

Организационно-технологические решения при управлении
жизненным циклом объектов строительства в проектах
комплексного развития территорий

Любовь Андреевна Адамцевич, Азарий Абрамович Лapidус
Национальный исследовательский Московский государственный строительный
университет (НИУ МГСУ); г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Эффективность реализации проектов комплексного развития территорий (КРТ) напрямую зависит от применяемых методов управления. В связи с этим актуальным становится вопрос перехода от традиционного объектно-ориентированного управления к комплексному управлению жизненным циклом (ЖЦ) всего проекта в целом. Это приводит к необходимости разработки новых системных критериев для классификации и выбора организационно-технологических решений (ОТР) для каждого этапа ЖЦ объектов строительства. Цель исследования сводилась к разработке системной классификации ОТР для управления ЖЦ объектов строительства в проектах КРТ на основе введенного авторами системного свойства — автономности.

Материалы и методы. Методологической базой исследования являются общая теория систем, принципы и инструменты системотехники строительства, системный анализ, моделирование и управление рисками. Объекты строительства в проектах КРТ рассматриваются как сложные системы, взаимодействующие с внешней средой и декомпозируемые на подсистемы, компоненты и элементы.

Результаты. Сформулирована сущность понятия автономности объекта строительства как эмерджентного свойства, характеризующего его способность функционировать в условиях неопределенности внешней среды. Предложена четырехуровневая классификация ОТР для объектов КРТ, разработана многокритериальная структура для выбора и формирования ОТР, интегрирующая такие параметры, как масштаб системы, этап ЖЦ, уровень управления и уровень автономности.

Выводы. Предложенная классификация дает комплексный инструментарий для принятия управленческих решений, позволяя целенаправленно воздействовать на параметры объекта строительства для достижения требуемого уровня автономности на протяжении всего ЖЦ. Полученные результаты дают основы для развития методов прогностно-мониторингового управления объектами КРТ. Дальнейшие исследования авторов будут посвящены вопросам управления параметрами объекта строительства для обеспечения его автономности в заданные сроки с учетом имеющихся ограничений и определения границ автономности.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: комплексное развитие территории, системотехника строительства, организационно-технологические решения, систематизация ОТР, управление жизненным циклом, цифровизация строительной отрасли

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Адамцевич Л.А., Лapidус А.А. Организационно-технологические решения при управлении жизненным циклом объектов строительства в проектах комплексного развития территорий // Строительство: наука и образование. 2025. Т. 15. Вып. 3. Ст. 11. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2025.3.11

Автор, ответственный за переписку: Любовь Андреевна Адамцевич, AdamtsevlA@mgsu.ru.

Organizational and technological solutions for managing
the life cycle of construction projects in integrated
territorial development projects

Liubov A. Adamtsevlch, Azariy A. Lapidus

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

ABSTRACT

Introduction. The efficiency of implementation of integrated territorial development projects (ITDP) directly depends on the applied management methods. In this regard, the issue of transition from traditional object-oriented management to integrated management of the life cycle of the entire project becomes relevant. This leads to the need to develop new system criteria for classification and selection of organizational and technological solutions (OTS) for each stage of the life cycle of construction projects. The purpose of the study was to develop a system classification of OTS for life cycle management of construction projects in ITD projects based on the system property introduced by the authors — autonomy.

Materials and methods. The methodological basis of the study is the general theory of systems, principles and tools of system engineering of construction, systems analysis, modeling and risk management. Construction objects in ITD projects are considered as complex systems interacting with the external environment and decomposed into subsystems, components and elements.

Results. As a result, the authors formulated the essence of the concept of autonomy of a construction object as an emergent property characterizing its ability to function in conditions of uncertainty of the external environment. A four-level classification of OTS for ITD objects is proposed, a multi-criteria structure for selecting and forming OTS is developed, integrating such parameters as the scale of the system, the stage of the life cycle, the level of management and the level of autonomy. **Conclusions.** The proposed classification provides a comprehensive toolkit for making management decisions, allowing for a targeted impact on the parameters of the construction object to achieve the required level of autonomy throughout the life cycle. The results obtained provide the basis for developing methods for predictive and monitoring management of ITD objects. Further research by the authors will be devoted to issues of managing the parameters of construction objects to ensure their autonomy within the specified time frame, considering the existing restrictions and determining the boundaries of autonomy.

KEYWORDS: integrated development of territories, construction systems engineering, organizational and technological solutions (OTS), systematization of OTS, life cycle management, digitalization of the construction industry

FOR CITATION: Adamtsevich L.A., Lapidus A.A. Organizational and technological solutions for managing the life cycle of construction projects in integrated territorial development projects. *Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie* [Construction: Science and Education]. 2025; 15(3):11. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2025.3.11

Corresponding author: Liubov A. Adamtsevich, AdamtsevichLA@mgsu.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Реализация проектов комплексного развития территорий (КРТ) подразумевает возведение объектов строительства с разным назначением на единой территории. Традиционные методы управления, фокус внимания которых сосредоточен на отдельных объектах, теряют свою эффективность, и возникает необходимость в использовании интегрированных подходов к управлению жизненным циклом (ЖЦ) не только каждого отдельного объекта, но всего комплекса в целом с учетом координации деятельности всех участников процесса: застройщиков, проектировщиков, подрядчиков, поставщиков, органов власти и других на всех этапах ЖЦ.

В связи с этим актуальным становится вопрос применения универсальной меры или критерия, позволяющего провести классификацию организационно-технологических решений (ОТР) объектов строительства в проектах КРТ на различных уровнях управления. Таким параметром может выступить предложенное авторами системное свойство автономности объектов строительства в проектах КРТ.

В общем случае под автономностью системы примем ее способность сохранять функциональную целостность и адаптироваться к изменяющимся условиям внешней среды (природного и техногенного характера) с минимальным вмешательством, основанную на синтезе ее надежности — вероятностной мере безотказности, устойчивости — сохранении характеристик в допустимых пределах при возмущениях и безопасности — защищенности от комплексных угроз.

Целью исследования является разработка системной классификации ОТР при управлении ЖЦ объектов строительства для проектов КРТ с учетом нового системного свойства — автономности объекта строительства, а также определение подходов к управлению параметрами для обеспечения целевого уровня автономности.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве теоретической основы исследования выступают общая теория систем, инструменты и методы, а также основные принципы системотехники строительства, к которым относятся:

- системный подход, рассматривающий строительный объект как единое целое, состоящее из взаимосвязанных элементов;
- комплексность, т.е. учет всех факторов, оказывающих влияние на функционирование системы;
- иерархичность — деление строительного объекта, как системы, на подсистемы разных уровней;
- управление рисками за счет их своевременной идентификации;
- управление ЖЦ строительного объекта, что означает рассмотрение его на протяжении всего жизненного цикла от проектирования и строительства до эксплуатации, реконструкции и сноса.

К основным инструментам и методам системотехники строительства можно отнести системный анализ и системное проектирование, математическое и имитационное моделирование, информационное моделирование и методы управления рисками, включающими идентификацию и оценку рисков, а также разработку мер по их снижению при реализации строительства.

При этом стоит отметить, что цель системотехники строительства — не только снижение затрат и сроков строительства, но и обеспечение устойчивого строительства и развития городов.

Укрупненная схема применения системотехники в строительстве представлена на рис. 1.

Объект данного исследования — строительные объекты в проектах комплексного развития территорий. При этом объекты КРТ рассматриваются не только как система, в которой выделяют подсистемы, компоненты и элементы, но как элементы системы, находящиеся во взаимодействии с окружающей внешней средой. Под подсистемой будем принимать части системы, которым присуща отно-

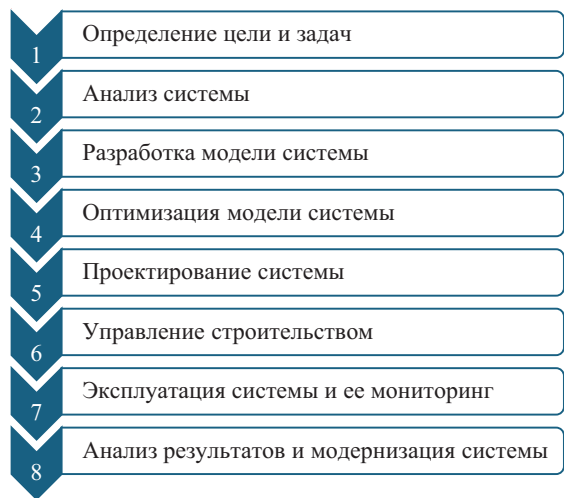


Рис. 1. Алгоритм работы с системой в рамках системотехники строительства

сительная самостоятельность, определяемая степенью свободы, а под элементом системы — неделимую часть системы с однозначно определенными функциями. В то же время, опираясь на общую теорию систем, под компонентом примем любую часть системы, находящуюся во взаимосвязи с другими частями системы (подсистемами или элементами). Рис. 2 иллюстрирует общую структуру системы и взаимодействие ее элементов.

Как указано в работе [1], при реализации проектов КРТ важными являются такие направления, как обеспечение населения жильем, рабочими местами, социальной, дорожной и инженерной инфраструктурой, рассмотрение которых целесообразно в разрезе:

- комплексного развития территории жилой застройки;
- комплексного развития нежилой застройки;

• комплексного развития незастроенной территории.

Организационно-технологические решения также будут зависеть от этапа ЖЦ объектов строительства в проектах КРТ, в этой связи можно выделить:

1. ОТР на этапе технико-экономического обоснования инвестиций (ТЭО) — комплекс мер, определяющий способ реализации проекта, включающий выбор ключевых технологий, оборудования и методов выполнения СМР; порядок организации строительного процесса во времени и в пространстве; потребность в основных ресурсах; взаимосвязь между участниками проекта. Основная задача ОТР на этапе обоснования инвестиций сводится к созданию технологически и организационно выполнимой модели проекта, достаточной для надежного расчета затрат, сроков, эффективности и обоснования целесообразности инвестиций.

2. ОТР на этапе проектирования объектов строительства — комплекс мероприятий, закладываемых в проект объекта строительства, направленных на обеспечение эффективного функционирования объекта строительства в будущем [2, 3], включая методы организации работ, выбор оборудования, технологические процессы, а также взаимодействие участников проекта. Кроме того, должно быть обеспечено управление рисками за счет их выявления и разработки мероприятий по их минимизации.

3. ОТР на этапе строительства — это комплекс мероприятий, направленных на эффективную организацию и оптимизацию строительного процесса, включая разработку технологических карт, схем производства работ, определение потребности ресурсов, выбор методов строительства и координацию различных этапов работ. Основная цель ОТР на этапе строительства — обеспечение выполнения строительного-монтажных работ в полном соответ-

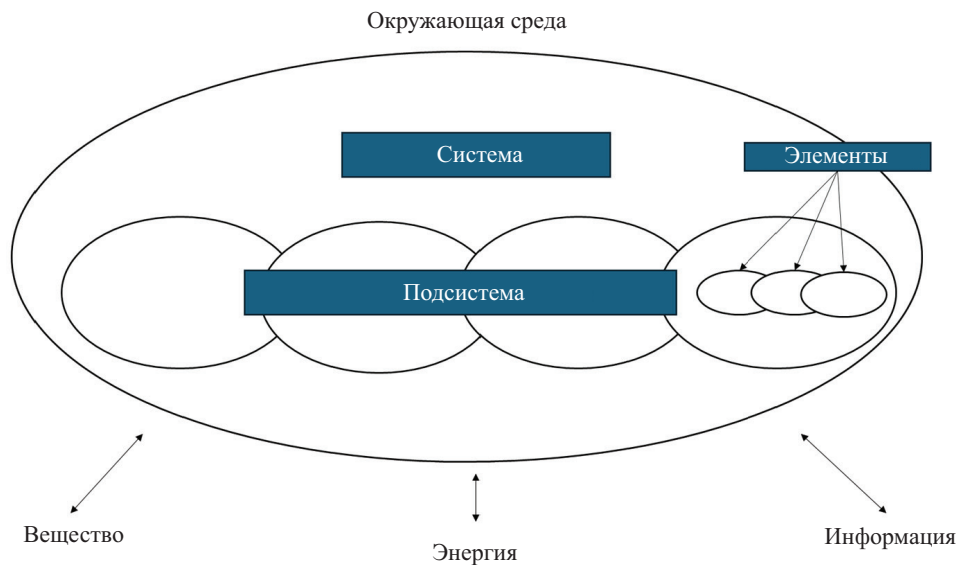


Рис. 2. Структура системы в общем виде

ствии с проектом, в установленные сроки и с требуемым качеством, не только в рамках бюджета, но и с соблюдением норм безопасности и охраны окружающей среды [4, 5].

4. ОТР на этапе эксплуатации — это комплекс мероприятий, процедур, инструментов и систем, направленных на эффективное и безопасное функционирование объекта после его ввода в эксплуатацию. При рассмотрении ОТР на этапе эксплуатации следует отметить, что решения фокусируются на поддержании работоспособности объекта строительства, ОТР на этапе проектирования направлены на предопределение характеристик и условий этой работоспособности [5, 6].

5. ОТР на этапе сноса и утилизации объектов строительства включают разработку проекта, обеспечивающего безопасное и эффективное выполнение работ при демонтаже объекта строительства, учитывая методы раздельного сбора отходов и их утилизацию [7].

В то же время проведенные ранее исследования позволили выявить ключевые технологии Индустрии 4.0, применение которых повысит эффективность реализации проектов КРТ, среди которых ключевые — цифровые двойники (ЦД), технологии информационного моделирования, интернет вещей и прочее.

При этом большинство сложных технических систем, для которых создаются ЦД, обладают фрактальными свойствами, к которым относятся самоподобие, масштабная инвариантность, рекурсивность.

Цифровой двойник, построенный с учетом фрактальной природы, является иерархической сетью взаимосвязанных двойников, что позволяет повысить эффективность применения технологии в проектах КРТ.

Можно говорить о том, что каждый уровень будет фрактальным упрощением или усложнением соседних уровней, при этом данные с нижних уровней агрегируются и используются для калибровки моделей на верхних уровнях, а команды, полученные с верхних уровней, детализируются и исполняются на нижних [8–20].

Кроме того, в концепции цифровых двойников датчики интернета вещей генерируют большие объемы информации, которые также обладают фрактальными свойствами.

Природные и техногенные процессы, оказывающие влияние на эксплуатацию объектов строительства, также фрактальны по своей сути, что дает возможность осуществлять прогноз нагрузок, моделирование износа и старения, и перейти к прогнозномониторинговой модели управления объектами.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Проведенное исследование позволило сформировать суть системности свойства автономности объектов строительства в разрезе проектов КРТ.

Таким образом, автономность объекта строительства — эмерджентное свойство системы, являющееся результатом целенаправленного проектирования, интеграции и управления множеством взаимосвязанных компонентов: инженерных, технологических, организационных. Данное свойство характеризует объект строительства как активную, устойчивую и адаптивную систему, ориентированную на обеспечение ее функционирования в условиях неопределенности внешней среды, что критически важно при реализации проектов КРТ, где устойчивость, надежность и безопасность систем напрямую оказывают влияние на качество жизнедеятельности населения и устойчивое развитие городов.

Опираясь на системотехнику строительства, по масштабу выделяют следующие уровни: системный, подсистемный, компонентный, элементный. Концептуальная модель принятия ОТР при управлении ЖЦ объектов строительства в проектах КРТ может быть структурирована по следующим уровням:

I. Системный уровень:

I.I проект комплексного развития территории жилой застройки;

I.II проект комплексного развития нежилой застройки;

I.III проект комплексного развития незастроенной территории.

II. Подсистемный уровень:

II.I социальная инфраструктура;

II.II транспортная инфраструктура;

II.III инженерная инфраструктура;

II.IV жилая застройка.

III. Компонентный уровень:

III.I объекты социальной инфраструктуры;

III.I. I дошкольные образовательные учреждения;

III.I.II общеобразовательные организации;

III.I.III больницы (в том числе детские);

III.I.IV поликлиники;

III.I.V продовольственные и непродовольственные магазины;

III.II объекты транспортной инфраструктуры;

III.II.I дорожная сеть, включая автомобильные дороги, мосты, эстакады, тоннели, развязки;

III.II.II железнодорожный транспорт, включая железнодорожные пути и полотно, вокзалы, станции, остановочные пункты, депо и прочее;

III.II.III аэропорты, аэродромы;

III.II.IV морские и речные порты, вокзалы, каналы;

III.II.V общественный транспорт: остановочные комплексы, станции метрополитены, депо, автостанции и прочее;

III.II.VI сопутствующие объекты: АЗС, станции технического обслуживания и прочее;

III.III инженерные сети и коммуникации;

III.III.I объекты водоснабжения и водоотведения;

Масштаб	Система				Подсистема				Компонент				Элемент			
Уровень управления	Стратегический	Тактический	Операционный	Локальный	Стратегический	Тактический	Операционный	Локальный	Стратегический	Тактический	Операционный	Локальный	Стратегический	Тактический	Операционный	Локальный
Уровень автономности	П	О	К	П	О	К	П	О	К	П	О	К	П	О	К	К
Обоснование инвестиций																
Проектирование																
Строительство																
Эксплуатация																
Снос/утилизация																

Примечание: П — полная автономность; О — ограниченная (частичная) автономность; К — критическая автономность.

Рис. 3. Структура шаблона разработки ОТР для объектов КРТ

III.III.II объекты электроснабжения;
III.III.III объекты теплоснабжения;
III.III.IV объекты газоснабжения;
III.IV объекты жилой застройки;
III.IV.I. многоквартирные жилые дома;
III.IV.II индивидуальные жилые дома;
III.IV.III гостиницы и аналогичные объекты размещения и прочее.

IV. Элементный уровень:

IV.I конструктивные элементы гражданских и промышленных зданий и сооружений;

IV.I.I фундаменты;

IV.I.II стены;

IV.I.III колонны;

IV.I.IV перекрытия;

IV.I.V балки и ригели;

IV.I.VI фермы;

IV.I.VII лестницы и лифтовые шахты;

IV.I.VIII перегородки;

IV.I.IX крыша (кровля);

IV.I.X полы;

IV.I.XI ограждающие конструкции (окна);

IV.II конструктивные элементы инженерных сооружений;

IV.II.I опоры;

IV.II.II пролетные строения;

IV.II.III земляное полотно;

IV.II.IV дорожная одежда.

При этом система управления в проектах КРТ является динамическим объектом, где ОТР требуются на каждом этапе ЖЦ. По иерархии управления примем: стратегический уровень управления (преобладают долгосрочные ОТР на горизонт планирования 5 и более лет); тактический (среднесрочные ОТР на 1–3 года); операционный (краткосрочные процессные ОТР) и локальный (срочные ОТР).

По этапам ЖЦ примем ОТР на этапе обоснования инвестиций (наиболее эффективны ОТР стратегические), на этапе проектирования (наиболее эффективны ОТР стратегические и тактические), строительства (преобладают ОТР тактические и операционные), эксплуатации (преобладают ОТР операционные и локальные) и сноса (преобладают тактические и локальные ОТР). Однако стоит отметить, что ОТР разрабатываются для всех этапов ЖЦ и уровней управления.

По уровню автономности выделим полную автономность (П), ограниченную (частичную) автономность (О) и критическую автономность системы (К).

Структура шаблона разработки ОТР по уровню принятия решений по этапам ЖЦ объектов строительства в зависимости от их масштаба и уровня автономности в общем виде представлена на рис. 3.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках проведенного исследования разработана структура системной классификации ОТР на этапах ЖЦ объектов КРТ, которая объединяет такие ключевые понятия, как масштаб системы, этап ЖЦ, уровень управления и уровень автономности. Таким образом, появляется возможность управления параметрами объекта строительства для обеспечения его автономности в заданные сроки.

При этом прослеживается четкая взаимосвязь между этапами ЖЦ, где этап обоснования инвестиций и проектирование определяют начальные условия для объектов КРТ, значение уровня их автономности. На данном этапе закладываются такие параметры, как материалы, конструктивные решения, системы безопасности и прочее. Этап строительства влияет на скорость изменения параметров объектов и уровень их автономности, поскольку в этот период теоретические параметры, заложенные на этапе проектирования, переходят в реальные, а их отклонение от проектных меняет динамику деградации объекта и изменение уровня автономности за счет нарушения применяемой технологии строительства, качества монтажа и т.д. Этап эксплуатации отвечает за интенсивность изменений или компенсирующих воздействий. На этапе сноса собираются данные для корректировки проектных нормативов для повышения автономности будущих объектов.

Учет фрактальных свойств при создании цифровых двойников позволяет эффективно применять предложенную иерархическую классификацию, что представляет отдельный интерес для дальнейших исследований в рамках управления автономностью.

Кроме того, дальнейшие исследования авторов будут посвящены вопросам управления параметрами объекта строительства для обеспечения его автономности в заданные сроки с учетом имеющихся ограничений и определения границ автономности.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Адамцевич Л.А. Управление жизненным циклом жилых зданий и инфраструктурных объектов в проектах комплексного развития территорий // Вестник МГСУ. 2025. Т. 20. № 6. С. 957–966. DOI: 10.22227/1997-0935.2025.6.957-966

2. Осипенкова И.Г. Теоретические и практические аспекты разработки организационно-технологических решений в современных условиях // Инженерный вестник Дона. 2023. № 3 (99). С. 436–444. EDN PBHJNQ.

3. Бидов Т.Х., Котляров М.А., Ахвердашвили Г.Г., Байчоров Р.Х., Урусов А.А. Организационно-технологические решения, влияющие на результативность возведения монолитных конструкций при организации строительства жилых зданий и сооружений // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2020. № 6. С. 175–182. EDN LETPIH.
4. Демиденко О.В. Инновационные организационно-технологические решения энергоэффективного строительства // Вестник Омского регионального института. 2018. № 2. С. 65–70. EDN EIUFZU.
5. Батальцев А.В. Проблемы организационно-технологических решений при строительстве и эксплуатации зданий // Фотинские чтения. 2014. № 1 (1). С. 261–263. EDN XXZRYH.
6. Ескалиев М.Ж., Мухаметзянов З.Р. Исследования современного состояния вопроса разработки организационно-технологических решений при строительстве объектов // Экономика строительства. 2022. № 2 (74). С. 52–60. EDN PSUNYE.
7. Дементьева М.Е., Мазурин Д.М. Организация процессов обработки строительных отходов в рамках технологии «Умный снос» // Строительство и архитектура. 2023. Т. 11. № 4. С. 10. DOI: 10.29039/2308-0191-2023-11-4-10-10. EDN SJYPDO.
8. Gong H., Su D., Zeng S., Chen X. Parallel simulation and prediction techniques for digital twins in urban underground spaces // Automation in Construction. 2025. Vol. 175. P. 106212. DOI: 10.1016/j.autcon.2025.106212
9. El-Shorbagy M.A., Bouaouda A., Abualigah L., Hashim F.A. Stochastic Fractal Search: A Decade Comprehensive Review on Its Theory, Variants, and Applications // Computer Modeling in Engineering & Sciences. 2025. Vol. 142. Issue 3. Pp. 2339–2404. DOI: 10.32604/cmcs.2025.061028
10. Fan C., Ding Y., Liu X., Yang K. A review of crack research in concrete structures based on data-driven and intelligent algorithms // Structures. 2025. Vol. 75. P. 108800. DOI: 10.1016/j.istruc.2025.108800
11. Peivaste I., Belouettar S., Mercuri F., Fantuzzi N., Dehghani H., Izadi R. et al. Artificial intelligence in materials science and engineering: Current landscape, key challenges, and future trajectories // Composite Structures. 2025. Vol. 372. P. 119419. DOI: 10.1016/j.compstruct.2025.119419
12. Kookalani S., Parn E., Brilakis I., Dirar S., Theofanous M., Faramarzi A. et al. Trajectory of building and structural design automation from generative design towards the integration of deep generative models and optimization: A review // Journal of Building Engineering. 2024. Vol. 97. P. 110972. DOI: 10.1016/j.jobe.2024.110972
13. Zhang X., Zheng J., Li P., Yang Y., Ye Y., Causone F. et al. A review of building digital twins: Framework and enabling technologies // Journal of Building Engineering. 2025. Vol. 111. P. 113117. DOI: 10.1016/j.jobe.2025.113117
14. Thomsen A.M.S., Bjørnskov J., Jradi M. Ontology-based Digital Twins for informed decision-making: Scenario testing and optimization in hospital building operations // Journal of Building Engineering. 2025. Vol. 112. P. 113594. DOI: 10.1016/j.jobe.2025.113594
15. Yoon S., Song J., Li J. Ontology-enabled AI agent-driven intelligent digital twins for building operations and maintenance // Journal of Building Engineering. 2025. Vol. 108. P. 112802. DOI: 10.1016/j.jobe.2025.112802
16. Xue J., Xun X., Wang H., Luo Q. Dynamic generation method for structural components to achieve digital twin displays of building construction progress // Automation in Construction. 2025. Vol. 178. P. 106406. DOI: 10.1016/j.autcon.2025.106406
17. Elshaboury N., AlMetwally W.M., Hesham A., Abbas A. Integrated BIM-GIS framework for holistic building stock assessment using 5D geo-modeling and digital twin concepts // Journal of Building Engineering. 2025. Vol. 111. P. 113391. DOI: 10.1016/j.jobe.2025.113391
18. Ghansah F.A. Digital twins for smart building at the facility management stage: a systematic review of enablers, applications and challenges // Smart and Sustainable Built Environment. 2025. Vol. 14. Issue 4. Pp. 1194–1229. DOI: 10.1108/SASBE-10-2023-0298
19. Yan J., Lu Q., Li N., Chen L., Pitt M. Common data environment for digital twins from building to city levels // Automation in Construction. 2025. Vol. 174. P. 106131. DOI: 10.1016/j.autcon.2025.106131
20. Xu Y., Zhang J., Qin H., Zhou H., Yang Z. Digital twin-enabled hybrid deep evolutionary framework for smart building sustainable infrastructure management // Sustainable Energy Technologies and Assessments. 2024. Vol. 65. P. 103773. DOI: 10.1016/j.seta.2024.103773

Поступила в редакцию 9 сентября 2025 г.

Принята в доработанном виде 9 сентября 2025 г.

Одобрена для публикации 17 сентября 2025 г.

ОБ АВТОРАХ: **Любовь Андреевна Адамцевич** — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры информационных систем, технологий и автоматизации в строительстве; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; SPIN-код: 2537-0511; AdamtsevichLA@mgsu.ru;

Азарий Абрамович Лapidус — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологий и организации строительного производства; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; SPIN-код: 8192-2653, Scopus: 57192378750, ResearcherID: B-4104-2016, ORCID: 0000-0001-7846-5770; lapidus58@mail.ru.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

INTRODUCTION

The implementation of integrated territorial development (ITD) projects implies the construction of construction objects with different purposes on a single territory. Traditional management methods that focus on individual objects are losing their effectiveness, and there is a need to use integrated approaches to life cycle management (LCM) not only for each individual object, but for the entire complex as a whole, taking into account the coordination of activities of all participants in the process: developers, designers, contractors, suppliers, authorities and others at all stages of the LCM.

In this connection, the issue of applying a universal measure or criterion that would allow the classification of organizational and technological solutions (OTS) of construction objects in ITD projects at various management levels becomes relevant. Such a parameter can be the system property of the autonomy of construction objects in ITD projects proposed by the authors.

In general, the autonomy of the system is understood as its ability to preserve its functional integrity and adapt to changing environmental conditions (natural and man-made) with minimal intervention, based on the synthesis of its reliability — a probabilistic measure of failure-free operation, stability — preservation of characteristics within acceptable limits under perturbations, and safety — protection from complex threats.

The aim of the research is to develop a system classification of OTS in managing the life cycle of construction objects for ITD projects taking into account a new system property — the autonomy of the construction object, as well as to determine approaches to parameter management to ensure the target level of autonomy.

MATERIALS AND METHODS

The theoretical basis of the study is the general systems theory, tools and methods, as well as the basic principles of systems engineering of construction, which include:

- system approach, which considers the construction object as a single whole consisting of interrelated elements;
- complexity, i.e. taking into account all factors that influence the functioning of the system;
- hierarchy — division of the construction object as a system into subsystems of different levels;

- risk management due to their timely identification;
- life cycle management of a construction object, which means considering it throughout its life cycle from design and construction to operation, reconstruction and demolition.

The main tools and methods of construction system engineering include system analysis and system design, mathematical and simulation modelling, information modelling and risk management methods, including risk identification and assessment, as well as the development of risk mitigation measures during construction.

It should be noted that the goal of construction system engineering is not only to reduce costs and construction time, but also to ensure sustainable construction and urban development.

An enlarged scheme of system engineering application in construction is presented in Fig. 1.

The object of this study is construction objects in projects of integrated territorial development. At the same time, ITD objects are considered not only as a system, in which subsystems, components and elements are distinguished, but also as elements of the system that are in interaction with the surrounding environment. Under a subsystem we will take parts of the system, which have relative independence determined by the degree of freedom, and under an element of the system — an indivisible part of the system with unambiguously defined functions. At the same time,

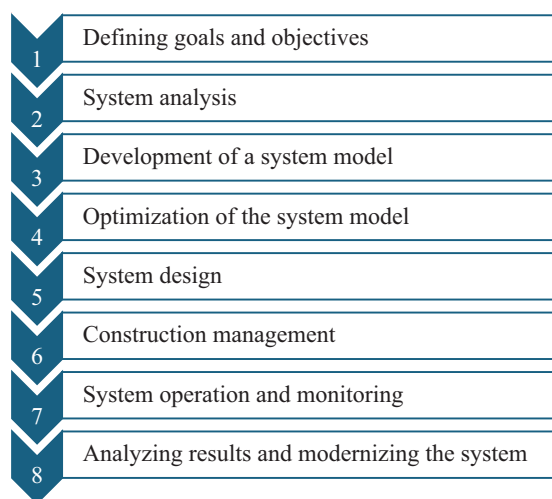


Fig. 1. Algorithm of working with the system within the framework of construction system engineering

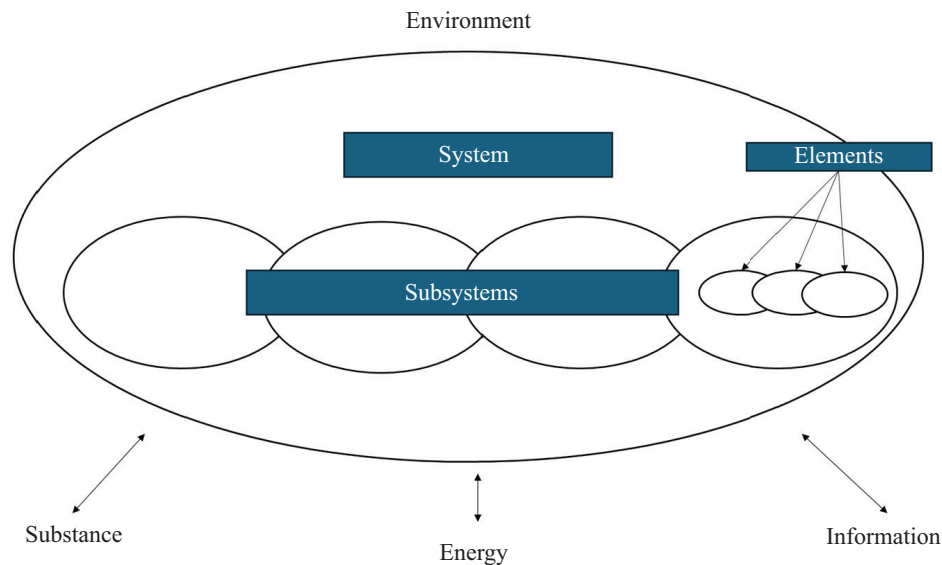


Fig. 2. System structure in general form

based on the general theory of systems, under a component we will take any part of the system that is in interrelation with other parts of the system (subsystems or elements). Fig. 2 illustrates the general structure of the system and the interaction of its elements.

As stated in [1], when implementing ITD projects, it is important to consider areas such as providing the population with housing, jobs, social, road and engineering infrastructure, which should be considered in terms of:

- comprehensive development of residential areas;
- comprehensive development of non-residential construction;
- comprehensive development of undeveloped territory.

Organizational and technological solutions will also depend on the stage of the life cycle of construction objects in ITD projects. In this regard, the following can be distinguished:

1. OTS at the stage of technical and economic justification of investments (TEJ) — a set of measures determining the method of project implementation, including the selection of key technologies, equipment and methods of construction and installation works; the order of organization of the construction process in time and space; the need for basic resources; the relationship between project participants. The main task of OTS at the investment justification stage is to create a technologically and organizationally feasible project model that is sufficient for reliable calculation of costs, deadlines, efficiency and justification of the feasibility of investments.

2. OTS at the construction design stage is a set of measures included in the construction project design aimed at ensuring the effective functioning of the construction project in the future [2, 3], including methods of organizing work, selection of equipment, technological processes, and interaction between project participants. In

addition, risk management must be ensured by identifying risks and developing measures to minimize them.

3. OTS at the construction stage is a set of measures aimed at the effective organization and optimization of the construction process, including the development of technological maps, work schedules, determination of resource requirements, selection of construction methods and coordination of various stages of work. The main objective of OTS at the construction stage is to ensure that construction and installation works are carried out in full compliance with the project, within the established deadlines and with the required quality, not only within the budget, but also in compliance with safety and environmental protection standards [4, 5].

4. OTS at the operational stage is a set of measures, procedures, tools and systems aimed at the effective and safe operation of the facility after it is put into operation. When considering OTS at the operational stage, it should be noted that decisions focus on maintaining the operability of the construction facility, while OTS at the design stage is aimed at predetermining the characteristics and conditions of this operability [5, 6].

5. OTS at the demolition and disposal stage of construction facilities includes the development of a project that ensures the safe and effective performance of work during the dismantling of the construction facility, taking into account methods of separate waste collection and disposal [7].

At the same time, previous studies have identified key Industry 4.0 technologies whose application will increase the efficiency of ITD projects, among which the key ones are digital twins (DT), information modelling technologies, the Internet of Things, and others.

At the same time, most complex technical systems for which DT are created have fractal properties, which include self-similarity, scale invariance, and recursive-ness.

A digital twin built with fractal nature in mind is a hierarchical network of interconnected twins, which allows for more effective application of the technology in ITD projects.

It can be said that each level will be a fractal simplification or complication of neighbouring levels, with data from lower levels being aggregated and used to calibrate models at higher levels, and commands received from higher levels being detailed and executed at lower levels [8–20].

In addition, in the concept of digital twins, Internet of Things sensors generate large amounts of information that also have fractal properties.

Natural and man-made processes that affect the operation of construction objects are also fractal in nature, which makes it possible to forecast loads, model wear and ageing, and move to a predictive and monitoring model of object management.

RESULTS

The study allowed us to form the essence of the systematic nature of the autonomy of construction objects in the context of ITD projects. Thus, the autonomy of a construction object is an emergent property of the system, which is the result of purposeful design, integration, and management of a multitude of interrelated components: engineering, technological, and organizational. This property characterizes a construction object as an active, stable and adaptive system focused on ensuring its functioning in conditions of external uncertainty, which is critically important in the implementation of ITD projects, where the stability, reliability and safety of systems directly affect the quality of life of the population and the sustainable development of cities.

Based on construction systems engineering, the following levels are distinguished in terms of scale: system, subsystem, component, and element. The conceptual model for adopting OTS in the management of the life cycle of construction objects in ITD projects can be structured according to the following levels:

I. System level:

I.I comprehensive development project for residential construction;

I.II comprehensive development project for non-residential construction;

I.III comprehensive development project for undeveloped territory.

II. Subsystem level:

II.I social infrastructure;

II.II transport infrastructure;

II.III engineering infrastructure;

II.IV residential development.

III. Component level:

III.I social infrastructure facilities;

III.I.I preschool educational institutions;

III.I.II general education organizations;

III.I.III hospitals (including children's hospitals);

III.I.IV polyclinics;

III.I.V food and non-food stores;

III.II transport infrastructure facilities;

III.II.I road network, including motorways, bridges, flyovers, tunnels, interchanges;

III.II.II rail transport, including railway tracks and lines, stations, stops, depots, etc.;

III.II.III airports, aerodromes;

III.II.IV sea and river ports, railway stations, canals;

III.II.V public transport: bus stops, metro stations, depots, bus stations, etc.;

III.II.VI related facilities: petrol stations, service stations, etc.;

III.III engineering networks and communications;

III.III.I water supply and sewage facilities;

III.III.II power supply facilities;

III.III.III heat supply facilities;

III.III.IV gas supply facilities;

III.IV residential buildings;

III.IV.I multi-apartment residential buildings;

III.IV.II individual residential buildings;

III.IV.III hotels and similar accommodation facilities, etc.

IV. Element level:

IV.I structural elements of civil and industrial buildings and structures;

IV.I.I foundations;

IV.I.II walls;

IV.I.III columns;

IV.I.IV floors;

IV.I.V beams and girders;

IV.I.VI trusses;

IV.I.VII staircases and lift shafts;

IV.I.VIII partitions;

IV.I.IX roof (roofing);

IV.I.X floors;

IV.I.XI enclosing structures (windows);

IV.II structural elements of engineering structures;

IV.II.I supports;

IV.II.II span structures;

IV.II.III subgrade;

IV.II.IV road surface.

At the same time, the management system in ITD projects is a dynamic object, where OTRs are required at every stage of the life cycle. According to the management hierarchy, we will accept: strategic management level (long-term OTS prevail for a planning horizon of 5 years or more); tactical (medium-term OTS for 1–3 years); operational (short-term process OTS) and local (urgent OTS).

By life cycle stages, we will accept OTS at the investment justification stage (strategic OTS are most effective), at the design stage (strategic and tactical OTS are most effective), construction (tactical and operational OTS prevail), operation (operational and local OTS prevail) and demolition (tactical and local OTS prevail).

Scale	System												Subsystem												Component												Element											
Management level	Strategic				Tactical				Operational				Local				Strategic				Tactical				Operational				Local				Strategic				Tactical				Operational				Local			
Level of autonomy	F	L	C	F	L	C	F	L	C	F	L	C	F	L	C	F	L	C	F	L	C	F	L	C	F	L	C	F	L	C	F	L	C	F	L	C	F	L	C									
Investment rationale																																																
Design																																																
Construction																																																
Exploitation																																																
Demolition/recycling																																																

Note: F — full autonomy; L — limited (partial) autonomy; C — critical autonomy.

Fig. 3. Structure of the OTS development template for ITD facilities

However, it should be noted that OTS are developed for all stages of the life cycle and levels of management.

In terms of autonomy, we distinguish between full autonomy (F), limited (partial) autonomy (L) and critical system autonomy (C).

The structure of the OTS development template by decision-making level for the stages of the construction project life cycle, depending on their scale and level of autonomy, is presented in general terms in Fig. 3.

CONCLUSION

Within the framework of the conducted research the structure of system classification of OTS at the stages of the life cycle of ITD objects has been developed, which combines such key concepts as system scale, life cycle stage, control level and autonomy level. Thus, it becomes possible to control the parameters of the construction object to ensure its autonomy within a given time frame.

There is a clear relationship between the stages of the life cycle, where the stage of investment feasibility and design determine the initial conditions for the ITD objects, the value of their autonomy level. At

this stage, such parameters as materials, design solutions, safety systems, etc. are laid down. The construction stage affects the rate of change in the parameters of the objects and the level of their autonomy, since during this period the theoretical parameters laid down at the design stage turn into real ones, and their deviation from the design ones changes the dynamics of the object degradation and the change in the level of autonomy due to the violation of the applied construction technology, the quality of installation, etc. The operation stage is responsible for the intensity of changes or compensatory impacts. The demolition stage collects data to adjust design standards to improve the autonomy of future facilities.

At the same time, the consideration of fractal properties in the creation of digital twins allows us to effectively apply the proposed hierarchical classification, which is of particular interest for further research in the framework of autonomy management.

In addition, the authors' further research will be devoted to the issues of managing the parameters of the construction object to ensure its autonomy in a given time frame, taking into account the available constraints and defining the boundaries of autonomy.

REFERENCES

1. Adamtsevich L.A. Life cycle management of residential buildings and infrastructure facilities in projects of integrated development of territories. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2025; 20(6):957-966. DOI: 10.22227/1997-0935. 2025.6.957-966 (rus.).
2. Osipenkova I.G. Theoretical and practical aspects of the development of organizational and technological solutions in modern conditions. *Engineering journal of Don*. 2023; 3(99):436-444. EDN PBHJNQ. (rus.).
3. Bidov T.Kh., Kotlyarov M.A., Akhverdashvili G.G., Baychorov R.H., Urusov A.A. Organizational and technological solutions affecting the effectiveness of the construction of monolithic structures in the organization of construction of residential buildings and structures. *Izvestiya Tula State University*. 2020; 6:175-182. EDN LETPIH. (rus.).
4. Demidenko O.V. Innovative organizational and technological solutions for energy-efficient construction. *Bulletin of the Omsk Regional Institute*. 2018; 2:65-70. EDN EIUFZU. (rus.).
5. Batal'tsev A.V. Problems of organizational and technological solutions in the construction and operation of buildings. *Fotinskie Readings*. 2014; 1(1):261-263. EDN XXZRYH. (rus.).
6. Yeskaliyev M.Zh., Mukhametzhanov Z.R. Study of the current state of development of organizational and technological solutions in the construction of facilities. *Construction Economics*. 2022; 2(74):52-60. EDN PSUNYE. (rus.).
7. Dement'eva M., Mazurin D. Organization of construction waste processing processes using "smart demolition" technology. *Construction and Architecture*. 2023; 11(4):10. DOI: 10.29039/2308-0191-2023-11-4-10-10. EDN SJYPDO. (rus.).
8. Gong H., Su D., Zeng S., Chen X. Parallel simulation and prediction techniques for digital twins in urban underground spaces. *Automation in Construction*. 2025; 175:106212. DOI: 10.1016/j.autcon.2025.106212
9. El-Shorbagy M.A., Bouaouda A., Abualigah L., Hashim F.A. Stochastic Fractal Search: A Decade Comprehensive Review on Its Theory, Variants, and Applications. *Computer Modeling in Engineering & Sciences*. 2025; 142(3):2339-2404. DOI: 10.32604/cmescs.2025.061028
10. Fan C., Ding Y., Liu X., Yang K. A review of crack research in concrete structures based on data-driven and intelligent algorithms. *Structures*. 2025; 75:108800. DOI: 10.1016/j.istruc.2025.108800
11. Peivaste I., Belouettar S., Mercuri F., Fantuzzi N., Dehghani H., Izadi R. et al. Artificial intelligence in materials science and engineering: Current landscape, key challenges, and future trajectories. *Composite Structures*. 2025; 372:119419. DOI: 10.1016/j.compstruct.2025.119419
12. Kookalani S., Parn E., Brilakis I., Dirar S., Theofanous M., Faramarzi A. et al. Trajectory of build-

ing and structural design automation from generative design towards the integration of deep generative models and optimization : a review. *Journal of Building Engineering*. 2024; 97:110972. DOI: 10.1016/j.job.2024.110972

13. Zhang X., Zheng J., Li P., Yang Y., Ye Y., Causone F. et al. A review of building digital twins: Framework and enabling technologies. *Journal of Building Engineering*. 2025; 111:113117. DOI: 10.1016/j.job.2025.113117

14. Thomsen A.M.S., Bjørnskov J., Jradi M. Ontology-based Digital Twins for informed decision-making: Scenario testing and optimization in hospital building operations. *Journal of Building Engineering*. 2025; 112:113594. DOI: 10.1016/j.job.2025.113594

15. Yoon S., Song J., Li J. Ontology-enabled AI agent-driven intelligent digital twins for building operations and maintenance. *Journal of Building Engineering*. 2025; 108:112802. DOI: 10.1016/j.job.2025.112802

16. Xue J., Xun X., Wang H., Luo Q. Dynamic generation method for structural components to achieve digital twin displays of building construction progress.

Automation in Construction. 2025; 178:106406. DOI: 10.1016/j.autcon.2025.106406

17. Elshaboury N., AlMetwaly W.M., Hesham A., Abbas A. Integrated BIM-GIS framework for holistic building stock assessment using 5D geo-modeling and digital twin concepts. *Journal of Building Engineering*. 2025; 111:113391. DOI: 10.1016/j.job.2025.113391

18. Ghansah F.A. Digital twins for smart building at the facility management stage: a systematic review of enablers, applications and challenges. *Smart and Sustainable Built Environment*. 2025; 14(4):1194-1229. DOI: 10.1108/SASBE-10-2023-0298

19. Yan J., Lu Q., Li N., Chen L., Pitt M. Common data environment for digital twins from building to city levels. *Automation in Construction*. 2025; 174:106131. DOI: 10.1016/j.autcon.2025.106131

20. Xu Y., Zhang J., Qin H., Zhou H., Yang Z. Digital twin-enabled hybrid deep evolutionary framework for smart building sustainable infrastructure management. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. 2024; 65:103773. DOI: 10.1016/j.seta.2024.103773

Received September 9, 2025.

Adopted in revised form on September 9, 2025.

Approved for publication on September 17, 2025.

B I O N O T E S : **Liubov A. Adamtsevich** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Information Systems, Technologies and Automation in Construction; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; SPIN-code: 2537-0511; AdamtsevichLA@mgsu.ru;

Azariy A. Lapidus — Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Technology and Organization of Construction Production; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; SPIN-code: 8192-2653, Scopus: 57192378750, ResearcherID: B-4104-2016, ORCID: 0000-0001-7846-5770; lapidus58@mail.ru.

Contribution of the authors: all authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

The authors declare no conflicting interests.