых сценариев управления ЖЦ в виде столбца данных с ненулевыми значениями X (рис. 5).

Количество наборов решений определяется экспертным путем в процессе разработки политики управления ЖЦ.

Блок 3. Моделирование процесса оценки различных сценариев по критериям эффективности в зависимости от поставленных целевых показателей стратегического планирования. Обработка каждого решения по заданным критериям $E_n(C, R, F, T)$ позволяет проводить сквозную оценку по каждому из критериев и их совокупности.

Блок 2 Выбор организационно-технологический решений Block 2 The choice of organizational and technological solutions
4
Свертка матрицы для сценария выбора набора решений с индексом 1 Convolution of the matrix for the scenario of choosing a set of solutions with index 1
$X(i, j, n)$
$x(i, j, n)$
...

Рис. 5. Выбор организационно-технологических решений (Блок 2)

Fig. 5. The choice of organizational and technological solutions (Block 2)

По критерию стоимости C задается денежная единица измерения, для критериев надежности R , функциональности F и технологичности T каждое решение X имеет вес, w в направлении $E_n[i, j, n]$ в диапазоне от 0 до 1.

Для оценки проработки выбранного набора E_n формируем вектор PE :

$$PE = \sum S_i \cdot \sum G_j \cdot (X[i, j, n] \cdot w[i, j, n]). \tag{7}$$

Агрегация оценок выбранного набора, где $x[i, j, n] = 1$ для сквозного процесса E_n определяется расчетом интегрального показателя оценки, который включает следующие параметры:

1. Суммарная стоимость (Total Cost — TC) рассчитывается как простая сумма стоимостей выбранных решений:

$$TC = \sum S_i \cdot \sum G_j \cdot \sum K_n \cdot (X[i, j, n] \cdot C[i, j, n]). \tag{8}$$

2. Интегральная надежность (Aggregate Reliability — AR) рассчитывается как среднее арифметическое значение вектора:

$$AR_{mean} = (\sum (X[i, j, n] \cdot R[i, j, n]))/N, \tag{9}$$

где $X[i, j, n]$ — выбранные решения с индексом 1; $R[i, j, n]$ — заданный вес w надежности решения, не менее целевого показателя надежности лимитирующего элемента; N — число выбранных решений.

3. Интегральная функциональность (Aggregate Functionality — AF) рассчитывается как нормализованный показатель суммарного функционального потенциала набора решений:

$$AF_{norm} = (X[i, j, n] \cdot F[i, j, n])/AF_{max}, \tag{10}$$

где $X[i, j, n]$ — выбранные решения с индексом 1; $F[i, j, n]$ — заданный вес w функциональности решения; AF_{max} — максимально возможное значение AF при выборе всех мероприятий.

4. Интегральная технологичность (Aggregate Technology — AT) рассчитывается как суммарный показатель технологического потенциала набора решений:

$$AT = (X[i, j, n] \cdot T[i, j, n]), \tag{11}$$

где $X[i, j, n]$ — выбранные решения с индексом 1; $T[i, j, n]$ — заданный вес w функциональности решения.

Для формирования итогового вектора оценки набора решений необходимо нормализовать оценочные значения для приведения к единой единице измерения. Пусть для каждого критерия Q определено целевое значение Q_{ideal} или максимально возможное Q_{max} .

Для оценки стоимости TC критериями являются (1) условие соответствия затрат доступному бюджету Budget и (2) минимальные затраты на управление:

$$N_{TC} = 1 - (TC/Budget), \tag{12}$$

если $TC < Budget$, то доля использования бюджета, иначе 0.

Для оценки надежности, функциональности и технологичности критерием служит условие дости-

Блок 3. Сквозная оценка организационно-технологических решений Block 3. End-to-end evaluation of organizational and technological solutions				
	5			
	Вектор P_{En} / Vector P_{En}			
	Стоимость C , ден. ед. Cost C , monetary unit	Надежность R , w , вес Reliability R , w , weight	Функциональность F , w , вес / Functionality F , w , weight	Технологичность T , w , вес / Adaptability T , w , weight
	E_1	E_2	E_3	E_4
	...	...	...	...
Агрегированное значение Aggregated value				
Вес вектора в системе оценки w The weight of the vector in the estimation system w				
Нормализованное значение The normalized value				
Интегрированный показатель оценки PEV Integrated PEV assessment indicator				

Рис. 6. Сквозная оценка организационно-технологических решений в структуре базы данных для оценки организационно-технологических решений (Блок 3)

Fig. 6. End-to-end evaluation of organizational and technological solutions in the database structure for evaluating organizational and technological solutions (Block 3)

жения целевых максимальных значений, заданных сценарием управления жизненным циклом:

$$N_Q = Q/Q_max \rightarrow max. \tag{13}$$

Общий интегральный показатель оценки сценария управления по выбранному набору решений рассчитывается по формуле:

$$PEV = f[N_TC, N_AR, N_AF, N_AT]. \tag{14}$$

Итоги расчетов отражаются в Блоке 3 общей базы данных в виде векторов P_{En} оценочных значений, нормализованных и агрегированных значений по каждому из критериев оценки и в виде общего интегрального показателя PEV (рис. 6).

Дальнейший выбор сценария эффективного управления ЖЦ многофункционального объекта определяется методом экспертного анализа результатов оценки.

Разработанная база данных представляет собой практический инструмент для оценки и выбора сценария эффективного управления ЖЦ многофункционального объекта строительства, а также гибкого управления в процессе его реализации.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Апробация результатов исследования включала разработку базы данных ОТР, формирование и оцен-

ку различных стратегических сценариев управления ЖЦ многофункционального объекта на основе разработанного инструмента оценки критериев эффективности.

Блок 1 базы данных представляет собой каталог организационно-технологических решений X с координатами i, j, n . В табл. 2 представлена сжатая версия базы данных, которая включает информацию по принадлежности конкретного ОТР X этапу жизненного цикла S и группе мероприятий G . В колонках по сквозным процессам K_n обозначено количество решений X , внесенных в базу. В настоящее время база данных насчитывает 479 записей и может быть неограниченно расширена.

На следующем этапе рассматривались три сценария управления ЖЦ многофункционального объекта строительства:

Сценарий 1 фрагментарный, выбор ОТР в минимальных объемах без привязки к сквозным процессам. Целевой показатель — минимальная стоимость проекта.

Сценарий 2 интегрированный, реализация организационно-технологических мероприятий в рамках этапов. Целевые показатели — минимальная стоимость каждого этапа при заданных параметрах надежности, технологичности, функциональности.

Сценарий 3 сквозной, выбор решений взаимосвязан от этапа к этапу на основе единой цифровой

Табл. 2. Структура и количественное наполнение базы данных организационно-технологических решений
Table 2. Structure and quantitative content of the database of organizational and technological solutions

Этап Stage	Организационно-технические решения Organizational and technical solutions		Сквозные требования End-to-end requirements			
	Область решений The solution area	Группы мероприятий Action Group	Управление потребительским спросом Consumer demand management	Управление материальными потоками и ресурсами Material flow management	Цифровое управление и контроль Digital management and control	Управление безопасно- стью Security management
E(N)		G	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄
	Планировочная организация земельного участка Planning organization of the land plot	Инженерная подготовка территории Engineering preparation of the territory	3	3	6	5
		Территориальная организация территории Territorial organization of the territory	3	5	3	4
		Транспортное обслуживание Transportation service	2	4	3	3
	Объемно-планировочные и архитектурные решения Spatial planning and architectural solutions	Архитектурно-градостроительное решение Architectural and urban planning solution	3	3	2	3
		Функционально-планировочное решение Functional planning solution	3	3	2	3
		Энергетическая эффективность архитектурных решений Energy efficiency of architectural solutions	3	3	3	4
	Конструктивные решения зданий и сооружений Structural solutions for buildings and structures	Конструктивное решение подземных конструкций Constructive solution of underground structures	3	3	3	3
		Конструктивное решение основных конструкций Constructive solution of the main structures	3	3	3	3
		Конструктивное решение ограждающих конструкций Constructive solution of enclosing structures	3	3	3	3
		Конструктивное решение конструкций полов, кровли, потолков Constructive solution of floor, roof, and ceiling structures	3	3	3	3
		Обеспечение энергетической эффективности конструктивных решений Ensuring the energy efficiency of constructive solutions	3	3	3	3
Проектирование Design	Технологические решения Technological solutions	Технологическая организация Technological organization	6	4	3	2
		Организация доступа маломобильных групп Organizing access for low-mobility groups	3	2	2	2
		Организация рабочих мест Organization of workplaces	2	3	2	2

Продолжение табл. 2 / Continuation of the Table 2

Этап Stage	Организационно-технические решения Organizational and technical solutions		Сквозные требования End-to-end requirements			
	Область решений The solution area	Группы мероприятий Action Group	Управление потребительским спросом Consumer demand management	Управление материальными потоками и ресурсами Material flow management	Цифровое управление и контроль Digital management and control	Управление безопасно- стью Security management
Проектирование Design	Решения инженерного оборудования, сетей и систем инженерно-технического обеспечения Solutions for engineering equipment, networks, and engineering support systems	Системы энергетической эффективности Energy efficiency systems	3	3	3	3
		Система электроснабжения Power supply system	3	3	3	3
		Инженерное оборудование, сети и системы инженерно-технического обеспечения Engineering equipment, networks, and engineering support systems	3	3	3	3
	Мероприятия по обеспечению природной и техногенной безопасности Measures to ensure natural and man-made safety	Охрана окружающей среды Environmental protection	5	2	4	3
		Охрана ОКН Cultural protection	2	2	2	2
Строительство Construction		Пожарная безопасность Fire safety	3	3	3	2
		ГО и ЧС Civil defense and emergency situations	2	2	2	2
	Организационная структура строительного производства Organizational structure of construction production	Организационная схема взаимодействия участников Organizational scheme of participants' interaction	3	3	3	3
		Организационная схема взаимодействия участников Organizational scheme of participants' interaction	3	3	3	3
	Организация строительной площадки Organization of the construction site	Организация размещения временной инфраструктуры Organization of temporary infrastructure placement	2	2	2	1
		Организация поставки оборудования и материалов, перевозок, складирования грузов и передвижения строительной техники Organization of the supply of equipment and materials, transportation, storage of goods and movement of construction machinery	3	3	4	4
	Организация строительства (ПОС) Organization of construction	Организация монтажа и демонтажа подъемников Organization of installation and dismantling of lifts	2	3	2	3
		Технология организации строительно-монтажных работ Technology of organization of construction and installation works	2	3	2	3
		Технологии организации движения рабочей силы Technologies for organizing the movement of labor	2	3	2	3
		Технологии обеспечения безопасности Security technologies	2	2	2	5

Окончание табл. 2 / End of the Table 2

Этап Stage	Организационно-технические решения Organizational and technical solutions		Сквозные требования End-to-end requirements			
	Область решений The solution area	Группы мероприятий Action Group	Управление потребительским спросом Consumer demand management	Управление материальными потоками и ресурсами Material flow management	Цифровое управление и контроль Digital management and control	Управление безопасно- стью Security management
Строительство Construction	Транспортная логистика Transport logistics	Поставка строительных конструкций, изделий, материалов и оборудования Supply of building structures, products, materials and equipment	2	3	3	3
	Строительный контроль Construction control	Организация контроля качества выпускаемой готовой строительной продукции Organization of quality control of finished construction products	3	3	2	2
		Организация контроля производственных операций Organization of control of production operation	3	3	2	2
Эксплуатация Maintenance	Организация процесса эксплуатации Organization of the operation process	Организация службы эксплуатации Organization of the maintenance service	3	3	3	3
		Организация процесса эксплуатации Organization of the operation process	3	3	3	3
	Техническое обслуживание ОКС Maintenance of CCP	Содержание зданий и сооружений Maintenance of buildings and structures	3	3	3	3
		Содержание прилегающей территории Maintenance of the surrounding area	3	3	3	3
	Ремонтные работы Repair work	Текущий ремонт Current repairs	3	3	3	3
		Капитальный ремонт объекта Major repairs of the facility	3	3	3	3
	Обеспечение безопасности эксплуатации Ensuring the safety of operation	Пожарная безопасность при эксплуатации Fire safety during operation	2	2	2	4
		Антитеррористическая безопасность Anti-terrorist security	2	2	2	4
		Доступность для маломобильных групп населения Accessibility for low-mobility groups of the population	3	2	2	2
		Автоматизация системы управления при эксплуатации Automation of the control system during operation	3	3	3	3
Общее количество записей в базе данных Total number of records in the database			119	121	115	124

Табл. 3. Краткое описание организационно-технологических решений, принимаемых для каждого сценария управления жизненным циклом
Table 3. A brief description of the organizational and technological decisions taken for each lifecycle management scenario

Этап жизненного цикла Life cycle stage	Фрагментарный сценарий 1 Fragmentary scenario 1	Интегрированный сценарий 2 Integrated scenario 2	Сквозной сценарий 3 End-to-end scenario 3
Проектирование Design	Упрощенное проектирование, минимум инноваций. Раздельное проектирование систем. Локальные программные средства (AutoCAD и т.п.). Выбор типовых конструктивных решений и материалов Simplified design, minimal innovation. Separate system design. Local software tools (AutoCAD, etc.). Selection of standard design solutions and materials	Использование отраслевых стандартов и проверенных решений. Комплексное проектирование систем в рамках этапа с использованием BIM на уровне отдельных систем. Выбор типовых конструктивных решений, модульных решений и материалов Using industry standards and proven solutions. Integrated system design within a stage using BIM at the individual system level. Selection of standard design solutions, modular solutions and materials	Формирование цифровой концепции (Digital Twin) для параметрического проектирования. Система моделирования жизненного цикла с интеграцией с системой управления данными объекта (CDE и LCC). Полноценное BIM (3D-5D-6D) на единой платформе. Выбор гибких архитектурно-планировочных решений. Выбор технологичных и ремонтнопригодных материалов Formation of a digital concept (Digital Twin) for parametric design. Life cycle modelling system with integration with the facility data management system (CDE and LCC). Full-fledged BIM (3D-5D-6D) on a single platform. Selection of flexible architectural and planning solutions. Selection of technologically advanced and maintainable materials
	Выбор разрозненных подрядчиков по минимальной цене. Минимальный контроль качества. Последовательная организация работ. Локальный учет ресурсов (Excel) Selection of disparate contractors at a minimum price. Minimal quality control. Consistent organization of work. Local resource accounting (Excel)	Ручной контроль сроков, качества и бюджета этапа. Применение современных технологий строительства. Локальная оптимизация логистики и поставок Manual control of deadlines, quality and budget of the stage. Application of modern construction technologies. Local optimization of logistics and supplies	Контроль качества, сроков, бюджета на основе BIM-модели. Применение современных технологий строительства. Параллельная организация работ. Планирование и оптимизация логистики и поставок в увязке со сроками строительства на основе системы управления данными Quality control, deadlines, budget based on the BIM model. Application of modern construction technologies. Parallel organization of work. Planning and optimization of logistics and supplies in conjunction with construction deadlines based on a data management system
Строительство Construction			

Окончание табл. 3 / End of the Table 3

Этап жизненного цикла Life cycle stage	Фрагментарный сценарий 1 Fragmentary scenario 1	Интегрированный сценарий 2 Integrated scenario 2	Сквозной сценарий 3 End-to-end scenario 3
Эксплуатация Maintenance	Отсутствие единого управляющего центра. Реактивная модель выполнения работ после отказов. Плановые работы — по минимальным требованиям нормативов. Ручное управление или простейшая автоматизация локальными системами. Отсутствие интеграции между инженерными системами и учет по общим счетчикам. Реактивное взаимодействие с арендаторами по жалобам The absence of a single management center. A reactive model for performing work after failures. Scheduled work — according to the minimum requirements of the standards. Manual control or the simplest automation of local systems. Lack of integration between engineering systems and accounting for common meters. Reactive interaction with tenants on complaints	Единая управляющая компания с четким разграничением зон ответственности. Внедрение системы управления техническим обслуживанием (CMMS). Интегрированные диспетчерские системы по типам систем. Реализация базовых энергосберегающих мероприятий. Превентивная модель планово-предупредительных ТО по регламентам и графикам. Внедрение системы учета по зонам/арендаторам. Использование специализированного ПО для управления арендой (CAM). Учет особенностей разных функций (ресторан, офис, магазин). Комплексная система безопасности на уровне объекта. Набор KPI по этапу: стоимость эксплуатации на 1 м ² , коэффициент готовности систем, удовлетворенность арендаторов (опросы) A single management company with a clear delineation of areas of responsibility. Implementation of a maintenance management system (CMMS). Integrated dispatch systems by system type. Implementation of basic energy saving measures. Preventive model of planned preventive maintenance according to regulations and schedules. Implementation of a zone/tenant accounting system. The use of specialized rental management software (CAM). Taking into account the specifics of different functions (restaurant, office, store). Comprehensive security system at the facility level. A set of KPIs by stage: cost of operation per 1 m ² , system availability coefficient, tenant satisfaction (surveys)	Центр управления объектом на основе единой цифровой платформы. Прогнозная модель: ТО на основе данных датчиков (IoT) и аналитики из цифрового двойника. Динамическое управление энергопотреблением на основе данных о запыляемости, погоды, тарифов. Система непрерывного мониторинга и поиска аномалий (потерь). Интегрированная платформа управления активами (IWMS). Порталы для арендаторов, автоматизация заявок. Анализ эффективности использования площадей, моделирование сценариев перепланировки для максимизации дохода. Единый ситуационный центр безопасности и интеграция всех систем с прогнозной аналитикой. Непрерывный мониторинг износа и актуальности функций. Сбалансированная система показателей (BSC): стоимость жизненного цикла (LCC), общая эффективность оборудования (OEE), индекс удовлетворенности пользователей, энергоэффективность, уровень безопасности Facility management center based on a single digital platform. Predictive model: Maintenance based on sensor data (IoT) and analytics from a digital twin. Dynamic energy consumption management based on occupancy, weather, and tariff data. Continuous monitoring and anomaly (loss) detection system. Integrated Asset Management Platform (IWMS). Portals for tenants, automation of applications. Analyzing the efficiency of using space, modelling redevelopment scenarios to maximize income. A single situational security center and integration of all systems with predictive analytics. Continuous monitoring of wear and function relevance. Balanced Scorecard (BSC): life cycle cost (LCC), Overall equipment efficiency (OEE), user satisfaction index, energy efficiency, safety level

Табл. 4. Результаты оценки критериев эффективности организационно-технологических решений при управлении сквозными процессами

Table 4. Results of evaluation of criteria for the effectiveness of organizational and technological solutions in the management of end-to-end processes

Критерий оценки Evaluation criterion			Нормализованный вид критерия оценки Целевой критерий/фактическое расчетное значение Normalized type of evaluation criterion Target criterion/actual calculated value parameter			
Параметр Parameter		Единица измерения Unit	Условие Condition	Сценарий 1 Scenario 1	Сценарий 2 Scenario 2	Сценарий 3 Scenario 3
Стоимость Cost	TC	Ден. ед. Money	% бюджета % of the budget	100/112 %	100/180 %	100/165 %
Надежность Reliability	AR	Доля Ratio	Значение не менее лимитного The value is not less than the limit value	0,5/0,48	0,75/0,79	0,9/0,95
Функциональность Functionality	AF	Доля Ratio	Значение не менее целевого The value is not less than the limit value	0,6/0,73	0,75/0,87	0,9/0,92
Технологичность Adaptability	AT	Доля Ratio	Значение не менее целевого The value is not less than the limit value	0,6/0,62	0,75/0,81	0,9/0,98
Интегральный показатель Integral indicator	PEV	Доля Ratio	—	0,61	0,823	0,93

платформы. Целевые показатели — балансовые значения между стоимостью, надежностью, технологичностью и функциональностью.

Для каждого сценария сформирован структурированный список организационно-технологических решений с фильтрами по *i* (этап), *j* (группа), *n* (сквозной процесс).

Для целей исследования заданы следующие критерии оценки:

- многофункциональный объект строительства площадью 20 000 м²;
- бюджет — единый для всех вариантов из расчета 150 тыс. руб. на м² (средняя цена строительства в Москве на 2025 г.);
- надежность, функциональность и технологичность ОТР: для сценария 1 — 0,5, для сценария 2 — 0,75, для сценария 3 — 0,9.

В табл. 3 представлено краткое описание решений, принимаемых на каждом из этапов ЖЦ для трех сценариев.

Дальнейшая обработка векторов P_{En} из значений атрибутов для каждого решения отражает текущие значения критериев, процент использования бюджета для показателя стоимости и нормализованный вид агрегированных значений надежности, функциональности и технологичности (TC, AR, AF, AT). Результаты оценки критериев эффективности организационно-технологических решений при управлении сквозными процессами приведены в табл. 4.

Единственным преимуществом *фрагментарного сценария 1* является стоимость его реализации

при низких значениях критериев надежности, функциональности и технологичности. Сценарий 1 не соответствует сложности и социальной значимости многофункционального объекта. Приемлем только для простых объектов с минимальными требованиями. Для многофункциональных объектов несет высокие риски и потенциальные убытки в перспективе.

Сценарий 2 интегрированный обеспечивает приемлемое управление по отдельным аспектам, но не дает синергетического эффекта. Он обладает наиболее высокой стоимостью за счет применения технологичных решений, не связанных сквозными процессами, что приводит к удорожанию ЖЦ в целом, а также средними показателями надежности, функциональности и технологичности. Может быть выбран при ограниченном бюджете и четких, неизменных требованиях на весь срок службы объекта.

Сценарий 3 сквозной наиболее подходит для управления многофункциональными объектами. Он позволяет управлять объектом как единой сложной системой, адаптироваться к изменяющимся социальным и рыночным условиям, обеспечивать безопасность на принципиально новом уровне, максимизировать эффективность использования и коммерческую отдачу. Сценарий характеризуется средней стоимостью, ниже, чем в сценарии 2 за счет применения сквозных технологий, обеспечивающих экономию порядка 30 % на протяжении реализации ЖЦ, а также максимальными показателями надежности, функциональности и технологичности.

В табл. 5 отражены общие выводы по оценке различных сценариев с точки зрения достижения це-

Табл. 5. Оценка эффективности сквозных процессов, реализуемых при управлении жизненным циклом многофункционального объекта строительства

Table 5. Evaluation of the effectiveness of end-to-end processes implemented in managing the life cycle of a multifunctional construction facility

Сквозной процесс End-to-end process	Фрагментарный сценарий 1 Fragmentary scenario 1	Интегрированный сценарий 2 Integrated scenario 2	Сквозной сценарий 3 End-to-end scenario 3
Управление потребительским спросом Consumer demand management	2/10	6/10	9/10
Управление материальными потоками и ресурсами Management of material flows and resources	3/10	7/10	10/10
Цифровое управление и контроль Digital management and control	4/10	8/10	9/10
Управление безопасностью Security management	4/10	7/10	9/10
Оценка эффективности Efficiency rating	Низкая Low	Достаточная Sufficient	Максимальная Maximum

левых критериев, а также общий вывод о степени эффективности применения сценария при управлении жизненным циклом.

Область применения инструмента оценки организационно-технологических решений для различных сценариев управления жизненным циклом позволяет принимать ряд управленческих решений и реализовывать гибкое управление ЖЦ многофункционального объекта и оперативно решать следующие задачи:

- обеспечение целостной картины затрат на реализацию сценария управления жизненным циклом;
- оптимизация и анализ процессов на основе технологии «что, если» (what-if analysis) при изменении целевых значений критериев эффективности;
- разработка рекомендаций по улучшению условий реализации решений на этапах ЖЦ путем выявления и обоснованной корректировки состава решений с целью повышения эффективности управления.

Дальнейший выбор эффективного решения лежит в области сравнения затрат на содержание ЖЦ и прибыли от реализации проекта и относится к дальнейшим направлениям исследований.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Проведенное исследование особенностей реализации проектов строительства многофункциональных объектов позволило выделить четыре сквозных процесса, определяющих эффективность управления жизненным циклом. Разработанная структура базы данных организационно-технологических решений, реализуемых сквозным характером на каждом этапе ЖЦ, дает возможность создать систему оценки раз-

личных сценариев управления, определенных набором выбранных решений.

Инструмент оценки эффективности различных сценариев управления ЖЦ основан на многокритериальном анализе критериев стоимости, надежности, технологичности и функциональности. Метод матричного формализма задания оценочных значений и их обработки позволяет реализовывать различные итерации по совершенствованию системы управления в постоянном режиме.

Область применения инструмента оценки лежит в постановке задачи оптимизации стоимостных и технических характеристик сценария управления ЖЦ многофункционального объекта. Оптимальный выбор технологий, материалов и планировочных решений дает возможность снизить затраты на строительство и эксплуатацию, повысить долговечность и комфортность зданий.

Дальнейшая разработка темы исследования лежит в направлении создания программного модуля в составе систем управления проектами многофункциональных объектов строительства, который позволит переводить качественное управление выбором ОТР в плоскость количественного анализа, поддерживая принятие обоснованных решений на всех этапах жизненного цикла.

Таким образом, результаты исследования находятся в области развития научно-обоснованных подходов к сквозному планированию управления жизненным циклом многофункциональных объектов, что будет способствовать повышению качества городского строительства в долгосрочной перспективе.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Aghaloo K., Sharifi A.* Balancing priorities for a sustainable future in cities: Land use change and urban ecosystem service dynamics // *Journal of Environmental Management*. 2025. Vol. 382. P. 125460. DOI: 10.1016/j.jenvman.2025.125460. EDN YBUUUZ.
2. *Hsu Y.Y., Han H.* Volumetric landscape: The mix characteristics and co-agglomeration of 3D space use in compact cities // *Landscape and Urban Planning*. 2026. Vol. 266. P. 105536. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2025.105536. EDN ERMVSP.
3. *Ma Ju., Shibuya Yu., Pang Ya., Omata H., Sekimoto Y.* A cost-and-effect simulation model for compact city approaches: A case study in Japan // *Cities*. 2024. Vol. 152. P. 105212. DOI: 10.1016/j.cities.2024.105212. EDN UMARPM.
4. *Yussif A.M., Taiwo R., Shakor P., Han T., Mohandes S.R., Antwi-Afari M.F. et al.* A comprehensive literature review on risk identification and assessment in green building construction projects // *Cleaner Engineering and Technology*. 2025. Vol. 29. P. 101089. DOI: 10.1016/j.clet.2025.101089. EDN IVMUWX.
5. *Wang T., Chen H.M.* Integration of building information modeling and project management in construction project life cycle // *Automation in Construction*. 2023. Vol. 150. P. 104832. DOI: 10.1016/j.autcon.2023.104832. EDN YVWODA.
6. *Dai Sh.* A state-of-the-art review of the life cycle assessment of rammed earth building construction // *Energy and Buildings*. 2026. Vol. 350. P. 116643. DOI: 10.1016/j.enbuild.2025.116643. EDN DBSZMI.
7. *Campo Gay I., Hvam L., Haug A., Huang G.Q., Larsson R.* A digital tool for life cycle assessment in construction projects // *Developments in the Built Environment*. 2024. Vol. 20. P. 100535. DOI: 10.1016/j.dibe.2024.100535. EDN OTZJOK.
8. *Bibri S.E., Krogstie J., Kärrholm M.* Compact city planning and development: Emerging practices and strategies for achieving the goals of sustainability // *Developments in the Built Environment*. 2020. Vol. 4. P. 100021. DOI: 10.1016/j.dibe.2020.100021. EDN MMRVCA.
9. *Duff C.* The affective organisation of social infrastructures // *Social Science & Medicine*. 2026. Vol. 390. P. 118873. DOI: 10.1016/j.socscimed.2025.118873. EDN JJZYJE.
10. *Di Pietro A., Tofani A., Fuggini C., Solari C., Oliva G.* An impact risk assessment methodology for the evaluation of the economic, social and operational resilience of critical infrastructures // *International Journal of Disaster Risk Reduction*. 2026. Vol. 132. P. 105965. DOI: 10.1016/j.ijdrr.2025.105965. EDN WLEMKY.
11. *Hoang V.H., Dong V.C., Tran T.M.T.* Determinants of transforming to a circular economy: Evidence from a developing country // *Sustainable Futures*. 2026. Vol. 11. P. 101665. DOI: 10.1016/j.sfr.2026.101665.
12. *Abiodun O., Abadi M., Ejohwomu O., Manu P.* Transitioning to smart circular construction: A conceptual framework for circular economy implementation through Construction 4.0 technologies // *Environmental Impact Assessment Review*. 2026. Vol. 118. P. 108260. DOI: 10.1016/j.eiar.2025.108260. EDN CTTCVH.
13. *Aigbavboa C., Kissi E.* Understanding digital construction management // *Digital Management of Construction Costs*. 2025. Pp. 27–38. DOI: 10.1016/b978-0-443-23715-7.00003-2.
14. *Luo H., Lin L., Chen Ke., Antwi-Afari M.F., Chen L.* Digital technology for quality management in construction: A review and future research directions // *Developments in the Built Environment*. 2022. Vol. 12. P. 100087. DOI: 10.1016/j.dibe.2022.100087. EDN XCZTSV.
15. *Liew E.F.Y., Ong D.E.L., Peerun M.I.* Mapping the future of sustainable construction: Review on digitalisation and life cycle assessment trends in Asia-Pacific // *Energy and Buildings*. 2026. Vol. 350. P. 116547. DOI: 10.1016/j.enbuild.2025.116547. EDN UFOEBK.
16. *Khadim N., van Marrewijk A.* Circles of profit: A conceptual framework for economic and financial aspects in circular construction // *Sustainable Production and Consumption*. 2025. Vol. 55. Pp. 444–457. DOI: 10.1016/j.spc.2025.03.007. EDN LLWTYO.
17. *Avdiushchenko A., Meinrenken Ch.J.* Circular economy concepts for accelerating sustainable urban transformation: The case of New York City // *Cities*. 2025. Vol. 166. P. 106223. DOI: 10.1016/j.cities.2025.106223. EDN PKIRSZ.
18. *Гинзбург А.В., Жавнеров П.Б.* Влияние мероприятий по повышению организационно-технологической надежности на функционирование строительной организации и планирование строительства // *Научно-технический вестник Поволжья*. 2014. № 3. С. 94–96. EDN SHVHSX.
19. *Ibrahim A., Kineber A.F., Hassan A., Elsekiny M., Elrifae M., Alhusban M.* Cyber technology in construction projects: A pathway to efficiency and sustainability // *Results in Engineering*. 2026. Vol. 29. P. 108615. DOI: 10.1016/j.rineng.2025.108615. EDN AEAXKV.
20. *Верстина Н.Г., Рыбнов А.Е.* Современный подход к обеспечению устойчивого развития строительных организаций на основе комплекса управленческих инструментов // *Экономика, предпринимательство и право*. 2025. Т. 15. № 11. С. 7225–7240. DOI: 10.18334/epp.15.11.124321. EDN KOMZEI.
21. *Трошин А.С., Столярова З.В., Лесовик Р.В., Есипов С.М., Лесовик Г.А.* Анализ системы управления рисками на различных стадиях жизненного цикла строительных объектов // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*. 2025. № 11. С. 88–99. DOI: 10.34031/2071-7318-2025-10-11-88-99. EDN DDHCWU.

22. Овчинников А.Н., Волков А.А. Информационное моделирование для оценки надежности организационно-технологической последовательности строительства // Инновации и инвестиции. 2019. № 1. С. 216–218. EDN DYWQBZ.

23. Травуш В.И. Цифровые технологии в строительстве // Academia. Архитектура и строительство. 2018. № 3. С. 107–117. DOI: 10.22337/2077-9038-2018-3-107-117. EDN VJBYXS.

24. Шеина С.Г., Мищенко В.Я., Сергеев Ю.Д., Мясичев Р.Ю., Сергеева А.Ю. Организационно-технологические решения при выявлении взаимозависимостей между параметрами потока и себестоимостью выполнения работ // Инженерный вестник Дона. 2025. № 2 (122). С. 738–748. EDN STEULY.

25. Эльмурзаев А.М. Современные подходы к организационно-технологическому моделированию проектирования зданий и сооружений // Вестник КНИИ РАН. Серия: Естественные и технические науки. 2025. № 3 (22). С. 317–325. DOI: 10.69537/VKNIRAN.2025.22.3.024. EDN WSR0HI.

26. Sun Yu., Zhou Z., Li Q., He H. A novel risk assessment method for advanced and environmentally friendly construction technologies integrating RBM and I-OPA // Alexandria Engineering Journal. 2025. Vol. 113. Pp. 648–660. DOI: 10.1016/j.aej.2024.11.059. EDN NNHYKV.

27. Бенуж А.А. Эколого-экономическая модель жизненного цикла здания на основе концепции «зеленого» строительства : автореф. дисс. ... канд. техн. наук. М., 2013. 24 с. EDN SVHDKP.

28. Романцов А.С. Определение многофункционального комплекса коммерческой недвижимости // Известия Юго-Западного государственного университета. 2011. № 3 (36). С. 155–163. EDN NZFGSH.

29. Звягинцева А.В., Сазонова С.А., Кульнева В.В. Применение методов численного моделирования для оценки безопасности на объектах общественного назначения // Моделирование систем и процессов. 2020. Т. 13. № 3. С. 30–42. DOI: 10.12737/2219-0767-2020-13-3-30-42. EDN JRBWFZ.

30. Шеина С.Г., Миргородская Е.О., Миненко Е.Н. Анализ особенностей применения метода оценки стоимости жизненного цикла зданий в России и за рубежом // Строительство и техногенная безопасность. 2015. № 1 (53). С. 76–80. EDN VMIWTR.

31. Бутовка А.Н., Кретов Д.А., Потапов Б.В., Рощина Н.Н. Аналитический обзор нормативных и методических документов в области оценки стоимости жизненного цикла объектов: на примере трубопроводов сетей водоснабжения и водоотведения // Градостроительство и архитектура. 2025. Т. 15. № 3 (60). С. 43–53. DOI: 10.17673/Vestnik.2025.03.06. EDN G0HYEV.

32. Ланидус А.А., Адамцевич Л.А. Сценарно-ориентированное проектирование объектов строительства в проектах комплексного развития террито-

рий // Вестник МГСУ. 2025. Т. 20. № 8. С. 1278–1291. DOI: 10.22227/1997-0935.2025.8.1278-1291. EDN DADHEW.

33. Ланидус А.А., Хитрова Т.И., Щукин А.Ю. Применение информационных технологий в строительном контроле // Строительное производство. 2025. № 1. С. 92–99. DOI: 10.54950/26585340_2025_1_92. EDN GFPSEE.

34. Храбров А.П. Влияние проектных решений многофункциональных торговых объектов на управление жизненным циклом // Недвижимость: экономика, управление. 2024. № S3. С. 18–25. EDN ZCURWO.

35. Grabovyy P.G., Azhimov T.Z. Strategic directions and development prospects of the construction industry in Russia // Real Estate: Economics, Management. 2024. No. 2. Pp. 6–11. EDN LBZYLE.

36. Грабовый П.Г., Волгин В.В., Кущенко И.В., Сеземин Д.Е., Ткаченко В.Б. Технология организации территориально-пространственного обновления городской недвижимости, концентрации и специализации промышленного производства. М., 2024. EDN MIWUJI.

37. Ланидус А.А., Адамцевич Л.А. Сценарно-ориентированное проектирование объектов строительства в проектах комплексного развития территорий // Вестник МГСУ. 2025. Т. 20. № 8. С. 1278–1291. DOI: 10.22227/1997-0935.2025.8.1278-1291. EDN DADHEW.

38. Volgin V.V. Risk management in the implementation of investment and construction projects // Real Estate: Economics, Management. 2024. No. 2. Pp. 20–26. EDN WPXGJR.

39. Рыбакова А.О. Методика разработки информационной модели на основе модульных элементов максимальной готовности // Строительное производство. 2023. № 2. С. 99–101. DOI: 10.54950/26585340_2023_2_99. EDN UDIPTD.

40. Волкодав В.А., Волкодав И.А. Разработка структуры и состава классификатора строительной информации для применения BIM-технологий // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. № 6. С. 867–906. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.6.867-906. EDN RGQGT0.

41. Опарина Л.А., Барзыгин Е.А., Огурцов В.А., Карась Р.С. Совместное применение пакетно-узлового метода и технологий искусственного интеллекта в календарно-сетевом планировании строительных проектов // Вестник МГСУ. 2026. Т. 21. № 1. С. 107–121. DOI: 10.22227/1997-0935.2026.1.107-121. EDN IOMRAT.

42. Опарина Л.А., Барзыгин Е.А., Гряднева Я.А., Касьяненко Н.С. Использование инструмента бережливого производства в управлении поставками материалов в течение жизненного цикла строительного проекта // Вестник МГСУ. 2024. Т. 19. № 5. С. 826–835. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.5.826-835. EDN BEOAMF.

Поступила в редакцию 29 января 2026 г.

Принята в доработанном виде 31 марта 2026 г.

Одобрена для публикации 8 апреля 2026 г.

ОБ АВТОРЕ: **Антон Павлович Храбров** — аспирант, старший преподаватель кафедры организации строительства и управления недвижимостью; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; a.khrabrov@ckgroup.ru.

REFERENCES

1. Aghaloo K., Sharifi A. Balancing priorities for a sustainable future in cities: Land use change and urban ecosystem service dynamics. *Journal of Environmental Management*. 2025; 382:125460. DOI: 10.1016/j.jenvman.2025.125460. EDN YBUUUZ.
2. Hsu Y.Y., Han H. Volumetric landscape: The mix characteristics and co-agglomeration of 3D space use in compact cities. *Landscape and Urban Planning*. 2026; 266:105536. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2025.105536. EDN ERMVSP.
3. Ma Ju., Shibuya Yu., Pang Ya., Omata H., Sekimoto Y. A cost-and-effect simulation model for compact city approaches: A case study in Japan. *Cities*. 2024; 152:105212. DOI: 10.1016/j.cities.2024.105212. EDN UMARPM.
4. Yussif A.M., Taiwo R., Shakor P., Han T., Mohandes S.R., Antwi-Afari M.F. et al. A comprehensive literature review on risk identification and assessment in green building construction projects. *Cleaner Engineering and Technology*. 2025; 29:101089. DOI: 10.1016/j.clet.2025.101089. EDN IVMUWX.
5. Wang T., Chen H.M. Integration of building information modeling and project management in construction project life cycle. *Automation in Construction*. 2023; 150:104832. DOI: 10.1016/j.autcon.2023.104832. EDN YVWODA.
6. Dai Sh. A state-of-the-art review of the life cycle assessment of rammed earth building construction. *Energy and Buildings*. 2026; 350:116643. DOI: 10.1016/j.enbuild.2025.116643. EDN DBSZMI.
7. Campo Gay I., Hvam L., Haug A., Huang G.Q., Larsson R. A digital tool for life cycle assessment in construction projects. *Developments in the Built Environment*. 2024; 20:100535. DOI: 10.1016/j.dibe.2024.100535. EDN OTZJOK.
8. Bibri S.E., Krogstie J., Kärrholm M. Compact city planning and development: Emerging practices and strategies for achieving the goals of sustainability. *Developments in the Built Environment*. 2020; 4:100021. DOI: 10.1016/j.dibe.2020.100021. EDN MMRVCA.
9. Duff C. The affective organisation of social infrastructures. *Social Science & Medicine*. 2026; 390:118873. DOI: 10.1016/j.socscimed.2025.118873. EDN JJZYJE.
10. Di Pietro A., Tofani A., Fuggini C., Solari C., Oliva G. An impact risk assessment methodology for the evaluation of the economic, social and operational resilience of critical infrastructures. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. 2026; 132:105965. DOI: 10.1016/j.ijdrr.2025.105965. EDN WLEMKY.
11. Hoang V.H., Dong V.C., Tran T.M.T. Determinants of transforming to a circular economy: Evidence from a developing country. *Sustainable Futures*. 2026; 11:101665. DOI: 10.1016/j.sfr.2026.101665.
12. Abiodun O., Abadi M., Ejohwomu O., Manu P. Transitioning to smart circular construction: A conceptual framework for circular economy implementation through Construction 4.0 technologies. *Environmental Impact Assessment Review*. 2026; 118:108260. DOI: 10.1016/j.eiar.2025.108260. EDN CTTCVH.
13. Aigbavboa C., Kissi E. Understanding digital construction management. *Digital Management of Construction Costs*. 2025; 27-38. DOI: 10.1016/b978-0-443-23715-7.00003-2.
14. Luo H., Lin L., Chen Ke., Antwi-Afari M.F., Chen L. Digital technology for quality management in construction: A review and future research directions. *Developments in the Built Environment*. 2022; 12:100087. DOI: 10.1016/j.dibe.2022.100087. EDN XCZTSV.
15. Liew E.F.Y., Ong D.E.L., Peerun M.I. Mapping the future of sustainable construction: Review on digitalisation and life cycle assessment trends in Asia-pacific. *Energy and Buildings*. 2026; 350:116547. DOI: 10.1016/j.enbuild.2025.116547. EDN UFOEBK.
16. Khadim N., van Marrewijk A. Circles of profit: A conceptual framework for economic and financial aspects in circular construction. *Sustainable Production and Consumption*. 2025; 55:444-457. DOI: 10.1016/j.spc.2025.03.007. EDN LLWTYO.
17. Avdiushchenko A., Meinrenken Ch.J. Circular economy concepts for accelerating sustainable urban transformation: The case of New York City. *Cities*. 2025; 166:106223. DOI: 10.1016/j.cities.2025.106223. EDN PKIRSZ.
18. Ginzburg A.V., Zhavnerov P.B. Influence of measures to improve organizational technological reliability of operation building organization and planning construction. *Scientific and Technical Volga region Bulletin*. 2014; 3:94-96. EDN SHVHSX. (rus.).
19. Ibrahim A., Kineber A.F., Hassan A., Elseknidy M., Elrifae M., Alhusban M. Cyber technology in construction projects: A pathway to efficiency and

sustainability. *Results in Engineering*. 2026; 29:108615. DOI: 10.1016/j.rineng.2025.108615. EDN AEAXKV.

20. Verstina N.G., Rybnov A.E. A modern approach to ensuring the sustainable development of construction companies based on a set of management tools. *Journal of Economics, entrepreneurship and law*. 2025; 15(11):7225-7240. DOI: 10.18334/epp.15.11.124321. EDN KOMZEI. (rus.).

21. Troshin A., Stolyarova Z., Lesovik R., Esipov S., Lesovik G. Analysis of the risk management system at various stages of the life cycle of construction facilities. *Bulletin of Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov*. 2025; 11:88-99. DOI: 10.34031/2071-7318-2025-10-11-88-99. EDN DDHCWU. (rus.).

22. Ovchinnikov A.N., Volkov A.A. Information modeling for assessing the reliability of the organizational and technological sequence of construction. *Innovation and Investment*. 2019; 1:216-218. EDN DYWQBZ. (rus.).

23. Travush V.I. Digital technologies in construction. Academia. *Architecture and Construction*. 2018; 3:107-117. DOI: 10.22337/2077-9038-2018-3-107-117. EDN VJBYXC. (rus.).

24. Sheina S.G., Mishchenko V.Ya., Sergeev Yu.D., Myasishchev R.Yu., Sergeeva A.Yu. Organizational and technological solutions for identifying the interdependencies between the flow parameters and the cost of work. *Engineering journal of Don*. 2025; 2(122):738-748. EDN STEULY. (rus.).

25. Elmurzaev A.M. Modern approaches to organizational and technological modeling of buildings and structures design. Bulletin of the Research Institute of the Russian Academy of Sciences. *The series "Natural and Technical Sciences"*. 2025; 3(22):317-325. DOI: 10.69537/VKNIIRAN.2025.22.3.024. EDN WSROHI. (rus.).

26. Sun Yu., Zhou Z., Li Q., He H. A novel risk assessment method for advanced and environmentally friendly construction technologies integrating RBM and I-OPA. *Alexandria Engineering Journal*. 2025; 113:648-660. DOI: 10.1016/j.aej.2024.11.059. EDN NNHYKV.

27. Benuzh A.A. *Ecological and economic model of the building life cycle based on the concept of "green" construction : abstract of the dissertation of Candidate of Technical Sciences*. Moscow, 2013; 24. EDN SVHDKP. (rus.).

28. Romantsov A.S. Definition of the multipurpose complex commercial real estate. *Proceedings of the Southwest State University*. 2011; 3(36):155-163. EDN NZFGSH. (rus.).

29. Zvyaginets A., Sazonova S., Kul'neva V. Application of numerical modeling methods for safety assessment at public facilities. *Modeling of Systems and Processes*. 2020; 13(3):30-42. DOI: 10.12737/2219-0767-2020-13-3-30-42. EDN JRBWFZ. (rus.).

30. Sheina S.G., Mirgorodskaya E.O., Minenko E.N. Analysis of the application of the method of estimating the cost of the life cycle of buildings in Russia and

abroad. *Construction and Industrial Safety*. 2015; 1(53):76-80. EDN VMIWTR. (rus.).

31. Butovka A.N., Kretov D.A.I., Potapov B.V., Roshina N.N. Analytical review of regulatory and methodological documents in the field of assessment of the life cycle cost of objects: on the example of pipelines of water supply and sewage networks. *Urban Construction and Architecture*. 2025; 15(3):(60):43-53. DOI: 10.17673/Vestnik.2025.03.06. EDN GOHYEV. (rus.).

32. Lapidus A.A., Adamtsevich L.A. Scenario-oriented design of construction projects in integrated territorial development projects. *Vestnik MGSU [Monthly Journal on Construction and Architecture]*. 2025; 20(8): 1278-1291. DOI: 10.22227/1997-0935.2025.8.1278-1291. EDN DADHEW. (rus.).

33. Lapidus A.A., Khitrova T.I., Shchukin A.Yu. Application of information technologies in construction control. *Construction Production*. 2025; 1:92-99. DOI: 10.54950/26585340_2025_1_92. EDN GFPSEE. (rus.).

34. Khrabrov A.P. The impact of design solutions of multifunctional retail facilities on the life cycle management. *Real Estate: Economics, Management*. 2024; S3:18-25. EDN ZCURWO. (rus.).

35. Grabovyy P.G., Azhimov T.Z. Strategic directions and development prospects of the construction industry in Russia. *Real Estate: Economics, Management*. 2024; 2:6-11. EDN LBZYLE.

36. Grabovyy P.G., Volgin V.V., Kushchenko I.V., Sezemin D.E., Tkachenko V.B. *Technology of organization of spatial renewal of urban real estate, concentration and specialization of industrial production*. Moscow, 2024. EDN MIWUJI. (rus.).

37. Lapidus A.A., Adamtsevich L.A. Scenario-oriented design of construction projects in integrated territorial development projects. *Vestnik MGSU [Monthly Journal on Construction and Architecture]*. 2025; 20(8): 1278-1291. DOI: 10.22227/1997-0935.2025.8.1278-1291. EDN DADHEW. (rus.).

38. Volgin V.V. Risk management in the implementation of investment and construction projects. *Real Estate: Economics, Management*. 2024; 2:20-26. EDN WPXGJR.

39. Rybakova A.O. Methodology for developing an information model based on modular elements of maximum availability. *Construction Production*. 2023; 2:99-101. DOI: 10.54950/26585340_2023_2_99. EDN UDIPTD. (rus.).

40. Volkodav V.A., Volkodav I.A. Development of the structure and composition of a building information classifier towards the application of BIM technologies. *Vestnik MGSU [Monthly Journal on Construction and Architecture]*. 2020; 15(6):867-906. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.6.867-906. EDN RGQGTO. (rus.).

41. Oparina L.A., Barzygin E.A., Ogurtsov V.A., Karas R.S. Combined use of the package-node method and artificial intelligence technologies in calendar-network planning of construction projects. *Vestnik MGSU*

[Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2026; 21(1):107-121. DOI: 10.22227/1997-0935.2026.1.107-121. EDN IOMRAT. (rus.).

42. Oparina L.A., Barzygin E.A., Gridneva Ya.A., Kasyanenko N.S. Using lean manufacturing tools in ma-

terials supply management during the life cycle of a construction project. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2024; 19(5):826-835. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.5.826-835. EDN BEOAMF. (rus.).

Received January 29, 2026.

Adopted in revised form on March 31, 2026.

Approved for publication on April 8, 2026.

B I O N O T E S: **Anton P. Khrabrov** — postgraduate student, senior lecturer of the Department of Construction Organization and Real Estate Management; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; a.khrabrov@cckgroup.ru.