

Понятие «жизненный цикл здания»: к вопросу о концептуализации

Сергей Викторович Федосов¹, Борис Евгеньевич Нармания¹, Елена Львовна Смирнова², Виктория Сергеевна Коновалова², Наталья Сергеевна Касьяненко²

¹ *Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); г. Москва, Россия;*

² *Ивановский государственный политехнический университет (ИВГПУ); г. Иваново, Россия*

АННОТАЦИЯ

Введение. Актуальность указанной темы лежит в сфере анализа и уточнения терминологического аппарата научного исследования. Очевидно, что познание сложных технических систем предполагает их смысловое понимание и, следовательно, корректное использование терминологии, особенно заимствованной из других предметных областей. Концепция жизненного цикла (ЖЦ) есть основной вариант реализации системного подхода к сложным техническим объектам, направленный на отображение изменений состояния этих объектов в период их существования. Она связана с интеграцией процессов проектирования, производства и эксплуатации сложных технических систем в рамках единой метамодел и предполагает выделение ряда стадий (этапов) ЖЦ и изучение взаимосвязей между ними. Понятие «жизненного цикла здания», включенное в терминологический инструментарий комплекса архитектурно-строительных наук в начале XXI в., получило официальное закрепление как в научном словаре, так и на правовом уровне. Заимствование данного понятия из других сфер знания обуславливает важность его методологического анализа.

Материалы и методы. Логико-методологический анализ понятия «жизненный цикл здания» включает исследование содержания ряда категорий (цикличность, ЖЦ), которые являются базовыми для его закрепления в научной терминологии комплекса архитектурно-строительного знания. Анализируются механизм и логика заимствования данного понятия из предметных областей других наук, обоснованность его применения в сфере строительства.

Результаты. В ходе изучения особенностей концептуализации понятия «жизненный цикл здания» выявлен ряд принципиальных отличий этого явления от других видов ЖЦ. Показана необходимость учета специфики объектов строительства, отличающихся от других сложных технических систем, и обоснована инструментальная значимость понятия «жизненный цикл здания» как теоретического конструкта.

Выводы. Содержание термина «жизненный цикл здания» основывается на интегративной концепции ЖЦ. Его включение в систему понятий комплекса архитектурно-строительных наук обосновывается необходимостью системного подхода к организации строительства объектов недвижимости с учетом использования BIM-технологии.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: концепция жизненного цикла, жизненный цикл здания, техноценоз, информационная модель, открытая система, анализ состояния конструкции, оценка жизненного цикла

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Федосов С.В., Нармания Б.Е., Смирнова Е.Л., Коновалова В.С., Касьяненко Н.С. Понятие «жизненный цикл здания»: к вопросу о концептуализации // Вестник МГСУ. 2025. Т. 20. Вып. 4. С. 584–595. DOI: 10.22227/1997-0935.2025.4.584-595

Автор, ответственный за переписку: Виктория Сергеевна Коновалова, kotprotiv@yandex.ru.

The concept of “building life cycle”: the issue of conceptualization

Sergey V. Fedosov¹, Boris E. Narmaniya¹, Elena L. Smirnova²,
Viktoriya S. Konovalova², Nataliya S. Kasiyanenko²

¹ *Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU);
Moscow, Russian Federation;*

² *Ivanovo State Polytechnic University (IVSPU); Ivanovo, Russian Federation*

ABSTRACT

Introduction. The relevance of this topic lies in the field of analysis and clarification of the terminological apparatus of scientific research. It is obvious that the knowledge of complex technical systems implies their semantic understanding and, consequently, the correct use of terminology, especially borrowed from other subject areas. The concept of the life cycle is the main variant of the implementation of a systematic approach to complex technical objects. It is aimed at displaying

changes in the state of these objects during their existence. It is associated with the integration of the processes of design, production and operation of complex technical systems within a single meta-model and involves the identification of a number of stages of the life cycle and the study of the relationships between them. The concept of the “building life cycle”, included in the terminological toolkit of the complex of architectural and construction sciences at the beginning of the XXI century, has been officially consolidated both in the scientific dictionary and at the legal level. The borrowing of this concept from other fields of knowledge determines the importance of its methodological analysis.

Materials and methods. The logical and methodological analysis of the concept of “building life cycle” includes the study of the content of a number of categories (cyclical nature, life cycle), which are basic for its consolidation in the scientific terminology of the complex of architectural and construction knowledge. The mechanism and logic of borrowing this concept from the subject areas of other sciences, the validity of its application in the field of construction are analyzed.

Results. During the study of the features of the conceptualization of the concept of “building life cycle”, a number of fundamental differences between this phenomenon and other types of life cycles were revealed. The necessity of taking into account the specifics of construction projects that differ from other complex technical systems was shown, and the instrumental significance of the concept of “building life cycle” as a theoretical construct was substantiated.

Conclusions. The content of the term “building life cycle” is based on the integrative concept of the life cycle. Its inclusion in the system of concepts of the complex of architectural and construction sciences is justified by the need for a systematic approach to the organization of real estate construction, taking into account the use of BIM-technology.

KEYWORDS: life cycle concept, building life cycle, technocenosis, information model, open system, structural condition analysis, life cycle assessment

FOR CITATION: Fedosov S.V., Narmaniya B.E., Smirnova E.L., Konovalova V.S., Kasiyanenko N.S. The concept of “building life cycle”: the issue of conceptualization. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2025; 20(4):584-595. DOI: 10.22227/1997-0935.2025.4.584-595 (rus.).

Corresponding author: Viktoriya S. Konovalova, kotprotiv@yandex.ru.

ВВЕДЕНИЕ

В процессе формирования языка науки важная методологическая роль отводится процедуре концептуализации понятий. Суть ее заключается в том, что происходит введение определенных понятийных конструктов в массив эмпирических данных. Тем самым обеспечивается теоретическая организация знания на основе выстраивания системы понятий, что позволяет в дальнейшем разрабатывать гипотезы о природе и характере взаимосвязей значимых объектов.

Четкая разработанность научного терминологического аппарата во многом определяет его инструментальную точность и надежность обмена информацией в профессиональном сообществе. В сфере естествознания и технического знания требования к терминологии достаточно жесткие: ее отличают строгость, определенность, однозначность. Вместе с тем в процессе концептуализации неизбежно происходит диффузия из одной предметной области научного знания в другую. Нередко в профессиональный оборот вводятся понятия из повседневного языка путем метафорического переноса значения. Как следствие, имеет место размывание границ понятия.

Когда говорим о жизненном цикле (ЖЦ) или цикле жизни, мы обычно имеем в виду продолжительность существования и полезность вещей или в случае живого организма жизнеспособность. Этот этап состоит из различных стадий, периодов или транзитов. Он обычно начинается с создания или рождения и достигает кульминации в смерти, устаревании или бесполезности. С этой точки зрения абсолютно все имеет свой собственный ЖЦ. Таким образом, данный термин может использоваться в самых разных областях жизни, от биологии (где его называ-

ют биологическим циклом), разделяя в этом случае по типу живого существа, до маркетинга и сфер производства.

Говоря о ЖЦ продукта, имеют в виду траекторию, описывающую количество продаж продукта с момента его выхода на рынок для потребления. Другими словами, речь идет об эволюции продаж продукции с течением времени. Этот ЖЦ отличается для каждого типа продукта. В административном мире проекты также проходят определенный ЖЦ с набором стадий или фаз, которые отмечают их естественную эволюцию по мере того, как они обретают форму и становятся реальностью. Этот цикл всегда можно прервать заранее, в случае если проект будет заброшен, но, если все пойдет хорошо, он приведет к достижению общих целей, ради которых изначально и был задуман.

Жизненный цикл имеется и у отраслей промышленности и индустрии. Он также начинается с выхода на рынок, затем наступает стадия роста и зрелости. Если отрасли не справляются с меняющимися потребностями потребителей, они закрываются или трансформируются в другие. Но их ЖЦ намного длиннее жизненного цикла продукта.

Актуальность экологической проблематики, вопросов энергоэффективности зданий и сооружений, устойчивого строительства обусловила включение в терминологический аппарат архитектурно-строительных наук понятия «жизненный цикл зданий» (ЖЦЗ). Концепция жизненных циклов — одна из составляющих современной методологии управления различными процессами, в том числе и строительными проектами. В основе экоустойчивого подхода в строительстве лежит оценка ЖЦЗ от начала проектирования и создания эксплуатационной системы до ввода в эксплуатацию.

Хотя термин «жизненный цикл здания» впервые появился в зарубежных исследованиях в начале 80-х гг. прошлого века [1, 2], в полной мере в то время он не рассматривался как потенциальный стимул нового экологического подхода к проектированию зданий. В России этот термин был официально введен в техническом регламенте о безопасности зданий и сооружений в 2009 г. (Федеральный закон № 384-ФЗ¹, ст. 2). С тех пор можно констатировать рост интереса представителей профессионального научного сообщества к содержанию этого понятия, выявлению соотношения его содержания с реальным процессом строительства зданий и сооружений. Не ограничиваясь отсылкой к определению ЖЦЗ в указанном правовом документе, авторы работ [3–7] уделяют значительное внимание методологии включения концепта «жизненный цикл зданий» в комплекс вопросов, связанных с развитием BIM-моделирования в современном строительстве.

Важной теоретической предпосылкой введения понятия «жизненный цикл зданий» в терминологический аппарат инженерно-строительного и архитектурного научного знания является осмысление универсальных свойств цикличности как основы развития и стабильности многообразных природных и социальных процессов [8–10]. Поскольку архитектурная и строительная индустрия все больше уделяет внимания экологичности, разрабатываются более комплексные методы оценки и снижения воздействия зданий на окружающую среду. Оценка ЖЦЗ становится одним из наиболее функциональных инструментов оценки.

Универсальность цикличности процессов, протекающих в природе (неживой, живой) и социальном пространстве, проектной и управленческой деятельности, на определенном этапе начинает проявляться и в сфере технической реальности. Разработанная Б.И. Кудриным в 70–80-е гг. XX в. концепция техноценоза [11–13] вызывает отклик у современных авторов. Все более востребованным становится обращение к проблеме синтеза технической и социальной реальности, к практическим вопросам управления их взаимодействием.

Жизненный цикл и процесс комплексного проектирования можно понимать как процесс, в котором его взаимосвязь с окружающим контекстом, технические компоненты и технологии являются частями единой системы на протяжении всего ЖЦЗ. Эта цель может быть достигнута, если члены междисциплинарной профессиональной команды будут работать сообща с самого начала, с момента концептуального проектирования, принимая стратегические решения и решая все вопросы проектирования. Таким образом, энергоэффективные технологии и стратегии могут быть включены в проект здания

таким образом, чтобы это соответствовало соображениям ЖЦ. В отличие от обычного линейного процесса проектирования, процесс комплексного проектирования характеризуется серией повторяющихся циклов действий на каждом этапе проектирования: от концепции до схемы и детального проектирования и документации для строительства. В каждом цикле деятельности участвуют все соответствующие члены команды, которые активно взаимодействуют друг с другом для выработки оптимальных решений. Создание многопрофильной команды в начале проекта имеет решающее значение. В контексте устойчивых зданий ЖЦ и процесс комплексного проектирования постепенно перешли от экспериментальных и специальных применений к общепринятой практике в работе консультантов и застройщиков.

Подход к проектированию ЖЦ, в отличие от большинства исследований в области эффективности жизненного цикла, помимо учета воздействия на окружающую среду, включает также экономический и функциональный анализ эффективности. Таким образом, он позволяет получить комплексное представление о преимуществах и недостатках, выбирая различные варианты проектирования с учетом нескольких аспектов анализа.

Цель статьи состоит в том, чтобы проанализировать процесс формирования научного понятия «жизненный цикл здания», осуществленный путем заимствования из других предметных областей, и показать его инструментальную значимость именно в комплексе архитектурно-строительных наук.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалом для изучения процесса концептуализации понятия «жизненный цикл здания» стали научные публикации, в которых отражены различные подходы к пониманию ЖЦЗ. Накоплен достаточно богатый теоретический и практический опыт выявления и осмысления содержания, вкладываемого в термин «жизненный цикл здания». При раскрытии содержания научного понятия большую роль играет его определение. В связи с этим анализировались различные дефиниции ЖЦЗ с тем, чтобы эксплицировать внутреннее содержание понятия через выявление его основных характеристик.

Логический анализ был дополнен историческим, с помощью которого прослеживалась цепочка переходов понятия «жизненный цикл» из одной области научного знания в другую вплоть до сферы строительства. При этом акцентировалось внимание на выявлении общих оснований, позволяющих осуществить такой перенос без утраты смыслового значения.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Интересно отметить, что при большой распространенности понятия «цикл» в разных науках практически невозможно встретить его определе-

¹ Технический регламент о безопасности зданий и сооружений : Федеральный закон от 30.12.2009 № 384-ФЗ.

ние. Как правило, включая этот термин в исследовательский инструментарий, авторы исходят из того, что его значение известно и не требует отдельного пояснения. Возможно, это отчасти объясняется тем, что цикличность — это фундаментальное свойство сложных систем (в живой и неживой природе), воспринимаемое людьми как естественное явление. В нем выражена не прерывающаяся взаимосвязь и взаимодействие всего со всем посредством повторяющихся колебаний, подъемов и спадов.

Исчисление следующих друг за другом циклических актов порождает понятие «время», а исчисление объектов, возникших друг за другом в результате циклических актов, — понятие «пространство». Генетическая связь этих понятий фиксируется давно. Ее суть заключается в том, что в основе обоих — исчисление циклов. В цикле одно событие предшествует другому, и этот порядок постоянно воспроизводится. В нашем мире он называется причинно-следственными отношениями. В цикле предшествующее событие называется причиной, а последующее — следствием [14].

Циклические явления широко распространены в природе (например, циклы в термодинамике, суточные преобразования в биоценозах, циклы изменения численности и расселения животных и растений и пр.). Таким образом, всеобщая закономерность природы заключается в цикличности развития, в том, что оно идет не по восходящей линии, а циклами. Разнообразные циклы проявляются и в обществе. Их бытие укоренено в объективных законах развития и функционирования социальной реальности.

Отдельного внимания заслуживают циклы, связанные с деятельностью человека (процессы управления и проектирования). Разработка современных основ теории деятельности, нашедшей применение в области проектирования технических систем, была осуществлена в трудах отечественного философа Г.П. Щедровицкого и представителей его школы [15]. Ему принадлежит мысль о том, что деятельность следует рассматривать как систему с неоднородной полиструктурой за счет многочисленных и весьма разнообразных компонент и связей [15].

В целом к общим атрибутивным признакам цикла относятся последовательность, повторяемость, а также упорядоченность и устойчивость. Сравнение определений «жизненного цикла», применяемых в разных областях научного знания, показывает, что к его ключевым характеристикам обычно относятся длительность, стадийность, закономерный характер (повторяемость, устойчивость) воспроизведения одних и тех же частей процесса развития.

Понятие «жизненный цикл» часто используется для обозначения темпоральности в общем смысле; при таком использовании термины «жизненный цикл», «продолжительность жизни» и «жизнен-

ный путь» часто рассматриваются как идентичные. Чаще всего эта концепция применяется метафорически или эвристически, чтобы инициировать анализ явлений развития или созревания в различных социальных областях — от отдельных людей до организаций. Разнообразие значений и способов использования указывает на широкую привлекательность этой концепции в качестве основы для изучения развития.

Итак, термин «жизненный цикл» проделал интересную «эволюцию», переходя из одной предметной области в другую. Изначально заимствованный из биологии, в XX в. он стал активно использоваться в экономическом знании (ЖЦ товара (продукции), ЖЦ изделия, ЖЦ инновации и др.). Впоследствии из экономических исследований был перенесен в сферу функционирования искусственных систем (область машиностроения). В конце XX – начале XXI в. возникла концепция инженерии ЖЦ, которая предполагает широкое использование информационных и коммуникационных технологий в моделировании и интеграции его этапов.

Понятие «жизненный цикл» в инженерных дисциплинах, связанных с созданием сложных технических объектов, по-видимому, объясняется тем, что любой сложный инженерно-технический объект претерпевает большие изменения от момента возникновения замысла до прекращения функционирования, подобно циклу живого организма — от зарождения до смерти. Так, концепция ЖЦ стала объединяющей для естественно-научного, социального знания и комплекса технических наук. Вместе с тем перенос термина из одной научной сферы в другую путем метафоризации требует его «адаптации» в другом предметном поле. Именно поэтому многие авторы уделяют особое внимание трактовке термина «жизненный цикл» применительно к таким сложным техническим объектам, как здания. Тесная связь цикличности с показателями длительности как отдельных этапов, так и цикла в целом выявляет ее вовлеченность в процессы, которые в широком смысле слова можно понимать как жизнь системы.

Проектирование ЖЦ можно рассматривать как инженерную деятельность, которая включает: применение технологических и научных принципов при проектировании и изготовлении продукции с целью защиты окружающей среды и экономии ресурсов, стимулирования экономического прогресса, учета необходимости устойчивого развития и в то же время оптимизации производственного цикла и минимизации загрязнения окружающей среды и отходов.

Оценка жизненного цикла (LCA) возникла в начале 1970-х гг. Основой стали проблемы управления энергией и отходами. В 1970-х и 1980-х гг. проведено множество исследований с использованием различных методов и без общей теоретической основы. Последствия были довольно негативными, поскольку оценка ЖЦ изделий напрямую приме-

нялась на практике фирмами для обоснования рыночных требований. Полученные результаты сильно различались, хотя объекты исследования часто были одинаковыми, что не позволяло этому подходу стать общепринятым и прикладным аналитическим инструментом.

С середины 1980-х гг. появилась концепция ЖЦ продукта, фокусирующаяся не только на сроке службы продукта на рынке; вместо этого она рассматривает реальный и полный срок службы отдельного продукта — от разработки его концепции, проектирования, производства, продажи, использования потребителями и обслуживания до вывода из эксплуатации. Появилась модель, которая продолжает использовать во многом ту же терминологию, что и первоначально, она была представлена в рамках ЖЦ продукта, хотя и по-своему, и является прямым результатом постоянного интереса к биологически обоснованной идеологии «жизни» рассматриваемого продукта. Что изменилось, так это направленность модели и ее применение.

Помимо этой «первоначальной» концепции ЖЦ продукта в маркетинге, за последние 25 лет или около того появилось несколько ответвлений от оригинальных исследований, которые позволили концепции измениться по сравнению с ее первоначальным представлением в маркетинговой литературе и оказаться в центре внимания других исследователей. Первоначальная концепция ЖЦ продукта, хотя и ориентированная в первую очередь на маркетинговые потребности и концепции, часто распространяющиеся на регионы, которые находятся за пределами современной маркетинговой сферы, что объясняет их привлекательность для исследователей, не занимающихся маркетингом.

Здания как сложные технические объекты обладают своей спецификой. Во-первых, существует привязка объекта недвижимости к конкретному земельному участку (пятну застройки). Это делает его уникальным в том смысле, что качество здания определяется максимальным соответствием нетиповой проектной документации, а проектной документации, адаптированной к конкретной географической точке [16]. Во-вторых, здания максимально интегрированы в окружающую среду, являясь частью био- и техноценоза. Кроме того, ЖЦЗ характеризуется длительностью, как правило, большей, чем у других сложных технических объектов, и стадийностью. Согласно п. 5 ст. 2 Федерального закона № 384-ФЗ, жизненный цикл здания — это период, в «течение которого осуществляются инженерные изыскания, проектирование, строительство (в том числе консервация), эксплуатация (в том числе текущие ремонты), реконструкция, капитальный ремонт, снос здания или сооружения». Однако, как отмечают И.С. Грибкова и М.В. Екутеч, вопреки «классической» логике «процессы проектирования, строительства и эксплуатации очень часто способ-

ны идти почти одновременно» [17]. Общепринятая цепочка стадий ЖЦЗ (проектирование – строительство – эксплуатация – снос), используемая для упрощенного понимания работы со зданием, на самом деле не представляет собой цикл в его классической трактовке, а просто указывает на временной период существования здания. Такой подход достаточно распространен в строительстве зданий и сооружений в отличие от машиностроения, где понятие «жизненный цикл» рассматривается как синоним понятия «система».

Термин «жизненный цикл здания» в широком смысле охватывает процесс планирования и разработки дизайна и ЖЦЗ, начиная с концепции и заканчивая сроком службы здания и его размещением.

В то же время системный подход становится все более распространенным в сфере строительства, и в соответствии с ним ЖЦЗ понимается как сложная система взаимосвязанных процессов [18], «обычно обладающих параллельными, итеративными, рекурсивными и зависящими от времени характеристиками: в течение жизненного цикла здания взаимодействуют с внешней средой, через них проходят материальные, людские, финансовые, информационные и другие потоки, являющиеся подсистемами»². Жизненный цикл здания, таким образом, представлен как: 1) целое, объединяющее отдельные процессы; 2) открытая динамичная система, интегрированная в окружающее пространство; 3) взаимосвязь подсистем.

Определяя понятие «жизненный цикл здания», другие авторы [19, 20] указывают на то, что его можно рассматривать как «совокупность связанных причинно-следственными отношениями этапов, стадий, процессов, образующих законченный виток развития от возникновения проектного замысла до ликвидации». Но относительно повторяемости витков ЖЦЗ от проектного замысла до ликвидации возникает вопрос: что именно является основой циклической смены состояний здания? Пройдя все этапы своего функционирования, даже если в их цепочку включить редевелопмент, объект недвижимости перестает существовать, и новый виток уже не повторяется.

По мнению К.Ю. Лосева [16, 21], цикличность процессов в строительстве связана с наличием определенного носителя информации (как, например, ДНК в биоценозах), а именно — информационной модели (ИМ) здания. Жизненный цикл здания определяется им как «повторяющаяся серия состояний информационных моделей в процессе их жизненного пути (от создания модели до прекращения использования), где цикличность возникает через извлечение из моделей знаний и специфического опыта в среду общих данных с использованием последних

² ГОСТ Р 57193–2016. Системная и программная инженерия. Процессы жизненного цикла систем.

в новых информационных моделях аналогичных категорий зданий» [16]. Соответственно, применительно к отдельному зданию более корректно говорить о «жизненном пути», а термин «жизненный цикл» возможен только по отношению к категориям зданий (категоризация по классам капитальности, функциональному назначению, типу строительной системы, влиянию на окружающую среду после проведения анализа ЖЦЗ) [21]. В 70–80-е гг. XX в. похожая мысль была высказана автором концепции техноценозов Б.И. Кудриным, полагавшим, что в изделиях генетическая информация существует в виде конструкторско-технологической документации [11, 22].

Разграничение понятий «жизненный путь здания» и «жизненный цикл здания» фундаментально обосновано различием, которое существует между временным интервалом жизни (life path, life course) отдельного индивида, организации, сложной технической системы и ЖЦ (life cycle) как цепочки повторяющихся стадий развития на уровне ценоза (сообщества) в целом. В этой связи стоит обратить внимание на некоторые смысловые пересечения технических (например, с точки зрения достижения энергоэффективности зданий) и социологических аспектов изучения ЖЦЗ методом жилищных биографий. Так, например, сотрудники ETH Zurich (Швейцарская высшая техническая школа Цюриха) стремились «проследить во времени различные характеристики, которые вносят свой вклад в долговечность, качество, оценку и длительное функционирование дома», «раскрыть взаимодействия построенного пространства, социальной жизни и деятельности», составляли «портреты домов», в которых объединены архитектурный, исторический и этнографический аспекты анализа [23].

Системы ЖЦ присущи структуре оценки устойчивости зданий, и теория жизненного цикла нуждается в пересмотре или дополнительном определении, чтобы структурировать концептуальное мышление. Переосмысление концепции ЖЦЗ было важным, поскольку оно выявило значимые сферы принятия решений заинтересованными сторонами в области охраны окружающей среды, которые могут быть определены как нуждающиеся в эффективной поддержке на пути к достижению своих целей в области устойчивого развития. Прорыв в мышлении о стратегиях внедрения экологических норм в процесс проектирования зданий позволил выделить временные этапы проектирования как отдельные от физического ЖЦЗ. Предполагалось, что, если бы можно было отличить временную деятельность от физической, это обеспечило бы некоторую свободу в применении информации к различным временным приложениям. При таком подходе физический ЖЦЗ отличается от действий в течение временного ЖЦ в процессах проектирования и планирования управления активами, которые необходимы для его строительства.

В случае с большими и сложными зданиями существуют своего рода стандартизированные процедурные модели отдельных этапов всего процесса строительства, которые хранятся в головах профессионально подготовленных старших инженеров-проектировщиков и менеджеров и постоянно совершенствуются ими благодаря опыту работы над проектами. Эти разрозненные процедурные модели и информационные системы не могут быть прочитаны, изучены и усовершенствованы исследовательскими группами. Отдельные элементы объединяются и координируются уникальным образом для каждого строительного проекта посредством непрерывного процесса совещаний по координации. Отдельные этапы всего процесса меняются при смене сотрудников в проектной команде.

Жизненный цикл и комплексное проектирование косвенно способствуют социальной и экологической устойчивости, предоставляя методологии и вычислительные инструменты для создания высокоэффективных зданий. Оценка ЖЦ и принятие решений на основе жизненного цикла также позволяют решить проблему нехватки природных ресурсов, эффективно использовать строительные материалы и компоненты, а также учитывать вопросы, связанные с окончанием срока службы.

Подход, основанный на ЖЦ, также способствует экономическому развитию за счет разграничения реальной экономии средств от экономии на первоначальных затратах на строительство, которая в конечном итоге может привести к ухудшению экологических показателей здания и увеличению расходов во время эксплуатации здания. Конечным результатом является снижение общих затрат на ЖЦ, а также социальных и экологических издержек, связанных со строительством и эксплуатацией зданий.

Жизненный цикл и комплексное проектирование косвенно способствуют социальному развитию в целом, предоставляя заинтересованным сторонам методологии для строительства зданий высокого качества. Этот процесс укрепляет отношения между профессионалами, связанными со строительством, способствуя командной работе и позитивному взаимодействию, что приводит к лучшему чувству экологической и социальной ответственности. Этот процесс также обеспечивает платформу для взаимного обучения, обмена знаниями и инноваций/творчества в создании устойчивой застроенной среды.

Однако оценка ЖЦЗ только сейчас находит применение в инструментальных приложениях. Основные инструменты анализа были основаны на теории ЖЦ, исторически разработанной в секторах тяжелой промышленности, и учитывают интересы потребителей на более экологичном рынке. Впоследствии при разработке инструментов оценки ЖЦЗ были исключены представления о первичном секторе промышленности — шахтах, заводах, потребительских товарах и транспорте, а стали учи-

тываться технологии для управления активами, объектами, проектированием зданий, строительством и эксплуатационными процессами.

Анализ ЖЦ строительного объекта направлен на оценку опасностей, связанных со строительным объектом в отдельных областях, на этапах или фазах цикла или деятельности как путем выявления, так и количественной и качественной оценки используемых материалов и энергии, а также отходов, попадающих в окружающую среду, и оценки воздействия этих материалов, энергии и отходов для окружающей среды. Метод оценки ЖЦ направлен на изучение воздействия строительного объекта на окружающую среду в области экосистемы, здоровья человека, используемых ресурсов или безопасности в широком понимании. Оценка воздействия может быть выполнена как для продукта, так и для функции. Оценка ЖЦ рассматривается как «анализ от начала до конца». В оценку ЖЦ входят другие методы, например, оценка стоимости ЖЦ или его социальная оценка, поэтому она является отличным инструментом для анализа ЖЦЗ. Что касается функционального аспекта анализа, то альтернативные материалы-кандидаты сравниваются с учетом их внутренних характеристик, эксплуатационных характеристик и корреляции с наиболее важными конструктивными особенностями продукта. Решить, что включить в курс оценки ЖЦ может быть непросто из-за множества методик и очевидных различий во взглядах на предмет.

Существует два концептуально различных подхода к оценке ЖЦ: оценка, основанная на процессах, и основанная на экономическом анализе затрат и выпуска. Основное различие между этими двумя подходами заключается в том, что в то время, как первый фокусируется на отдельных этапах производства продукта или оказания услуги, второй использует макроэкономическую структуру, которая включает в себя все денежные потоки, генерируемые в экономике страны в результате производства продукта или предложения услуги.

Оценка ЖЦ на основе процессов проводится в 4 этапа: цель, определение, масштаб и границы процесса, которые необходимо проанализировать; расчет информации о входных и выходных данных с помощью инвентаризационного анализа; оценка воздействия; интерпретация результатов. При анализе на основе процессов сведения для этапа инвентаризации берутся из баз данных компаний, правительственных и неправительственных организаций. Информация для оценки воздействия собирается из литературы и общедоступных баз данных.

Экономическая оценка ЖЦ на основе соотношения затрат и выпуска использует экономические таблицы «затраты – выпуск» в сочетании со сведениями о потреблении ресурсов, выбросах в окружающую среду и отходах, чтобы отслеживать различные экономические операции, потребности

в ресурсах и выбросы в окружающую среду, необходимые для конкретного продукта или услуги. Указанный подход позволяет фиксировать все применяемые ресурсы и выбросы, вызванные прямо или косвенно (в цепочке поставок) производством продукта или предложением услуги.

Эти два метода оценки ЖЦ имеют свои преимущества и недостатки. Оценка на основе процессов позволяет проводить детальный анализ конкретного процесса в определенный момент времени и пространства. Однако она часто характеризуется субъективизмом в определении процессов, которые следует учитывать, главным образом в отношении границ и источников данных, которые стоит применять. Кроме того, местные условия и специфика времени, необходимого для проведения инвентаризации, могут отличаться от условий, выявленных при других оценках. Оценка на основе процесса требует большого объема данных, и отсутствие доступных сведений может ограничить точность исследования. С другой стороны, экономическая оценка ЖЦ на основе соотношения затрат и выпуска дает возможность избежать большинства субъективных проблем, которые влияют на процесс. Этот подход страдает от недостаточной репрезентативности используемого процесса из-за чрезмерной агрегации данных, поскольку он дает среднюю оценку для большинства производственных процессов.

Чтобы воспользоваться преимуществами обоих подходов, разработана гибридная оценка ЖЦ, которая применяет комплексность экономической оценки в отношении выбросов в цепочке поставок, чтобы преодолеть необходимость выполнения оценки всех процессов в цепочке поставок на основе процессов, а также использовать оценку на основе процессов для устранения недостатка точности экономической оценки, если она является слишком общей для целей подробного анализа ЖЦ.

Концепция ЖЦ становится операциональной посредством управления жизненным циклом. Этот подход к управлению реализует инструменты и методологии в корзине мышления ЖЦ. Данная система управления продукцией помогает предприятиям минимизировать экологическую и социальную нагрузку, связанную с их продукцией или продуктовым портфелем в течение всего ЖЦ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Концепция ЖЦ заключается в выходе за рамки традиционного внимания к производственной площадке и производственным процессам и включении в нее экологических, социальных и экономических воздействий продукта на протяжении всего его ЖЦ.

Таким образом, определяющим фактором любого ЖЦ является процесс развития, охватывающий неживую и живую природу, социальные процессы, область управления и инженерного проектирования, техни-

ческих систем. Цикличность обуславливает устойчивость системы на разных уровнях ее существования.

Концепция ЖЦ может рассматриваться как основа междисциплинарной интеграции научного знания, позволяет выявить базовые содержательные характеристики процессов развития, осмысливать природу сложных технических систем и их взаимосвязи с человеком.

Включение концепта «жизненный цикл здания» в понятийный аппарат комплекса строительных и архитектурных наук отражает практическую потребность в разработке и внедрении системного подхода к организации строительства объектов недвижимости. В рамках такого подхода здание не является статичным, изменяясь в условиях взаимодействия с другими элементами био- и техноценоза. Оно само представляет некое подобие живого организма, открытой системы, обменивающейся ресурсами с внешней средой. Следовательно, ЖЦЗ нельзя рассматривать по аналогии, например, с ЖЦ изделий машиностроительной отрасли (станки, самолеты, корабли).

Осмысление содержания понятия «жизненный цикл здания» связано с поиском концептуальных конструкций, позволяющих адекватно описать его особенности применительно к сфере проектирования и строительства. Отталкиваясь от общепринятого определения ЖЦЗ как протекающей во времени последовательности определенных стадий, исследователи не ограничиваются им. Большая временная продолжительность и специфика реализации стадий ЖЦ в совокупности с уникальностью каждого конкретного объекта капитального строительства и его привязки к определенному географическому участку требуют системного подхода к пониманию ЖЦЗ.

Дискуссионным является вопрос о необходимости разграничения понятий «жизненный путь здания» и «жизненный цикл здания». Жизненный путь здания фиксирует временную продолжительность его существования от стадии проектирования до стадии сноса, а ЖЦЗ связывается с серией состояний информационных моделей в процессе их жизненного пути. При этом цикличность возникает в результате периодического извлечения из ИМ знаний и опыта в среду общих данных.

Представляется, что два подхода к пониманию сущности ЖЦЗ не столько противоречат друг другу, сколько взаимодополняют. Один исходит из объективности ЖЦЗ как периодического воспроизведения системы процессов, структурированных на этапы, стадии в соответствии с логикой человеческой деятельности при решении определенных профессиональных задач в архитектурно-строительной сфере. Другой — из его информационной природы как серии повторяющихся ИМ, обеспечивающих обмен информацией всех вовлеченных в этот процесс профессионалов через среду общих данных.

Философская основа для разработки теоретической базы основана на рассмотрении интегрированных и циклических внутренних, наружных и встроенных экологических систем как экологических комплексов. Мышление о ЖЦ привело к более объективному стратегическому планированию, когда оно используется для поддержки принятия решений, поскольку позволяет достичь более всеобъемлющих результатов, когда экономическая и экологическая оценка рассматриваются параллельно, а не затемняются субъективной оценкой.

В целом эвристическая ценность концепции ЖЦЗ заключается в том, что она позволяет рассматривать осуществление процесса градостроительства с точки зрения формирования города как техноценоза и последующего оптимального управления им. Долгосрочная цель состоит в том, чтобы перестроить процессы разработки и эксплуатации зданий, а также разрозненную организационную структуру команды, работающей над проектом здания, чтобы наилучшим образом использовать новые и постоянно меняющиеся вспомогательные технологии в области автоматизации и телекоммуникаций.

Для достоверного анализа, основанного на ЖЦ, необходимо учитывать три фундаментальных аспекта: функциональные и/или технические характеристики, экономические показатели (стоимость) и экологические показатели. Эти аспекты должны присутствовать в процессах принятия решений, связанных: 1) с разработкой конкурентоспособного продукта и процессом производства планирования или разработки систем; 2) оценкой и выбором устойчивых технологий/материалов.

Разработка все более сложных продуктов (систем или оборудования) в более короткие сроки может быть наиболее эффективной благодаря целостному пониманию ЖЦ продуктов и процессов. Кроме того, изменение всей концепции промышленного производства и поведения общества потребления обусловлено глубокими демографическими и экономическими изменениями, а также растущим осознанием экологических проблем. Чтобы поддержать философию разработки ЖЦ на ранних этапах проектирования, разработаны рекомендации по внедрению, рассматривающие формирование ЖЦ как непрерывный процесс разработки спецификации, отвечающие набору требований и целей, охватывающих ЖЦ продукта. Кроме того, разработка ЖЦ должна быть интегрирована в существующие корпоративные структуры и основываться на уже сформированных командах разработчиков, а не на новых командах.

В рамках проекта здания исследуются как производственные единицы с использованием методов промышленной инженерии при определении идеальных организационных структур, процессов разработки и управленческих функций, необходимых для эффективного производства этих единиц. При

этом процесс ЖЦЗ рассматривается как комплексная макронаука.

Мышление ЖЦ предоставило концептуальную основу для продвижения повестки дня устойчивого развития в государственном и частном секторе для содействия принятию решений на всех уровнях относительно политики и разработки продукта, производства, закупок и окончательной утилизации.

Подходы ЖЦ могут использоваться во всех секторах и изучать ключевые категории и показатели влияния, оценивая экологические и социальные воздействия (например, экологическую и социальную оценку ЖЦ, углеродный след, водный след и т.д.), а также конечные эффекты этих воздействий на все три ключевых столпа устойчивости (например, оценку устойчивости ЖЦ).

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Bekker P.C.F.* A life-cycle approach in building // *Building and Environment*. 1982. Vol. 17. Issue 1. Pp. 55–61. DOI: 10.1016/0360-1323(82)90009-9

2. *Gustafsson S.-I., Karlsson B.G.* Why is life-cycle costing important when retrofitting buildings // *International Journal of Energy Research*. 1988. Vol. 12. Issue 2. Pp. 233–242. DOI: 10.1002/er.4440120206

3. *Таланов В.В.* О некоторых принципах, лежащих в основе BIM // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. 2016. № 4 (688). С. 108–114. EDN WEASCN.

4. *Лосев Ю.Г., Лосев К.Ю.* Особенности информационного моделирования объектно-ориентированных автоматизированных технологий в строительстве // *Строительство и архитектура*. 2023. Т. 11. № 1. С. 16. DOI: 10.29039/2308-0191-2022-11-1-16-16. EDN DHSMPC.

5. *Савин М.А., Белаиш В.В.* Применение BIM для управления жизненным циклом зданий и сооружений // *Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий*. 2023. Т. 2. № 2. С. 42–50. DOI: 10.23947/2949-1835-2023-2-2-42-50. EDN XJRJAJ.

6. *Yang A., Han M., Zeng Q., Sun Y.* Adopting Building Information Modeling (BIM) for the Development of Smart Buildings : a Review of Enabling Applications and Challenges // *Advances in Civil Engineering*. 2021. Vol. 2021. Issue 1. DOI: 10.1155/2021/8811476

7. *Razali M.F., Haron N.A., Hassim S., Alias A.H., Harun A.N., Abubakar A.S.* A Review: Application of Building Information Modelling (BIM) over Building Life Cycles // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019. Vol. 357. Issue 1. P. 012028. DOI: 10.1088/1755-1315/357/1/012028

8. *Василькова В.В.* Порядок и хаос в развитии социальных систем: Синергетика и теория социальной самоорганизации. СПб. : Лань, 1999. 478 с.

9. *Delisle R.G.* Cyclicity, Evolutionary Equilibrium, and Biological Progress // *Evolutionary Biology — New Perspectives on Its Development*. 2019. Pp. 197–228. DOI: 10.1007/978-3-030-17203-9_7

10. *Sizova O., Libin I., Perez-Peraza J.* Cycles in economical and biological processes and possible

influence of off-site factors on them // *European Journal of Natural History*. 2012. Issue 6. Pp. 37–40.

11. *Кудрин Б.И.* Исследования технических систем как сообществ изделий — техноценозов // *Системные исследования. Методологические проблемы*. Ежегодник. М. : Наука, 1981. С. 236–254.

12. *Кудрин Б.И.* Научно-технический прогресс и формирование техноценозов // *ЭКО: Экономика и организация промышленного производства*. 1980. № 8. С. 15–28.

13. *Кудрин Б.И.* Применение понятий биологии для описания и прогнозирования больших систем, формирующихся технологически // *Электрификация металлургических предприятий Сибири*. 1976. № 3. С. 171–204.

14. *Ловецкий Г.И., Александров М.А.* Ритм как физическое явление и философский принцип: развитие идей А.Л. Чижевского // *Исторические, философские, политические и юридические науки, культурология и искусствоведение. Вопросы теории и практики*. 2016. № 7 (69). С. 102–108.

15. *Щедровицкий Г.П.* Избранные труды. М. : Школа культурной политики, 1995. 800 с.

16. *Лосев К.Ю.* Информационные особенности жизненного цикла зданий и сооружений // *Вестник евразийской науки*. 2021. Т. 13. № 1. С. 8. EDN YGQTJX.

17. *Грибкова И.С., Екутеч М.В.* BIM на всех этапах жизненного цикла здания // *Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ»*. 2018. № 2. С. 222–234. EDN UPFOMI.

18. *Опарина Л.А., Гриднева Я.А., Барзыгин Е.А.* Оценка эффективности системы управления крупномасштабными строительными проектами в течение их жизненного цикла // *Строительство и архитектура*. 2024. Т. 12. № 1 (42). С. 6. DOI: 10.29039/2308-0191-2023-12-1-6-6. EDN JRIQAX.

19. *Касимов Р.Г., Каледин О.Д., Дергунова Д.В., Бикматова Э.А.* Энергоэффективность зданий как системный подход к организации его жизненного цикла // *Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры : мат. Всеросс. науч.-метод. конф.* 2017. С. 752–756. EDN YKCRPL.

20. Гусаков А.А. и др. Системотехника строительства : энциклопедический словарь / под ред. А.А. Гусакова. 2-е изд., доп. и перераб. М. : Издательство АСВ, 2004. 319 с.

21. Лосев К.Ю. Методологические аспекты жизненного цикла зданий // Вестник евразийской науки. 2019. Т. 11. № 6. С. 76. EDN ATBRHM.

22. Кудрин Б.И. Онтология технической реальности // Философские науки. 2017. № 6. С. 96–103. EDN ZHKEJT.

23. Кияненко К.В. «Биография жилища» как концепт постархитектуры // Жилищные стратегии. 2020. Т. 7. № 3. С. 245–268. DOI: 10.18334/zhs.7.3.111014. EDN FPRZCY.

Поступила в редакцию 2 октября 2024 г.

Принята в доработанном виде 18 октября 2024 г.

Одобрена для публикации 10 марта 2025 г.

ОБ АВТОРАХ: **Сергей Викторович Федосов** — доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологий и организации строительного производства, академик РААСН; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; SPIN-код: 1840-8194, РИНЦ ID: 105900, Scopus: 7005670404, ResearcherID: B-2409-2017, ORCID: 0000-0001-6117-7529; fedosovsv@mgsu.ru;

Борис Евгеньевич Нармания — аспирант кафедры технологий и организации строительного производства; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; SPIN-код: 7486-8316, РИНЦ ID: 932757, Scopus: 57215532142, ORCID: 0000-0002-4644-6353; borisfablee@gmail.com;

Елена Львовна Смирнова — кандидат философских наук, доцент, доцент кафедры философии и социально-гуманитарных дисциплин; **Ивановский государственный политехнический университет (ИВГПУ)**; 153000, г. Иваново, Шереметевский пр-т, д. 21; SPIN-код: 2915-2554, РИНЦ ID: 438623; bere8nice@rambler.ru;

Виктория Сергеевна Коновалова — доктор технических наук, доцент, доцент кафедры естественных наук и техносферной безопасности; **Ивановский государственный политехнический университет (ИВГПУ)**; 153000, г. Иваново, Шереметевский пр-т, д. 21; SPIN-код: 4880-6146, РИНЦ ID: 731115, Scopus: 57205440333, ResearcherID: S-8237-2018, ORCID: 0000-0003-4088-8318; kotprotiv@yandex.ru;

Наталья Сергеевна Касьяненко — кандидат технических наук, доцент кафедры естественных наук и техносферной безопасности; **Ивановский государственный политехнический университет (ИВГПУ)**; 153000, г. Иваново, Шереметевский пр-т, д. 21; SPIN-код: 3373-3546, РИНЦ ID: 558560, Scopus: 57316892000, ORCID: 0000-0003-4088-8318; kasiyanenko@gmail.com

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Bekker P.C.F. A life-cycle approach in building. *Building and Environment*. 1982; 17(1):55-61. DOI: 10.1016/0360-1323(82)90009-9

2. Gustafsson S.-I., Karlsson B.G. Why is life-cycle costing important when retrofitting buildings. *International Journal of Energy Research*. 1988; 12(2):233-242. DOI: 10.1002/er.4440120206

3. Talapov V.V. Some of the principles underlying the BIM. *News of Higher Educational Institutions. Construction*. 2016; 4(688):108-114. EDN WEASCN. (rus.).

4. Losev Yu., Losev K. The information modeling features of object-oriented automated technologies in construction. *Construction and Architecture*. 2023; 11(1):16. DOI: 10.29039/2308-0191-2022-11-1-16-16. EDN DHSMPC. (rus.).

5. Savin M.A., Belash V.V. Application of BIM to buildings and structures life cycle management. *Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning*. 2023; 2(2):42-50. DOI: 10.23947/2949-1835-2023-2-2-42-50. EDN XJRJAJ. (rus.).

6. Yang A., Han M., Zeng Q., Sun Y. Adopting Building Information Modeling (BIM) for the Development of Smart Buildings : a Review of Enabling Applications and Challenges. *Advances in Civil Engineering*. 2021; 2021(1). DOI: 10.1155/2021/8811476

7. Razali M.F., Haron N.A., Hassim S., Alias A.H., Harun A.N., Abubakar A.S. A Review: Application of Building Information Modelling (BIM) over Building Life Cycles. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019; 357(1):012028. DOI: 10.1088/1755-1315/357/1/012028

8. Vasilkova V.V. *Order and chaos in the development of social systems: Synergetics and theory of social self-organization*. St. Petersburg, Lan, 1999; 478. (rus.).
9. Delisle R.G. Cyclicity, Evolutionary Equilibrium, and Biological Progress. *Evolutionary Biology — New Perspectives on Its Development*. 2019; 197-228. DOI: 10.1007/978-3-030-17203-9_7
10. Sizova O., Libin I., Perez-Peraza J. Cycles in economical and biological processes and possible influence of off-site factors on them. *European Journal of Natural History*. 2012; 6:37-40.
11. Kudrin B.I. Studies of technical systems as communities of products — technocenoses. *System research. Methodological problems. Yearbook*. Moscow, Nauka, 1981; 236-254. (rus.).
12. Kudrin B.I. Scientific and technical progress and the formation of technocenoses. *ECO: Economics and organization of industrial production*. 1980; 8:15-28. (rus.).
13. Kudrin B.I. Application of the concepts of biology to describe and predict large systems that are being formed technologically. *Electrification of metallurgical enterprises in Siberia*. 1976; 3:171-204. (rus.).
14. Lovetskii G.I., Aleksandrov M.A. Rhythm as a physical phenomenon and philosophical principle: development of A.L. Chizhevsky's ideas. *Historical, philosophical, political and law sciences, culturology and study of art. Issues of theory and practice*. 2016; 7(69):102-108. (rus.).
15. Shchedrovitsky G.P. *Selected works*. Moscow, Shkola kulturnoy politiki, 1995; 800. (rus.).
16. Losev K.Yu. Buildings and structures life-cycle information specific. *The Eurasian Scientific Journal*. 2021; 13(1):8. EDN YGQTX. (rus.).
17. Gribkova I.S., Yekutech M.V. BIM on all stages of the life cycle of the building. *Electronic network polythematic journal "Scientific Works of KubSTU"*. 2018; 2:222-234. EDN UPFOMI. (rus.).
18. Oparina L., Gridneva Ya., Barzygin E. Assessment of the efficiency of the management system for large-scale construction projects during their life cycle. *Construction and Architecture*. 2024; 12(1):(42):6. DOI: 10.29039/2308-0191-2023-12-1-6-6. EDN JRIQAX. (rus.).
19. Kasimov R.G., Kaledin O.D., Dergunova D.V., Bikmatova E.A. Energy efficiency of buildings as a systematic approach to the organization of its life cycle. *The University complex as a regional center of education, science and culture : materials of the All-Russian Scientific and Methodological Conference*. 2017; 752-756. EDN YKCRPL. (rus.).
20. Gusakov A.A. et al. *System engineering of construction: an encyclopedic dictionary* / ed. by A.A. Gusakov. 2nd edition, supplemented and revised. Moscow, ASV Publishing House, 2004; 319. (rus.).
21. Losev K.Yu. Buildings life cycle methodology aspects. *The Eurasian Scientific Journal*. 2019; 11(6):76. EDN ATBRHM. (rus.).
22. Kudrin B. Ontology of technical reality. *Russian Journal of Philosophical Sciences*. 2017; 6:96-103. EDN ZHKEJT. (rus.).
23. Kiyanenko K.V. Housing biography as a post-architecture concept. *Russian Journal of Housing Research*. 2020; 7(3):245-268. DOI: 10.18334/zhs.7.3.111014. EDN FPRZCY. (rus.).

Received October 2, 2024.

Adopted in revised form on October 18, 2024.

Approved for publication on March 10, 2025.

B I O N O T E S : **Sergey V. Fedosov** — Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Technologies and Organization of Construction Production, Academician of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; SPIN-code: 1840-8194, ID RSCI: 105900, Scopus: 7005670404, ResearcherID: B-2409-2017, ORCID: 0000-0001-6117-7529; fedosovsv@mgsu.ru;

Boris E. Narmaniya — postgraduate student of the Department of Technologies and Organization of Construction Production; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; SPIN-code: 7486-8316, Scopus: 57215532142, ORCID: 0000-0002-4644-6353; borisfablee@gmail.com;

Elena L. Smirnova — Candidate of Philosophical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Philosophy and Social and Humanitarian Disciplines; **Ivanovo State Polytechnic University (IVSPU)**; 21 Sheremetevskiy ave., Ivanovo, 153000, Russian Federation; SPIN-code: 2915-2554, ID RSCI: 438623; bere8nice@rambler.ru;

Viktoriya S. Konovalova — Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Natural Sciences and Technosphere Safety; **Ivanovo State Polytechnic University (IVSPU)**; 21 Sheremetevskiy ave., Ivanovo, 153000, Russian Federation; SPIN-code: 4880-6146, ID RSCI: 731115, Scopus: 57205440333, ResearcherID: S-8237-2018, ORCID: 0000-0003-4088-8318; kotprotiv@yandex.ru;

Nataliya S. Kasiyanenko — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Natural Sciences and Technosphere Safety; **Ivanovo State Polytechnic University (IVSPU)**; 21 Sheremetevskiy ave., Ivanovo, 153000, Russian Federation; SPIN-code: 3373-3546, ID RSCI: 558560, Scopus: 57316892000, ORCID: 0000-0003-4088-8318; kasiyanenko@gmail.com.

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

The authors declare no conflicts of interest.