

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 681.5

DOI: 10.22227/1997-0935.2025.6.957-966

Управление жизненным циклом жилых зданий и инфраструктурных объектов в проектах комплексного развития территорий

Любовь Андреевна Адамцевич

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

АННОТАЦИЯ

Введение. Цель исследования — анализ взаимосвязи стратегии комплексного развития территорий (КРТ) и методологии управления жизненным циклом (УЖЦ) объектов строительства, раскрытие их синергетического потенциала, включая выявление механизмов и технологий, через которые эти подходы могут дополнять друг друга, формируя базис для устойчивых, технологически современных и социально ориентированных пространств в условиях современных урбанистических вызовов.

Материалы и методы. Выполнен анализ научных публикаций, представленных в РИНЦ, за период с 2021 по 2025 г.

Результаты. Проанализирован международный и российский опыт КРТ, определены основные перспективные технологии при управлении жизненным циклом объектов строительства в условиях цифровой трансформации строительной отрасли, выявлена взаимосвязь КРТ и УЖЦ жилых зданий и инфраструктурных объектов.

Выводы. Ключевые аспекты взаимосвязи стратегии КРТ и методологии УЖЦ объектов строительства: необходимость обеспечения интеграции долгосрочного планирования развития территорий с учетом динамически изменяющихся потребностей социума; сохранение баланса между технологической модернизацией объектов строительства и сохранением ключевых подходов устойчивого развития городов; обеспечение преемственности этапов проектирования, строительства и эксплуатации объектов строительства в контексте устойчивого развития. Выявлены механизмы и технологии, комплексное применение которых позволит обеспечить наилучшую синергию КРТ и методологии УЖЦ, к которым можно отнести: использование предиктивной аналитики и интернета вещей; внедрение цифровых двойников; применение технологий информационного моделирования и прочее. Кроме того, в рамках реализации проектов КРТ важными являются такие направления, как обеспечение населения жильем, рабочими местами, социальной, дорожной и инженерной инфраструктурой. При этом рассматривать эти аспекты целесообразно в рамках трех видов КРТ: комплексного развития территории жилой застройки; комплексного развития нежилой застройки; комплексного развития незастроенной территории.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: КРТ, комплексное развитие территорий, управление жизненным циклом, объект строительства, Индустрия 4.0, интернет вещей, технологии информационного моделирования, предиктивная аналитика, цифровые двойники

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Адамцевич Л.А. Управление жизненным циклом жилых зданий и инфраструктурных объектов в проектах комплексного развития территорий // Вестник МГСУ. 2025. Т. 20. Вып. 6. С. 957–966. DOI: 10.22227/1997-0935.2025.6.957-966

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

Life cycle management of residential buildings and infrastructure facilities in projects of integrated development of territories

Liubov A. Adamtsevich

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

ABSTRACT

Introduction. The purpose of this paper is to analyze the relationship between the strategy of integrated territorial development and the methodology of life cycle management of construction projects.

Materials and methods. To achieve the goal of the study, an analysis of scientific publications presented in the RSCI for the period from 2021 to 2025 was conducted.

Results. International and Russian experience in integrated territorial development was analyzed, the main promising technologies for managing the life cycle of construction projects in the context of digital transformation of the construction industry were identified, the relationship between integrated territorial development and life cycle management of residential buildings and infrastructure facilities was revealed.

Conclusions. The key aspects of the relationship between the integrated territorial development strategy and the life cycle management methodology for construction projects, among which the key ones are the need to ensure the integration of long-term territorial development planning taking into account the dynamically changing needs of society; maintaining a balance between the technological modernization of construction projects and preserving the key approaches to sustainable urban development; ensuring the continuity of the stages of design, construction and operation of construction projects in the context of sustainable development. The mechanisms and technologies have been identified, the integrated application of which will ensure the best synergy of the IDT and the LCM methodology, which include: the use of predictive analytics and the Internet of Things, digital twins, information modeling technologies, etc. In addition, within the framework of the implementation of integrated territorial development projects, such areas as providing the population with housing, jobs, social, road and engineering infrastructure are important. In this case, it is advisable to consider these aspects within the framework of three types of IDT: integrated development of residential development areas; integrated development of non-residential development; integrated development of undeveloped areas.

KEYWORDS: KRT, integrated development of territories, life cycle management, construction object, Industry 4.0, Internet of Things, information modeling technologies, predictive analytics, digital twins

FOR CITATION: Adamtsevitsh 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.).

Corresponding author: Liubov A. Adamtsevitsh, AdamtsevitshLA@mgsu.ru.

ВВЕДЕНИЕ

По состоянию на 1 января 2025 г. доля городского населения в России составила 75,2 %, т.е. 109,8 млн чел. При этом уровень урбанизации по субъектам, по данным Росстата, различается. К наиболее урбанизированным регионам России относятся города федерального значения, такие как Москва — 100 %; Санкт-Петербург — 100 %; Севастополь — 92,6 %.

Среди остальных субъектов РФ по доле городских жителей выделяются: Магаданская область — 96,6 %; Мурманская область — 93 %; Ханты-Мансийский автономный округ – Югра — 92,4 %.

Рост урбанизации приводит к необходимости обеспечения устойчивого развития городов, подразумевающего «развитие, которое удовлетворяет потребности поколения людей, не создавая угроз будущим поколениям при удовлетворении собственных потребностей» [1].

При этом ключевыми задачами на этом пути являются обеспечение достойного места жительства, рабочими местами, комфортной среды жизнедеятельности, развитой инфраструктуры и прочее [1], что во многом пересекается с программой комплексного развития территорий.

Комплексное развитие территорий (КРТ) — государственная программа, ориентированная на преобразование городских пространств с целью повышения качества жизни граждан и стимулирования экономического роста.

В настоящее время программа реализуется по двум основным направлениям:

- реконструкция или снос объектов недвижимости, не отвечающих современным требованиям комфорта и безопасности;
- строительство новых жилых объектов и инфраструктуры, благоустройство территорий.

Выделяют три вида КРТ:

- комплексное развитие территории жилой застройки;

- комплексное развитие нежилых застройки;
- комплексное развитие незастроенной территории.

Комплексное развитие территорий — одно из ключевых направлений градостроительного развития России. Возможность применения механизмов КРТ рассматривается в 84 регионах страны в отношении свыше 1 тыс. территорий, потенциал строительства оценивается в 181 млн м² недвижимости, включая 131 млн м² жилья.

В то же время совершенствование системы управления жизненным циклом (УЖЦ) жилой застройки и объектов инфраструктуры [2] с помощью технологий Индустрии 4.0 позволит реализовать ряд главных аспектов в проектах КРТ.

Цель настоящего исследования — анализ взаимосвязи стратегии КРТ и методологии УЖЦ объектов строительства, а также раскрытие их синергетического потенциала, включая выявление механизмов и технологий, через которые эти подходы могут дополнять друг друга, формируя базис для устойчивых, технологически современных и социально ориентированных пространств в условиях современных урбанистических вызовов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Понятие «комплексное развитие территории» введено Федеральным законом от 30.12.2020 № 494-ФЗ «О внесении изменений в Градостроительный кодекс Российской Федерации и отдельные законодательные акты Российской Федерации в целях обеспечения комплексного развития территорий» [3].

При этом в СП 42.13330.2016 «Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01–89*» под КРТ принимается совокупность мероприятий, выполняемых в соответствии с утвержденной документацией по планировке территории и направленных на создание благоприятных условий проживания граждан, обновление среды

жизнедеятельности и территорий общего пользования поселений, городских округов.

В настоящее время в национальной библиографической базе данных научного цитирования (РИНЦ) по ключевому словосочетанию «комплексное развитие территорий» отображается 18 599 публикаций (рис. 1). Поиск осуществлялся в названиях публикаций, аннотациях, ключевых словах и полном тексте публикации в статьях, в журналах, книгах, материалах конференций, диссертациях и отчетах. Период поиска ограничен с 2021 по 2025 г.

Как видно из рис. 1, сохраняется значительный интерес к вопросу реализации проектов КРТ. При этом стоит отметить, что в фокусе авторов как во-

просы государственного регулирования и существующие программы поддержки [4–6], так и аспекты технологической трансформации [7, 8], в первую очередь, цифровизация для прогнозирования и оптимизации инфраструктуры в проектах КРТ [9, 10] и прочее.

Если рассматривать методологию УЖЦ объектов строительства, то здесь нет устоявшегося словосочетания, по которому целесообразно делать подборку публикаций, поскольку авторы, как правило, используют несколько подходов [11–15] по формированию понятий в области УЖЦ объекта капитального строительства (ОКС).

В статье под ЖЦ объекта строительства будут приниматься этапы ЖЦ в соответствии с СП

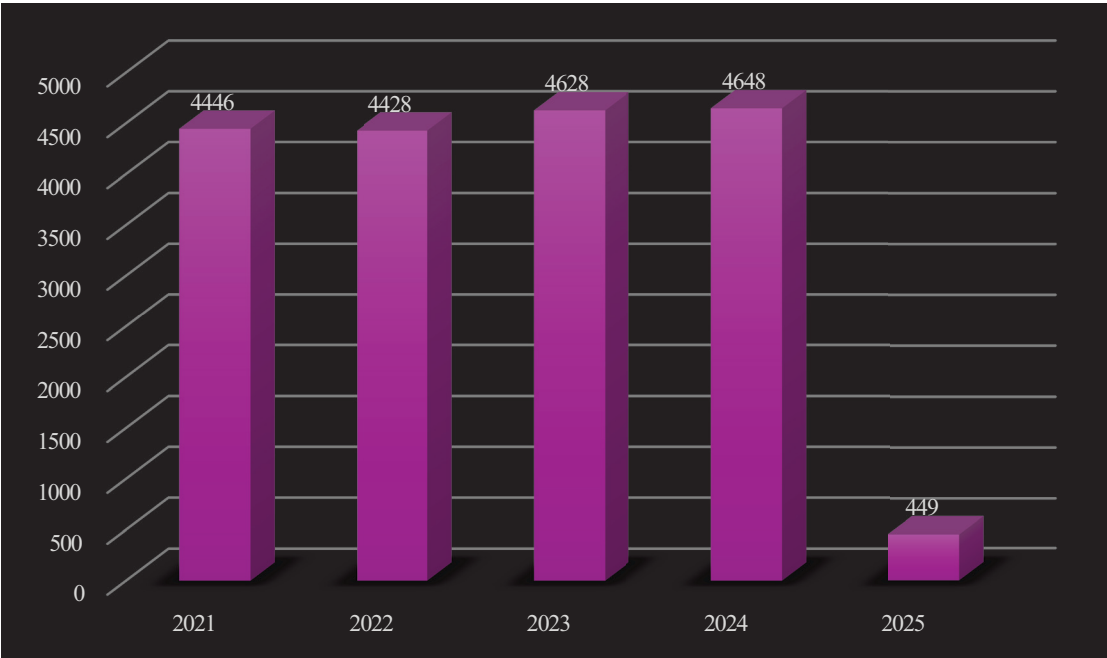


Рис. 1. Динамика изменения количества публикаций по ключевому словосочетанию «комплексное развитие территорий» в РИНЦ за период 2021–2025 гг. по состоянию на май 2025 г.
Fig. 1. Dynamics of changes in the number of publications for the keyword combination “integrated development of territories” in the RSCI for the period 2021–2025 as of May 2025

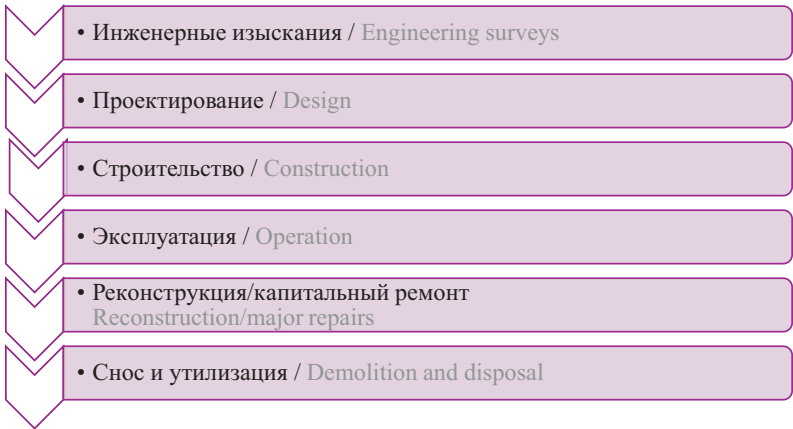


Рис. 2. Этапы жизненного цикла объекта строительства
Fig. 2. Stages of the life cycle of a construction project

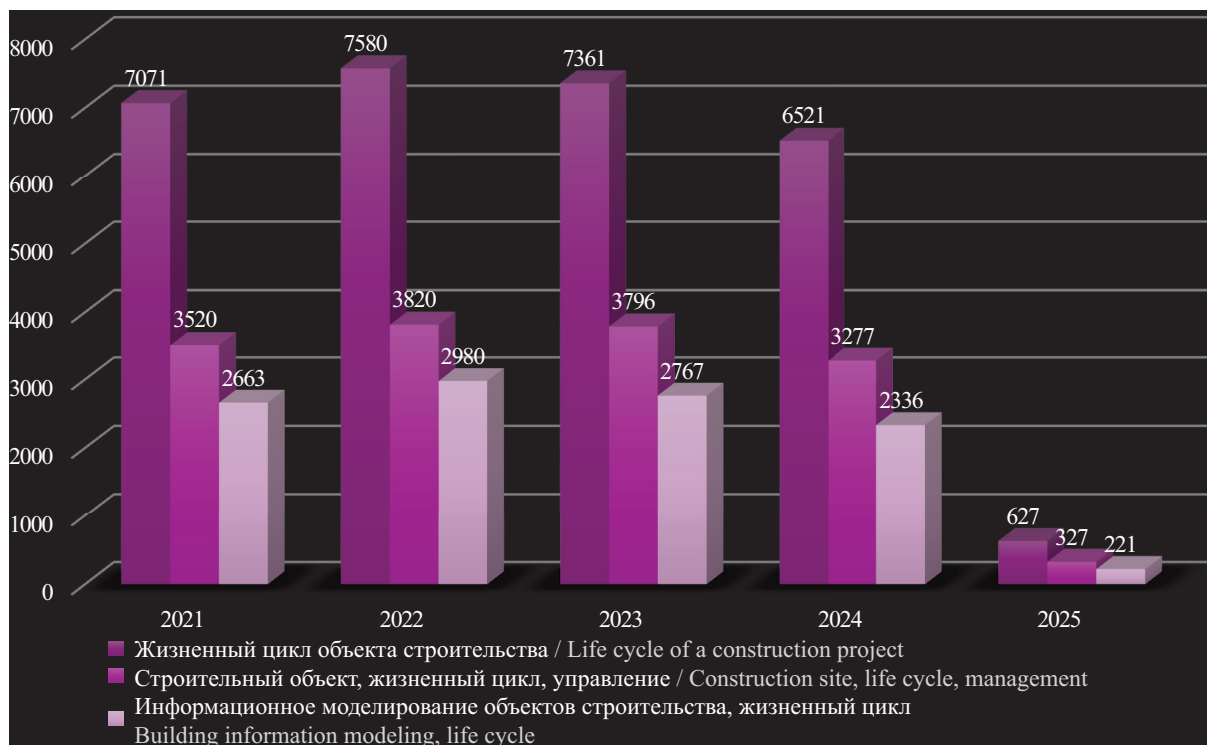


Рис. 3. Динамика изменения количества публикаций по ключевым словосочетаниям в области УЖЦ объектов строительства в РИНЦ за период 2021–2025 гг. по состоянию на май 2025 г.

Fig. 3. Dynamics of changes in the number of publications by keywords in the field of life cycle management of construction projects in the RSCI for the period 2021–2025 as of May 2025

333.1325800.2020 «Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла», в котором под этапами ЖЦ ОКС принимаются «временные периоды, в течение которых осуществляются инженерные изыскания, архитектурно-строительное проектирование (включая прохождение экспертизы), строительство (включая ввод в эксплуатацию), эксплуатация (включая текущие ремонты), реконструкция, капитальный ремонт, снос и утилизация» ОКС (рис. 2).

Для анализа тенденций развития научных исследований в области УЖЦ жилых зданий и инфраструктурных объектов выбраны следующие словосочетания: жизненный цикл объекта строительства; строительный объект, жизненный цикл, управление; информационное моделирование объектов строительства, жизненный цикл (рис. 3).

Условия поиска приняты аналогичные при поиске публикаций для проектов КРТ.

Как видно из рис. 3, наиболее популярным является словосочетание «жизненный цикл объекта строительства».

Подробный обзор существующих технологий Индустрии 4.0 в строительной отрасли представлен в работе [16]. При этом стоит отметить, что описанные в статье технологии не потеряли своей актуальности и сегодня и могут быть эффективно ис-

пользованы при реализации проектов КРТ с учетом методологии УЖЦ объектов строительства.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Проведенное исследование позволило выявить следующее.

Международный и российский опыт комплексного развития территорий

В настоящее время комплексному освоению территорий уделено много внимания как в России, так и за рубежом. За рубежом данный процесс начался чуть ранее. Наиболее известными проектами за рубежом считаются проекты HafenCity [17] в Германии, Canary Wharf [18, 19] в Великобритании, Кор ван Zuid в Нидерландах, Docklands [20–22] в Австралии и Songdo International Business District [23, 24] в Южной Кореи¹.

Проект Hafen City представляет собой крупнейший в Европе проект реконструкции городской территории 220 га, который превратил территорию, бывшую портовым районом Гроссер Грасбрук, в современный многофункциональный район с жилыми домами, офисами, отелями, культурными объектами и магазинами. По информации застройщика к завершению проекта на территории Hafen City будет про-

¹ Проекты комплексного освоения территорий со всего мира // CRE. URL: <https://cre.ru/analytics/31412>

живать более 12 000 человек, обеспечены работой 40 000 чел. Планируется, что проект станет символом успешной трансформации промышленной зоны в динамически развивающийся урбанистический центр. Общий объем инвестиций в проект оценивается в 6,2 млрд евро.

Проект Canary Wharf возник на месте доков West India Docks, которые с момента своего открытия в 1802 г. были среди самых оживленных мест в мире. Однако с течением времени и развитием научно-технического прогресса в 1980 г. доки окончательно закрыли, территория была выкуплена правительством.

Сегодня Canary Wharf соревнуется с Сити за звание финансового и делового центра Лондона. Основными видами деятельности, представленными в районе, являются банковская сфера, медиасфера и предоставление юридических услуг. Территория проекта оценивается в 40 га, а общий объем инвестиций 6,3 млрд евро.

Проект Kop van Zuid — район Коп ван Зюйд, возведенный на месте старых заброшенных портовых районов вокруг Бинненхавена, Энтрепотхавена, Спурвегхавена, Рейнхавена и пирса Вильгельмина. Эти портовые районы и р. Ньиве-Маас создавали большое физическое расстояние между центром и северной частью Роттердама и южной частью города. В этой связи основной задачей для проектировщиков стал вопрос объединения северной и южной части. Общая площадь проекта оценивается 125 га. Идея реконструкции района зародилась в 1988 г., реализация началась в 1990 г. При этом в целях проекта было не только создать новые рабочие места, но также кардинально изменить имидж всего города.

Проект Docklands занимает площадь 190 га, общий объем инвестиций составляет 17,5 млрд долл. Территория Docklands состоит из четырех районов, по итогам завершения проекта ожидается более 60 000 новых рабочих мест. На месте современного Docklands изначально было болото, которое в 1880-х гг. превратилось в оживленный портовый район в составе Мельбурнского порта с обширной сетью причалов, мощной железнодорожной инфраструктурой и легкой промышленностью. После контейнеризации морских перевозок Docklands пришел в упадок и к 1990 гг. был практически заброшен.

Проект Songdo International Business District считается одним из наиболее амбициозных и зани-

мает площадь 530 га, общий объем инвестиций — 40 млрд долл.

Город построен на насыпном искусственном острове. Общее количество жителей оценивается в 700 000 жителей. Целью реализации проекта Songdo International Business District было создание нового города международного уровня с использованием современных цифровых технологий.

Одна из сильных сторон города — передовая транспортная система: для пешеходов по всему городу проложены тротуары и велосипедные дорожки; транспортная сеть города включает сеть автономных автобусов-шаттлов, работающих от электричества, и парк электрических такси, которые могут быть вызваны с помощью приложения для смартфона.

Отличительной особенностью города служит сложная система управления отходами, где каждое здание оборудовано системой сбора и сортировки отходов.

В России наиболее известна Московская программа комплексного развития территорий, при реализации которой стало доступно более 898 000 новых рабочих мест, а общая территория оценивается в 4,2 тыс. га. Реализация проектов КРТ в Москве позволяет создать новые зоны роста для бизнеса и точки притяжения для жителей города. Реализованные проекты КРТ представлены на официальном сайте программы².

Управление жизненным циклом объектов строительства в условиях цифровой трансформации строительной отрасли

Проведенное исследование позволило выявить возможность повышения эффективности УЖЦ жилых зданий и инфраструктурных объектов с применением технологий Индустрии 4.0 [25–32]. В табл. 1 представлена взаимосвязь основных этапов ЖЦ и перспективных технологий.

Взаимосвязь комплексного развития территорий и управления жизненным циклом жилых зданий и инфраструктурных объектов

Проведенный анализ позволил выявить общие черты программы КРТ и методологии УЖЦ, к которым можно отнести системный подход, долгосроч-

² Официальный сайт Московской программы комплексного развития территорий. URL: <https://krt.mos.ru/projects/>

Табл. 1. Взаимосвязь основных этапов ЖЦ и перспективных технологий Индустрии 4.0
Table 1. Interrelation between the main stages of the life cycle and promising technologies of Industry 4.0

Этап ЖЦ Life Cycle Stage	Основные технологии Индустрии 4.0 Key technologies of Industry 4.0	Назначение Purpose
Проектирование Design	ВМ или технологии информационного моделирования / BIM	Моделирование строительных объектов с учетом данных о материалах, стоимости и сроках строительства / Modeling of construction projects taking into account data on materials, cost and construction time

Этап ЖЦ Life Cycle Stage	Основные технологии Индустрии 4.0 Key technologies of Industry 4.0	Назначение Purpose
Проектирование Design	Цифровые двойники / Digital Twins	Разработка виртуальных копий объекта для симуляции различных сценариев / Development of virtual copies of the object to simulate various scenarios
	Искусственный интеллект Artificial Intelligence	Прогнозирование нагрузок, генерация проектных решений Forecasting loads, generating design solutions
Строительство Construction	3D-печать 3D Concrete Printing	Сокращение сроков возведения объектов, минимизация отходов Reducing construction time, minimizing waste
	Дроны / Drones	Мониторинг строительной площадки / Monitoring the construction site
	Роботы / Robots	Повышение точности и безопасности строительных работ Increasing the accuracy and safety of construction work
Эксплуатация Operation	Умные энергосети Smart Grids	Автоматическое управление энергопотреблением Automatic energy management
	Автономные системы Autonomous Systems	Сокращение затрат на ЖКХ / Reducing housing and communal services costs
	Предиктивная аналитика Predictive Analytics	Прогноз износа конструкций для обеспечения своевременного ремонта / Forecasting the wear of the structure to ensure timely repairs
Снос и утилизация Demolition and disposal	Роботы для разборки зданий Building Demolition Robots	Обеспечение безопасного демонтажа объекта строительства и сортировки отходов / Ensuring safe dismantling of the construction site and waste sorting
	Искусственный интеллект Artificial Intelligence	Обеспечение автоматической оптимизации переработки строительных отходов за счет интеллектуального анализа отходов / Ensuring automatic optimization of construction waste recycling through intelligent waste analysis

ную перспективу, использование цифровых технологий и обеспечение устойчивого развития.

Наличие системного подхода обеспечивается в КРТ за счет того, что территория рассматривается как единая система, включающая в себя обеспечение населения жильем, рабочими местами, социальной, дорожной и инженерной инфраструктурой. В методологии УЖЦ объект строительства рассматривается на всех этапах ЖЦ от проектирования до утилизации.

КРТ планирует развитие территории на десятилетия вперед, УЖЦ направлено на оптимизацию затрат на эксплуатацию зданий на 50 лет и более.

При этом ключевыми точками пересечения видятся: интеграция технологий информационного моделирования и ГИС при планировании развития

территории, проектирование долгосрочных инженерных сетей и оценка остаточного ресурса зданий при редевелопменте.

К основным инструментам интеграции КРТ и УЖЦ можно отнести информационное моделирование зданий и реализацию цифровых двойников территорий.

Устойчивость развития создается за счет обеспечения энергоэффективности зданий и сооружений, цифровизации и интеллектуального управления, минимизации отходов и прочего.

В то же время выявлен ряд различий (табл. 2).

Таким образом, УЖЦ ориентировано на микроуровень, а КРТ на макроуровень, однако можно говорить о возможности комплексного использования подходов для достижения максимального синерге-

Табл. 2. Ключевые отличия программы КРТ и методологии УЖЦ

Table 2. Key differences between the integrated development of territories program and the life cycle management methodology

Критерий различия Criterion of distinction	КРТ / IDT	УЖЦ / LCM
Объект управления Object of management	Территория (кварталы, районы, города) Territory (districts, areas, cities)	Отдельные здания и сооружения, инженерные объекты / Individual buildings and structures, engineering facilities
Цель / Purpose	Обеспечение сбалансированного развития инфраструктуры, экономики и населения Ensuring balanced development of infrastructure, economy and population	Минимизация затрат на ЖЦ объекта строительства / Minimization of life cycle costs of a construction facility

Окончание табл. 2 / End of the Table 2

Критерий различия Criterion of distinction	KPT / IDT	УЖЦ / LCM
Методы / Methods	Градостроительное зонирование, моделирование / Urban zoning, modeling	Стоимость жизненного цикла (LCC-анализ), методы предиктивной аналитики / Life cycle cost (LCC analysis), predictive analytics methods
Сроки / Terms	Долгосрочное планирование / Long-term planning	Полный цикл объекта (все этапы ЖЦ) / Full facility cycle (all life cycle stages)

тического эффекта. Например, реализация проекта реновации промзоны с применением технологий информационного моделирования и прочего.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный анализ позволил выявить основные аспекты взаимосвязи стратегии комплексного развития территорий и методологии управления жизненным циклом объектов строительства, среди которых ключевыми являются следующие:

- необходимость обеспечения интеграции долгосрочного планирования развития территорий с учетом динамически изменяющихся потребностей социума;
- сохранение баланса между технологической модернизацией объектов строительства и сохранением ключевых подходов устойчивого развития городов;
- обеспечение преемственности этапов проектирования, строительства и эксплуатации объектов строительства в контексте устойчивого развития.

Кроме того, определены механизмы и технологии, комплексное применение которых даст возмож-

ность обеспечить наилучшую синергию КРТ и методологии УЖЦ, к которым можно отнести:

- использование предиктивной аналитики и интернета вещей для оптимизации ресурсопотребления в проектах КРТ;
- внедрение цифровых двойников для анализа возможных сценариев развития территорий;
- применение технологий информационного моделирования для обеспечения взаимосвязи данных, процессов и участников проекта КРТ и прочее.

Стоит также отметить, что в рамках реализации проектов КРТ важными являются такие направления, как обеспечение населения жильем, рабочими местами, социальной, дорожной и инженерной инфраструктурой.

При этом рассматривать эти аспекты целесообразно в рамках трех направлений:

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

Данному вопросу будут посвящены дальнейшие публикации автора.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Каширинур М.М.* Применение концепции устойчивого развития в городской структуре // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2023. Т. 25. № 1. С. 35–49. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-1-35-49. EDN ZKCOGX.

2. *Суворова М.О., Наумов А.Е., Строкова В.В.* Совершенствование системы управления жизненным циклом комплексной застройки территорий с позиции низкоуглеродного развития // Строительство и архитектура. 2023. Т. 11. № 2. С. 3. DOI: 10.29039/2308-0191-2023-11-2-3-3. EDN YMUZXY.

3. *Кирсанов А.Р.* Виды комплексного развития территорий // Имущественные отношения в Российской Федерации. 2021. № 4 (235). С. 84–89. EDN ROZHUK.

4. *Кирсанов А.Р.* Комплексное развитие территорий: от глобальных планов к конкретным пробле-

мам // Имущественные отношения в Российской Федерации. 2022. № 11 (254). С. 35–42. EDN QBGXJK.

5. *Шibaева Н.А.* Комплексное развитие как основа экономического роста и повышения конкурентоспособности территорий // Менеджмент в современном обществе: технологии будущего и настоящее : мат. XXII Междунар. науч.-практ. конф. 2024. С. 280–287. EDN ABDOJF.

6. *Шibaева Н.А., Кательникова М.А.* Комплексное развитие сельских территорий как основа устойчивого развития регионов России // Друkerовский вестник. 2023. № 2 (52). С. 185–192. DOI: 10.17213/2312-6469-2023-2-185-192. EDN GGLEBE.

7. *Чебакова А.А., Карелин Д.В.* Влияние параметров плотности застройки на комплексное развитие городских территорий // Труды Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета (Сибстрин). 2021. Т. 24. № 1/2 (79/80).

Вестник МГСУ • ISSN 1997-0935 (Print) ISSN 2304-6600 (Online) • Том 20. Выпуск 6, 2025
Vestnik MGSU • Monthly Journal on Construction and Architecture • Volume 20. Issue 6, 2025

С. 69–75. DOI: 10.32683/1815-5987-2021-24-79/80-1/2-69-75. EDN GHSQPW.

8. Смыслова О.Ю., Нестерова Н.Н., Иванова А.А., Юрова П.Н. Комплексное развитие сельских территорий: пространственно-отраслевая и цифровая трансформация // ЭФО: Экономика. Финансы. Общество. 2024. № 1 (9). С. 4–14. DOI: 10.24412/2782-4845-2024-9-4-14. EDN JOMDKU.

9. Слюсарев К.А. Использование цифровых технологий в архитектурном проектировании (на примере реализации мероприятий государственной программы «комплексное развитие сельских территорий») // Избранные доклады 69-й Университетской научно-технической конференции студентов и молодых ученых. 2023. С. 536–540. EDN ZVLDDK.

10. Лаврентьева И.В., Тузов К.А. Возможность использования больших данных для показателей ГП «комплексное развитие сельских территорий» // Вестник Российского государственного аграрного заочного университета. 2021. № 38 (43). С. 113–122. EDN YAZOEZ.

11. Федосов С.В., Федосеев В.Н., Зайцева И.А., Воронов В.А. Управление жизненным циклом устойчивого состояния объекта строительства // Эксперт: теория и практика. 2023. № 3 (22). С. 131–137. DOI: 10.51608/26867818_2023_3_131. EDN AHFIUN.

12. Жданова М.В., Липидус А.А. Сокращение продолжительности сроков жизненного цикла строительного проекта // Строительство и архитектура. 2024. Т. 12. № 4 (45). С. 6. DOI: 10.29039/2308-0191-2024-12-4-6-6. EDN CHIANO.

13. Постнов К.В. Особенности проектирования и использования цифрового двойника проектной организации // Строительство и архитектура. 2023. Т. 11. № 4. С. 23. DOI: 10.29039/2308-0191-2023-11-4-23-23. EDN DMWYAM.

14. Сафарян Г.Б. Жизненный цикл объекта строительства как часть строительной системы // Строительное производство. 2023. № 2. С. 62–65. DOI: 10.54950/26585340_2023_2_62. EDN ZFDURO.

15. Липидус А.А., Федосов С.В., Петрухин А.Б., Кеневеи Э. Цифровое информационное моделирование BIM — одна из возможностей управления жизненным циклом объектов строительства // Строительное производство. 2023. № 4. С. 32–36. DOI: 10.54950/265853402023432. EDN AWXPGA.

16. Гинзбург А.В., Адамцевич Л.А., Адамцевич А.О. Строительная отрасль и концепция «Индустрия 4.0»: обзор // Вестник МГСУ. 2021. Т. 16. № 7. С. 885–911. DOI: 10.22227/1997-0935.2021.7.885-911. EDN NWPZGH.

17. Eleftheriou V., Knieling J. The urban project of HafenCity. Today's Urban and Traffic profile of the area. Executive summary of methodology and traffic research conducted in the region // Transportation

Research Procedia. 2017. Vol. 24. Pp. 73–80. DOI: 10.1016/j.trpro.2017.05.070

18. Harding J. Observing inclusivity in a crowded London underground station using service design methods // Proceedings of the Institution of Civil Engineers — Municipal Engineer. 2024. Vol. 177. Issue 1. Pp. 25–37. DOI: 10.1680/jmuen.23.00048

19. Roberts J., Simpson J., Murphy N., Paxman J. Construction engineering to transform the composite frame of YY London // Proceedings of the Institution of Civil Engineers — Civil Engineering. 2024. Vol. 177. Issue 4. Pp. 187–196. DOI: 10.1680/jcien.24.00918

20. Doyle A. Urban resilience: the regeneration of the Dublin Docklands // Proceedings of the Institution of Civil Engineers — Urban Design and Planning. 2016. Vol. 169. Issue 4. Pp. 175–184. DOI: 10.1680/jurdp.15.00038

21. Song Z., Cao M., Han T., Hickman R. Public transport accessibility and housing value uplift: Evidence from the Docklands light railway in London // Case Studies on Transport Policy. 2019. Vol. 7. Issue 3. Pp. 607–616. DOI: 10.1016/j.cstp.2019.07.001

22. Ball R.J., Langdon N.J., Giles D.P. Impact of the Calder's Wharf development on Docklands Light Railway tunnels, London, UK // Proceedings of the Institution of Civil Engineers — Geotechnical Engineering. 2021. Vol. 174. Issue 4. Pp. 419–429. DOI: 10.1680/jgeen.20.00053

23. Kim Y., Choi M.J. Contracting-out public-private partnerships in mega-scale developments: The case of New Songdo City in Korea // Cities. 2018. Vol. 72. Pp. 43–50. DOI: 10.1016/j.cities.2017.07.021

24. Yigitcanlar T., Han H., Kamruzzaman M., Ioppolo G., Sabatini-Marques J. The making of smart cities: Are Songdo, Masdar, Amsterdam, San Francisco and Brisbane the best we could build? // Land Use Policy. 2019. Vol. 88. P. 104187. DOI: 10.1016/j.landusepol.2019.104187

25. Zhou Y. AI-driven digital circular economy with material and energy sustainability for industry 4.0 // Energy and AI. 2025. Vol. 20. P. 100508. DOI: 10.1016/j.egyai.2025.100508

26. Seraj M., Parvez M., Khan O., Yahya Z. Optimizing smart building energy management systems through industry 4.0: A response surface methodology approach // Green Technologies and Sustainability. 2024. Vol. 2. Issue 2. P. 100079. DOI: 10.1016/j.grets.2024.100079

27. Bag S., Gupta S., Chan H.-L., Kumar A. Building smart product-service systems capabilities for circular supply chains in the Industry 4.0 era // Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review. 2024. Vol. 188. P. 103625. DOI: 10.1016/j.tre.2024.103625

28. Jia W., Li S., Wang J., Lee J.T.E., Lin C.S.K., Mašek O. et al. Sustainable valorisation of food waste into engineered biochars for CO₂ capture towards a circular economy // Green Chemistry. 2024. Vol. 26. Issue 4. Pp. 1790–1805. DOI: 10.1039/d3gc04138g

29. Bosu I., Mahmoud H., Hassan H. Energy audit, techno-economic, and environmental assessment of integrating solar technologies for energy management in a university residential building: A case study // *Applied Energy*. 2023. Vol. 341. P. 121141. DOI: 10.1016/j.apenergy.2023.121141

30. Yin X., Liu H., Chen Y., Al-Hussein M. Building information modelling for off-site construction: Review and future directions // *Automation in Construction*. 2019. Vol. 101. Pp. 72–91. DOI: 10.1016/j.autcon.2019.01.010

31. Prashar A. A parametric optimization approach for radial shaft seal production processes for rubber waste reduction // *Journal of Cleaner Production*. 2023. Vol. 415. P. 137770. DOI: 10.1016/j.jclepro.2023.137770

32. Alijoyo F.A. AI-powered deep learning for sustainable industry 4.0 and internet of things: Enhancing energy management in smart buildings // *Alexandria Engineering Journal*. 2024. Vol. 104. Pp. 409–422. DOI: 10.1016/j.aej.2024.07.110

Поступила в редакцию 20 мая 2025 г.

Принята в доработанном виде 2 июня 2025 г.

Одобрена для публикации 2 июня 2025 г.

ОБ АВТОРЕ: **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.

REFERENCES

1. Kashiripoor M.M. Application of sustainable development concept to the urban structure. *Journal of Construction and Architecture*. 2023; 25(1):35-49. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-1-35-49. EDN ZKCOGX. (rus.).

2. Krutilova M., Naumov A., Strokova V. Life cycle low-carbon management system improvement of the integrated development of buildings. *Construction and Architecture*. 2023; 11(2):3. DOI: 10.29039/2308-0191-2023-11-2-3-3. EDN YMUZXY. (rus.).

3. Kirsanov A.R. Types of integrated development of territories. *Property Relations in the Russian Federation*. 2021; 4(235):84-89. EDN ROZHUK. (rus.).

4. Kirsanov A.R. Integrated development of territories: from global plans to specific problems. *Property Relations in the Russian Federation*. 2022; 11(254):35-42. EDN QBGXJK. (rus.).

5. Shibaeva N.A. Integrated development as the basis for economic growth and increasing the competitiveness of territories. *Management in modern society: technologies of the future and mentoring : materials of the XXII International scientific and practical conference*. 2024; 280-287. EDN ABDOJF. (rus.).

6. Shibaeva N.A., Katalnikova M.A.I. Integrated development of rural territories as a basis for sustainable development of Russian regions. *Drukerovskij vestnik*. 2023; 2(52):185-192. DOI: 10.17213/2312-6469-2023-2-185-192. EDN GGLEBE. (rus.).

7. Chebakova A.A., Karelin D.V. Influence of building density parameters on the integrated development of urban areas. *Proceedings of the Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin)*. 2021; 24(1/2):(79/80):69-75. DOI:

10.32683/1815-5987-2021-24-79/80-1/2-69-75. EDN GHSQPW. (rus.).

8. Smyslova O.Y., Nesterova N.N., Ivanova A.A., Yurova P.N. Integrated rural development: spatial, sectoral and digital transformation. *EFO: Economics. Finance. Society*. 2024; 1(9):4-14. DOI: 10.24412/2782-4845-2024-9-4-14. EDN JOMDKU. (rus.).

9. Slyusarev K.A. Use of digital technologies in architectural design (on the example of the implementation of activities of the state program “integrated development of rural areas”). *Selected reports of the 69th University Scientific and Technical Conference of Students and Young Scientists*. 2023; 536-540. EDN ZVLDDK. (rus.).

10. Lavrentieva I.V., Tuzov K.A. Possibility of using big data for indicators of the state program “integrated development of rural territories”. *Bulletin of the Russian State Agrarian Correspondence University*. 2021; 38(43):113-122. EDN YAZOEZ. (rus.).

11. Fedosov S.V., Fedoseev V.N., Zayceva I.A., Voronov V.A. Management of the life cycle of a construction facility steady state. *Expert: Theory and Practice*. 2023; 3(22):131-137. DOI: 10.51608/26867818_2023_3_131. EDN AHFIUN. (rus.).

12. Zhdanova M., Lapidus A. Life cycle requirement time optimization of a construction project. *Construction and Architecture*. 2024; 12(4):(45):6. DOI: 10.29039/2308-0191-2024-12-4-6-6. EDN CHIANO. (rus.).

13. Postnov K. Peculiarities of designing and using a digital twin of a design organization. *Construction and Architecture*. 2023; 11(4):23. DOI: 10.29039/2308-0191-2023-11-4-23-23. EDN DMWYAM. (rus.).

14. Safaryan G.B. The life cycle of a building object as part of the construction system. *Construction Production*. 2023; 2:62-65. DOI: 10.54950/26585340_2023_2_62. EDN ZFDURO. (rus.).

15. Lapidus A.A., Fedosov S.V., Petrukhin A.B., Kenewei E. Digital information modeling BIM is one of the possibilities of construction objects life cycle management. *Construction Production*. 2023; 4:32-36. DOI: 10.54950/265853402023432. EDN AWXPGA. (rus.).

16. Ginzburg A.V., Adamtsevich L.A., Adamtsevich A.O. Construction industry and the Industry 4.0 concept: a review. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2021; 16(7):885-911. DOI: 10.22227/1997-0935.2021.7.885-911. EDN NWPZGH. (rus.).

17. Eleftheriou V., Knieling J. The urban project of HafenCity. Today's Urban and Traffic profile of the area. Executive summary of methodology and traffic research conducted in the region. *Transportation Research Procedia*. 2017; 24:73-80. DOI: 10.1016/j.trpro.2017.05.070

18. Harding J. Observing inclusivity in a crowded London underground station using service design methods. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers — Municipal Engineer*. 2024; 177(1):25-37. DOI: 10.1680/jmuen.23.00048

19. Roberts J., Simpson J., Murphy N., Paxman J. Construction engineering to transform the composite frame of YY London. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers — Civil Engineering*. 2024; 177(4):187-196. DOI: 10.1680/jcien.24.00918

20. Doyle A. Urban resilience: the regeneration of the Dublin Docklands. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers — Urban Design and Planning*. 2016; 169(4):175-184. DOI: 10.1680/jurdp.15.00038

21. Song Z., Cao M., Han T., Hickman R. Public transport accessibility and housing value uplift: Evidence from the Docklands light railway in London. *Case Studies on Transport Policy*. 2019; 7(3):607-616. DOI: 10.1016/j.cstp.2019.07.001

22. Ball R.J., Langdon N.J., Giles D.P. Impact of the Calder's Wharf development on Docklands Light Railway tunnels, London, UK. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers — Geotechnical Engineering*. 2021; 174(4):419-429. DOI: 10.1680/jgeen.20.00053

23. Kim Y., Choi M.J. Contracting-out public-private partnerships in mega-scale developments: The case

of New Songdo City in Korea. *Cities*. 2018; 72:43-50. DOI: 10.1016/j.cities.2017.07.021

24. Yigitcanlar T., Han H., Kamruzzaman M., Ioppolo G., Sabatini-Marques J. The making of smart cities: Are Songdo, Masdar, Amsterdam, San Francisco and Brisbane the best we could build? *Land Use Policy*. 2019; 88:104187. DOI: 10.1016/j.landusepol.2019.104187

25. Zhou Y. AI-driven digital circular economy with material and energy sustainability for industry 4.0. *Energy and AI*. 2025; 20:100508. DOI: 10.1016/j.egyai.2025.100508

26. Seraj M., Parvez M., Khan O., Yahya Z. Optimizing smart building energy management systems through industry 4.0: A response surface methodology approach. *Green Technologies and Sustainability*. 2024; 2(2):100079. DOI: 10.1016/j.grets.2024.100079

27. Bag S., Gupta S., Chan H.-L., Kumar A. Building smart product-service systems capabilities for circular supply chains in the Industry 4.0 era. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 2024; 188:103625. DOI: 10.1016/j.tre.2024.103625

28. Jia W., Li S., Wang J., Lee J.T.E., Lin C.S.K., Mašek O. et al. Sustainable valorisation of food waste into engineered biochars for CO₂ capture towards a circular economy. *Green Chemistry*. 2024; 26(4):1790-1805. DOI: 10.1039/d3gc04138g

29. Bosu I., Mahmoud H., Hassan H. Energy audit, techno-economic, and environmental assessment of integrating solar technologies for energy management in a university residential building: A case study. *Applied Energy*. 2023; 341:121141. DOI: 10.1016/j.apenergy.2023.121141

30. Yin X., Liu H., Chen Y., Al-Hussein M. Building information modelling for off-site construction: Review and future directions. *Automation in Construction*. 2019; 101:72-91. DOI: 10.1016/j.aut-con.2019.01.010

31. Prashar A. A parametric optimization approach for radial shaft seal production processes for rubber waste reduction. *Journal of Cleaner Production*. 2023; 415:137770. DOI: 10.1016/j.jclepro.2023.137770

32. Alijoyo F.A. AI-powered deep learning for sustainable industry 4.0 and internet of things: Enhancing energy management in smart buildings. *Alexandria Engineering Journal*. 2024; 104:409-422. DOI: 10.1016/j.aej.2024.07.110

Received May 20, 2025.

Adopted in revised form on June 2, 2025.

Approved for publication on June 2, 2025.

BIONOTES: 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.