

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2026, Том 18, № 3 / 2026, Vol. 18, Iss. 3 <https://esj.today/issue-3-2026.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/48SAVN326.pdf>

DOI: 10.15862/48SAVN326 (<https://doi.org/10.15862/48SAVN326>)

2.1.14. Управление жизненным циклом объектов строительства (технические науки)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Носков, И. В. Концепция доверенной цифровой экосистемы инвестиционно-строительного проекта многоквартирного дома на основе цифрового двойника, процессно-ориентированного управления и договора жизненного цикла / И. В. Носков, Р. Р. Калимуллин // Вестник евразийской науки. — 2026. — Т. 18. — № 3. — URL: <https://esj.today/PDF/48SAVN326.pdf>. DOI: 10.15862/48SAVN326.

For citation:

Noskov I.V., Kalimullin R.R. Concept of a trusted digital ecosystem for a residential construction project based on a digital twin, process-oriented management and a life cycle contract. *The Eurasian Scientific Journal*. 2026;18(3): 48SAVN326. Available at: <https://esj.today/PDF/48SAVN326.pdf>. DOI: 10.15862/48SAVN326. (In Russ., abstract in Eng.).

УДК 69.003:004.94

Носков Игорь Владиславович

ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет имени И. И. Ползунова», Барнаул, Россия
Заведующий кафедры «Основания, фундаменты, инженерная геология и геодезия»
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: noskov.56@mail.ru

Калимуллин Роман Ралифович

ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет имени И. И. Ползунова», Барнаул, Россия
Аспирант кафедры «Основания, фундаменты, инженерная геология и геодезия»
E-mail: icr-project@yandex.com

**Концепция доверенной цифровой
экосистемы инвестиционно-строительного проекта
многоквартирного дома на основе цифрового двойника,
процессно-ориентированного управления и
договора жизненного цикла**

Аннотация. В условиях цифровой трансформации инвестиционно-строительной отрасли возрастает потребность в интеграции участников жизненного цикла (ЖЦ) объекта капитального строительства (ОКС), информационных систем и управленческих процессов в рамках единого информационного пространства (ЕИП), обеспечивающего бесшовное взаимодействие участников проекта и поддержку договорных отношений на протяжении всего ЖЦ объекта. Несмотря на активное развитие технологий информационного моделирования (ТИМ), сред общих данных (СОД) и цифровых двойников (ЦД), существующие подходы преимущественно ориентированы на управление объектом строительства и не обеспечивают комплексную интеграцию цифрового представления объекта, организационно-управленческих процессов и механизмов принятия решений. Актуальность исследования обусловлена необходимостью повышения эффективности, прозрачности и доверия к данным и процессам цифровой экосистемы инвестиционно-строительного проекта (ИСП) многоквартирного дома (МКД). Предыдущее исследование продемонстрировало трансформацию цифровой информационной модели (ЦИМ) по стадиям ЖЦ в цифровой двойник актива. Вместе с тем остается нерешенной проблема интеграции цифрового представления объекта с цифровым представлением

организационно-управленческих процессов, формирующих ИСП от обоснования инвестиций, проектно-изыскательских и строительно-монтажных работ до эксплуатации объекта. В статье представлена разработка концепции доверенной цифровой экосистемы ИСП МКД на основе интеграции цифрового двойника актива, цифрового двойника процессов, процессно-ориентированного управления и механизмов договора жизненного цикла в рамках ЕИП. Особенностью предлагаемого подхода является использование реестра прослеживаемости на основе технологии распределенного реестра (блокчейн), обеспечивающего неизменяемость и верифицируемость данных, событий и управленческих решений на протяжении ЖЦ ОКС. Практическая значимость результатов заключается в возможности применения предложенной концепции при создании цифровых платформ управления МКД на принципах договора жизненного цикла.

Ключевые слова: инвестиционно-строительный проект; многоквартирный дом; единое информационное пространство; цифровой двойник актива; цифровой двойник процессов; процессно-ориентированное управление; договор жизненного цикла; среда общих данных; интероперабельность; блокчейн

Введение

Современный этап развития инвестиционно-строительной отрасли характеризуется активным внедрением ТИМ, цифровых платформ управления строительством, СОД, а также развитием концепции ЦД ОКС. Государственная политика РФ в области цифровой трансформации строительства направлена на повышение эффективности инвестиционно-строительных процессов, сокращение сроков реализации проектов и обеспечение прозрачности взаимодействия участников ЖЦ ОКС. Так, на XI конференции «Цифровая индустрия промышленной России», проходившей 18 мая 2026 года, Председатель Правительства РФ М. В. Мишустин отметил, что российское программное обеспечение используется более чем на 10 млн. рабочих мест и применяется для управления финансами и бизнес-процессами на тысячах предприятий страны. К таким решениям относятся отраслевые версии ERP-систем, CAD и PLM-системы с поддержкой распределённой работы над единой моделью, а также программы для ТИМ, с применением которых возводится каждый второй МКД.¹

В последние годы ЦИМ объекта трансформируется из инструмента проектирования в основу формирования ЦД актива, сопровождающего объект на протяжении его ЖЦ. В предыдущем исследовании авторами была рассмотрена трансформация ЦИМ по стадиям ЖЦ ОКС в ЦД актива, обеспечивающей накопление и актуализацию данных об объекте на этапах проектирования, строительства, эксплуатации, капитального ремонта и утилизации (рис. 2) [1].

Актуальность исследования также обусловлена последовательным повышением уровня цифровой зрелости строительной отрасли РФ. Расширение практики применения ТИМ, СОД и цифровых платформ приводит к увеличению объема данных, циркулирующих между участниками ЖЦ ОКС, что повышает значимость методов информационного менеджмента в строительстве (ИМС) [2; 3], которые ориентированы на управление информацией на протяжении ЖЦ объекта и обеспечение её безопасности, позволяя снижать риски утраты и искажения значимых сведений ОКС. Рост цифровой зрелости отрасли повышает требования к достоверности, прослеживаемости, сохранности и юридической значимости цифровой информации, используемой при принятии управленческих решений. Одной из ключевых задач цифровой трансформации строительной отрасли становится обеспечение интероперабельности

¹ Официальный сайт Правительства Российской Федерации. URL: <http://government.ru/news/58761/> (дата обращения: 24.05.2026).

[4] систем информационного моделирования, позволяющей организовать сквозной обмен данными между участниками ЖЦ ОКС без потери их содержания и нарушения целостности цифровых моделей.

Особую значимость указанные требования приобретают в условиях реализации договора жизненного цикла (ДЖЦ) МКД, перспективы внедрения которого обсуждались 15 апреля 2026 года на заседании круглого стола в Государственной Думе РФ.² ДЖЦ предполагает долгосрочную ответственность участников ИСП за результаты ЖЦ объекта, что обуславливает необходимость формирования доверенной цифровой среды, обеспечивающей прозрачность процессов, контроль исполнения обязательств и защиту критически важных данных. Одним из перспективных решений является применение распределённого реестра (блокчейна), позволяющего обеспечить подтверждение истории изменений, верифицируемость событий и повышение доверия между участниками цифровой экосистемы [5].

Вместе с тем существующие подходы к внедрению ЦД преимущественно ориентированы на информационное представление объекта строительства и не обеспечивают достаточного уровня интеграции организационно-управленческих процессов, реализуемых участниками ИСП. В результате сведения об объекте, данные бизнес-процессов, управленческие решения и договорные отношения формируются в различных информационных системах, что приводит к информационным разрывам, дублированию данных, снижению прозрачности процессов и усложнению контроля исполнения обязательств.

Решением указанной проблемы является формирование доверенной цифровой экосистемы ИСП, объединяющей ЦД актива, ЦД процессов, BPM-, ERP-системы, СОД и реестр прослеживаемости. В такой экосистеме ЦД становится частью единого контура управления организационно-управленческими процессами на протяжении ЖЦ ОКС.

Интеграция перечисленных компонентов формирует доверенную цифровую среду, обеспечивающую прослеживаемость информации, прозрачность процессов и контроль исполнения договорных обязательств посредством регистрации значимых событий. Это создаёт основу реализации ДЖЦ, снижает транзакционные риски и обеспечивает участников ИСП достоверной информацией на всех стадиях ЖЦ ОКС.

Целью настоящего исследования является разработка концепции доверенной цифровой экосистемы ИСП МКД на основе интеграции ЦД актива, ЦД процессов, процессно-ориентированного управления и механизмов реализации ДЖЦ в рамках единого информационного пространства (ЕИП). Научная новизна исследования заключается в разработке архитектуры доверенной цифровой экосистемы ИСП, объединяющей ЦД актива и ЦД процессов в ЕИП с использованием BPM-систем, ERP-систем, СОД и реестра прослеживаемости. В отличие от существующих подходов разработанная концепция предусматривает не только информационное сопровождение объекта, но и сквозное управление организационно-управленческими процессами, регистрацию значимых событий и контроль исполнения обязательств на протяжении ЖЦ ОКС. Архитектура концепции представлена на рисунке 4 и рассматривается как основа формирования цифровых платформ нового поколения, обеспечивающих сквозное управление ЖЦ МКД.

1. Цель и методы исследования

Цель исследования состоит в разработке концепции доверенной цифровой экосистемы ИСП МКД, интегрирующей ЦД актива, ЦД процессов, процессно-ориентированное управление и механизмы ДЖЦ в рамках ЕИП.

² Официальный сайт Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации. URL: <https://www.minstroyrf.gov.ru/press/perspektivy-vnedreniya-dogovora-zhiznennogo-tsikla-mnogokvartirnykh-domov-obsudili-v-gosudarstvennoy/> (дата обращения: 12.06.2026).

Для достижения поставленной цели выполнен анализ современных подходов к цифровой трансформации инвестиционно-строительной отрасли, включая ТИМ, СОД, ЦД ОКС, процессно-ориентированное управление, технологии распределенных реестров и концепции ДЖЦ. Особое внимание уделено вопросам интеграции информационных систем, интероперабельности цифровых данных и механизмам формирования доверия между участниками ИСП.

При разработке концепции использованы принципы интероперабельности систем информационного моделирования, организации СОД, моделирования бизнес-процессов в нотации BPMN и интеллектуального анализа процессов (Process Mining). В качестве механизма прослеживаемости событий и управленческих решений рассмотрено применение распределённого реестра, обеспечивающего подтверждение истории изменений и повышение доверия между участниками ИСП.

Результатом исследования является концептуальная архитектура доверенной цифровой экосистемы ИСП МКД, обеспечивающая интеграцию ЦД актива, ЦД процессов, информационных систем и механизмов ДЖЦ в едином контуре управления

2. Результаты и обсуждение

В результате проведенного исследования разработана концепция доверенной цифровой экосистемы ИСП МКД, основанная на интеграции ЦД актива, ЦД процессов, процессно-ориентированного управления и механизмов ДЖЦ в рамках ЕИП. Разработанная концепция обеспечивает сквозное информационное взаимодействие участников ЖЦ ОКС, интеграцию разнородных информационных систем, повышение прозрачности организационно-управленческих процессов и поддержку принятия управленческих решений на основе достоверных данных. Архитектура разработанной концепции представлена на рисунке 4. В отличие от существующих подходов, ориентированных преимущественно на информационное сопровождение объекта строительства, предложенная концепция объединяет цифровые представления объекта и организационно-управленческих процессов в едином контуре управления. Это обеспечивает непрерывную прослеживаемость данных и событий, контроль исполнения договорных обязательств, повышение доверия между участниками инвестиционно-строительного проекта и формирование единой доверенной цифровой среды на протяжении всего ЖЦ МКД.

2.1 Предпосылки формирования доверенной цифровой экосистемы ИСП МКД

Вслед за другими секторами российской экономики инвестиционно-строительная отрасль переживает период масштабной цифровой и организационной трансформации. Современное строительство все чаще рассматривается как совокупность взаимосвязанных инвестиционно-строительный процесс³, эффективность которых определяется качеством управления ЖЦ ОКС.

Дополнительную актуальность вопросам управления ЖЦ придают изменения условий реализации ИСП, произошедшие в последние годы. Последствия пандемии COVID-19, санкционные ограничения, перестройка логистических цепочек и рост неопределенности на рынке строительных ресурсов привели к увеличению предпринимательских рисков, нарушению устойчивости цепочек поставок и усложнению взаимодействия участников инвестиционно-

³ ГОСТ Р 71177-2023. Управление крупными строительными проектами с использованием интегрированных контрактов: национальный стандарт Российской Федерации: утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 27 декабря 2023 г. № 1683-ст: введен впервые: дата введения 2024-01-01. — Москва: Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии: Стандартинформ, 2024. — III, 10 с.

строительной деятельности. В данных условиях особое значение приобретают механизмы обеспечения прозрачности процессов, распределения ответственности и контроля исполнения обязательств на протяжении всего ЖЦ объекта.

Существующие договорные конструкции, используемые при выполнении проектно-исследовательских, строительного-монтажных и эксплуатационных работ, в большинстве случаев ориентированы на отдельные стадии реализации проекта и не обеспечивают необходимого уровня интеграции данных, процессов и ответственности между участниками инвестиционно-строительной деятельности [6]. В результате возникают информационные разрывы, сложности разграничения ответственности, проблемы приемки работ, контроля качества и подтверждения исполнения обязательств.

Особый интерес представляет концепция ДЖЦ МКД, предполагающая долгосрочную ответственность участников проекта за результаты создания и эксплуатации объекта. Практическое применение подобного подхода требует формирования ЕИП и СОД, обеспечивающих непрерывность информационного взаимодействия между всеми участниками ЖЦ.

В предлагаемой концепции ДЖЦ рассматривается не только как правовой механизм регулирования отношений между участниками проекта, но и как элемент цифрового управления, интегрированный с данными, бизнес-процессами и механизмами поддержки принятия решений. Его реализация основана на процессно-ориентированном управлении, обеспечивающем формализацию, мониторинг и непрерывное совершенствование организационно-управленческих процессов с использованием цифрового двойника процессов, моделей BPMN, DMN, технологий Process Mining и реестра прослеживаемости.

2.2 Общая архитектура доверенной цифровой экосистемы ИСП МКД

Разработанная архитектура доверенной цифровой экосистемы ИСП МКД представлена на рисунке 4. Концепция основана на принципах системной интеграции участников ЖЦ ОКС, интероперабельности информационных систем, интеграции цифрового двойника актива и цифрового двойника процессов, а также процессно-ориентированного управления в рамках ЕИП.

Предлагаемая архитектура представляет собой многоуровневую структуру, обеспечивающую сквозное взаимодействие участников ИСП, информационных систем, цифровых сервисов, механизмов поддержки принятия управленческих решений и процессов управления на всех стадиях ЖЦ МКД. В отличие от традиционных подходов, ориентированных преимущественно на управление информационной моделью объекта, разработанная концепция предусматривает интеграцию цифровых представлений объекта и организационно-управленческих процессов.

Функционально архитектура включает девять взаимосвязанных уровней, представленных на рисунке 4: слой участников ЖЦ, слой информационных систем, слой СОД, слой цифровых сервисов, слой интегрированного ЦД, слой моделей принятия решений, слой исполнения и мониторинга бизнес-процессов, слой обратной связи и адаптации, а также слой ДЖЦ МКД.

Взаимодействие указанных уровней обеспечивает непрерывность информационных потоков, поддержку управленческих решений и контроль обязательств участников проекта.

Ключевым элементом разработанной концепции является интегрированный цифровой двойник ИСП, объединяющий ЦД актива и ЦД процессов. Такое объединение позволяет осуществлять управление не только состоянием ОКС, но и эффективностью организационно-управленческих процессов, обеспечивая их взаимосвязанное цифровое сопровождение в рамках единого контура управления.

Дополнительным элементом обеспечения доверия в цифровой экосистеме выступает реестр прослеживаемости на основе технологии распределенного реестра (блокчейн), обеспечивающий криптографически подтверждаемую регистрацию событий, действий участников и результатов процессов, формируя единую доказательную среду для контроля исполнения обязательств по ДЖЦ МКД. В совокупности это формирует замкнутый контур управления ИСП МКД, обеспечивающий совершенствование процессов на основе данных, поступающих из цифровой среды.

Функционирование цифровой экосистемы основано на формировании данных участниками ЖЦ ИСП, их обработке в СОД, использовании интегрированным ЦД и регистрации значимых событий в реестре прослеживаемости.

Созданные данные поступают в СОД в виде информационных контейнеров, содержащих модели, документы, результаты согласований, исполнительную документацию, эксплуатационные сведения и связанные с ними метаданные (рис. 4). СОД обеспечивает централизованное хранение информации, управление версиями, контроль изменений и предоставление доступа участникам проекта в соответствии с их полномочиями.

Каждое значимое действие участников, связанное с созданием, изменением, согласованием или утверждением информации, регистрируется в реестре прослеживаемости. В результате формируется подтвержденная цифровая история событий, позволяющая установить источник данных, последовательность изменений и факт исполнения конкретных обязательств [7]. Такой механизм особенно важен в условиях реализации ДЖЦ, где подтверждение выполнения работ и соблюдения обязательств имеет не только организационное, но и юридическое значение.

Данные СОД используются интегрированным ЦД ИСП МКД, объединяющим ЦД актива и ЦД процессов. ЦД актива обеспечивает актуальное цифровое представление ОКС, тогда как ЦД процессов отражает фактическое исполнение организационно-управленческих процессов, реализуемых участниками проекта [8].

Интеграция ЦД, СОД и реестра прослеживаемости обеспечивает контроль исполнения обязательств, мониторинг достижения целевых показателей и подтверждение результатов работ на протяжении ЖЦ объекта. В результате ДЖЦ становится элементом цифрового управления в рамках ЕИП.

Таким образом, концепция доверенной цифровой экосистемы обеспечивает не только интеграцию участников и информационных систем⁴, но и формирует единый цифровой контур управления ИСП, в котором данные, процессы, решения и договорные обязательства образуют единую взаимосвязанную систему цифрового управления ИСП. В отличие от традиционных цифровых платформ, предложенная архитектура реализует замкнутый контур цифрового управления, в котором данные, организационно-управленческие процессы, цифровые сервисы и договорные отношения [9] функционируют как взаимосвязанные элементы единой системы с непрерывной обратной связью.

2.3 Единое информационное пространство и среда общих данных как основа интеграции

Основой предлагаемой концепции доверенной цифровой экосистемы является ЕИП, обеспечивающее интеграцию участников ЖЦ ОКС, информационных систем, цифровых сервисов и механизмов управления в рамках единой цифровой среды. В отличие от

⁴ ГОСТ Р 10.00.00.05-2025. Единая система информационного моделирования. Жизненный цикл объекта информационного моделирования. Жизненный цикл информационной модели. Общие положения: утв. Приказом Росстандарта от 10.12.2025 N 1684-ст. М., 2026.

традиционного подхода, при котором данные распределены между различными программными комплексами и организациями, ЕИП формирует общую среду взаимодействия, обеспечивающую непрерывность информационных потоков на всех стадиях ЖЦ МКД.

На верхнем уровне архитектуры располагается слой участников ЖЦ ИСП, включающий инвестора, заказчика, технического заказчика, проектировщика, подрядчика, управляющую организацию, а также органы государственной власти и экспертизы. Каждый участник формирует и использует данные в рамках общего информационного контура проекта.

Следующий уровень представлен слоем информационных систем, включающим СОД, ERP-системы, системы информационного моделирования (ТИМ/ВМ), геоинформационные системы (ГИС), платформы интернета вещей (IoT) и иные специализированные цифровые решения. Особенностью предлагаемой архитектуры является обеспечение интероперабельности указанных систем, позволяющей организовать обмен данными без потери их структуры, содержания и контекста использования [10].

Центральным элементом ЕИП выступает централизованная СОД, реализующая функции хранения, актуализации, согласования и распространения информации между участниками проекта. В рамках СОД осуществляется управление информационными контейнерами, содержащими модели, документы, проектную, исполнительную и эксплуатационную информацию, а также связанными с ними метаданными. Использование метаданных обеспечивает идентификацию источников информации, управление версиями, контроль изменений и прослеживаемость ЖЦ цифровых информационных ресурсов. В предлагаемой архитектуре СОД выполняет функцию информационного ядра, обеспечивающего единый источник актуальных данных для всех участников ЖЦ МКД.⁵

ERP-системы представляют собой корпоративные системы управления ресурсами организации, обеспечивающие учет финансовых, материальных, трудовых и производственных ресурсов [11]. В контексте ИСП МКД ERP-системы используются для планирования затрат, управления закупками, договорными обязательствами, графиками выполнения работ, оплатой, снабжением и ресурсным обеспечением строительного производства.

Интероперабельность систем обеспечивается за счет единых регламентов информационного взаимодействия, стандартизированных форматов обмена данными, общих классификаторов и программных интерфейсов интеграции.

Базовой единицей хранения и обмена информацией в СОД является информационный контейнер, представляющий собой логически заверченный набор данных, создаваемый или загружаемый участником проекта для совместного использования, согласования и последующего хранения на протяжении ЖЦ ОКС. Информационный контейнер может содержать цифровые модели, проектную и исполнительную документацию, эксплуатационные данные, табличная информация и иные цифровые ресурсы, связанные с реализацией ИСП.

Каждому информационному контейнеру присваивается уникальный идентификатор и набор метаданных, обеспечивающих управление его ЖЦ. Метаданные включают идентификационные, контекстные, авторские, версионные и технические атрибуты, а также сведения о правах доступа и взаимосвязях с другими информационными контейнерами. Структурированные метаданные обеспечивают автоматизированный поиск информации, управления версиями, контроля изменений и поддержки процессов принятия решений в ЕИП. Структура информационного контейнера и его связь с журналом событий и реестром прослеживаемости представлены на рисунке 1.

⁵ ГОСТ Р 58439.2-2019. Организация информации об объектах капитального строительства. Информационный менеджмент в строительстве с использованием технологии информационного моделирования. Часть 2. Стадия создания активов. — Введ. 2019-09-01. — Москва: Стандартинформ, 2019. — III, 17 с.

В процессе ЖЦ ИСП информационные контейнеры изменяются, согласовываются, утверждаются и передаются между участниками проекта. Каждое действие формирует цифровое событие, содержащее сведения о типе операции, участнике процесса, времени ее выполнения и версии соответствующего информационного контейнера. Совокупность сформированных событий образует журнал событий цифровой экосистемы, используемый для анализа фактического исполнения процессов и контроля выполнения обязательств.

Значимые события, для которых требуется подтверждение происхождения, последовательности и неизменности, формируют записи реестра прослеживаемости. Принципы его формирования и функционирования рассмотрены в подразделе 2.4.

Таким образом, ЕИП и СОД формируют информационную основу доверенной цифровой экосистемы, обеспечивая интеграцию разнородных информационных систем, совместную работу участников ИСП и формирование структурированных данных для функционирования ЦД и процессно-ориентированных механизмов управления

2.4 Реестр прослеживаемости как механизм формирования доверенной цифровой среды

Одним из ключевых механизмов формирования доверенной цифровой среды является реестр прослеживаемости, реализуемый на основе технологии распределенного реестра. Его назначение состоит в подтверждаемой регистрации значимых событий, формируемых в ЕИП в процессе создания, изменения, согласования, утверждения и передачи цифровой информации между участниками ИСП.

В отличие от СОД, предназначенной для хранения информационных контейнеров, реестр прослеживаемости содержит сведения о событиях, метаданные и криптографические контрольные значения (хэши). Такое разграничение позволяет избежать дублирования документов и цифровых моделей, сохраняя при этом возможность проверки их происхождения, версии и целостности.

Запись реестра включает идентификатор информационного контейнера, тип события, сведения об участнике, временную метку, номер версии и хэш соответствующих данных. Каждый последующий блок содержит криптографическое контрольное значение предыдущего блока, в результате чего формируется связанная последовательность записей (рис. 1). При этом содержимое информационных контейнеров в реестр не записывается, что позволяет исключить дублирование данных и сохранить СОД в качестве единственного источника хранения проектной информации. Изменение ранее зарегистрированных сведений приводит к нарушению криптографической связи и может быть выявлено участниками цифровой экосистемы.

В рамках ИСП МКД к значимым событиям относятся создание и изменение информационных контейнеров, согласование проектных решений, утверждение управленческих решений, завершение этапов бизнес-процессов, изменение параметров ЦД, фиксация результатов строительного контроля, приемка работ и подтверждение исполнения договорных обязательств.

Реестр прослеживаемости функционально связан с журналом событий цифровой экосистемы, однако не тождествен ему. Журнал событий содержит данные, необходимые для мониторинга и интеллектуального анализа фактического исполнения процессов, тогда как в реестр передаются события, требующие подтверждения неизменности, последовательности и авторства. Тем самым журнал событий выполняет преимущественно аналитическую функцию, а реестр прослеживаемости — контрольную и доказательную.

Особое значение данный механизм приобретает при реализации ДЖЦ МКД, предполагающего долгосрочную ответственность участников за результаты проектирования, строительства, эксплуатации и обслуживания объекта.

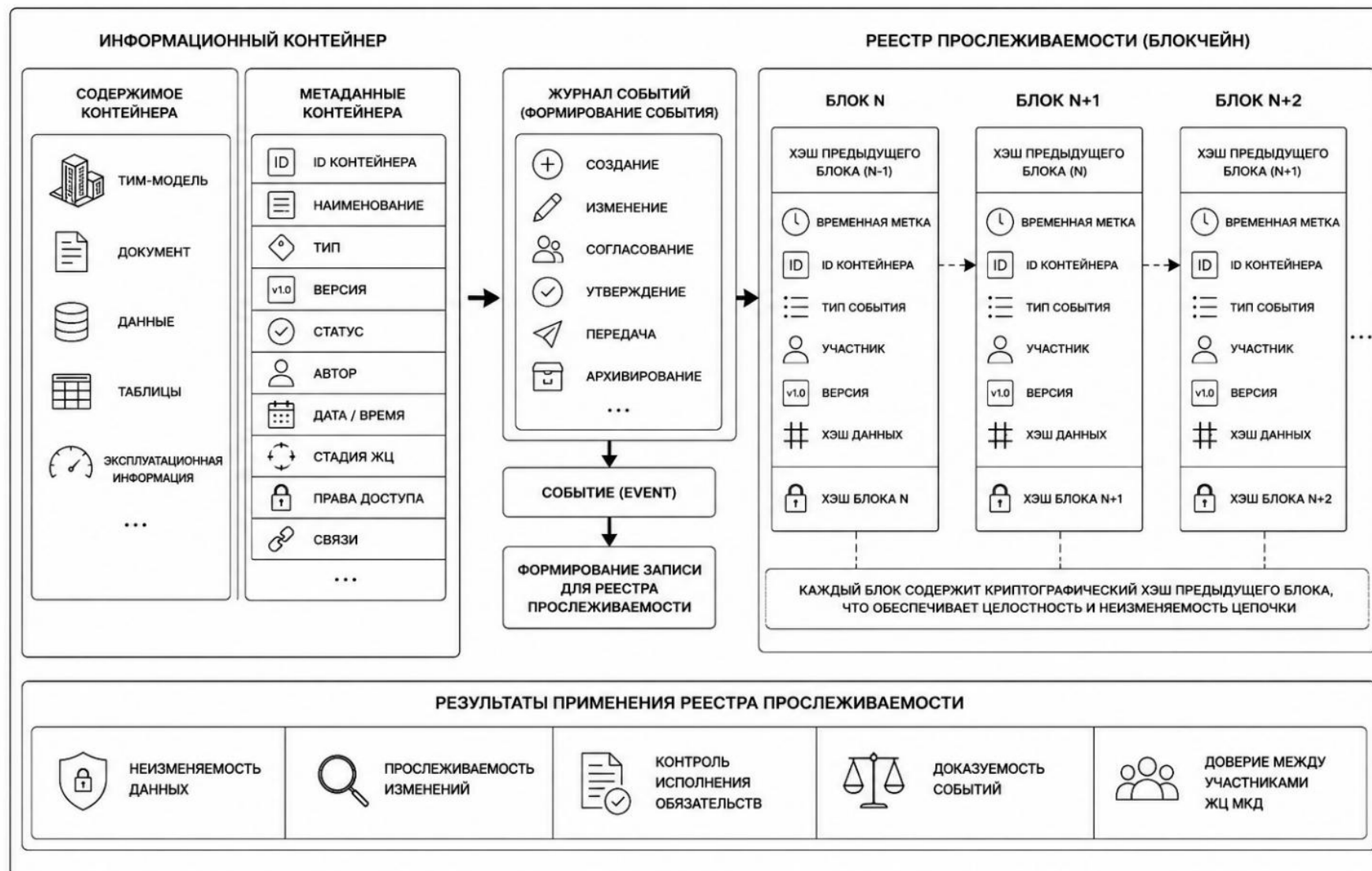


Рисунок 1. Формирование реестра прослеживаемости на основе информационных контейнеров среды общих данных в доверенной цифровой экосистеме ИСП МКД (составлено авторами на основе [2; 12])

Подтвержденная история событий позволяет контролировать исполнение обязательств, проводить аудит процессов, устанавливать ответственность участников и использовать цифровые записи при рассмотрении спорных ситуаций.

Таким образом, интеграция СОД, журнала событий и реестра прослеживаемости обеспечивает разделение функций хранения, анализа и подтверждения цифровой информации, формируя доверенную цифровую среду для реализации механизмов цифрового управления ИСП МКД в рамках ЕИП.

2.5 Интегрированный цифровой двойник ИСП МКД

Центральным элементом разработанной концепции доверенной цифровой экосистемы является интегрированный ЦД ИСП МКД. В отличие от традиционных подходов, в которых ЦД рассматривается преимущественно как цифровое представление ОКС, предлагаемый подход предусматривает объединение цифрового представления объекта и цифрового представления организационно-управленческих процессов в рамках единой информационно-управляющей среды.

Концепция интегрированного ЦД основана на совместном функционировании двух взаимосвязанных компонентов: ЦД актива и ЦД процессов [13]. Первый представляет физический ОКС, его характеристик, состояния и эксплуатационных параметров. Второй представляет процессы, реализуемые участниками ИСП на протяжении ЖЦ МКД.

Такое объединение позволяет перейти от управления исключительно объектом строительства к управлению всей системой создания, эксплуатации и развития объекта. В результате ЦД становится не только инструментом хранения и актуализации данных, но и средством мониторинга, анализа, прогнозирования и совершенствования организационно-управленческих процессов.

Функционирование интегрированного ЦД осуществляется в ЕИП и опирается на данные СОД, цифровых сервисов, реестра прослеживаемости и механизмов процессно-ориентированного управления. Это обеспечивает формирование единого информационного контура, объединяющего данные об объекте, данные о процессах и сведения об управленческих решениях.

Структура интегрированного ЦД ИСП МКД представлена на рисунке 4 и включает ЦД актива и ЦД процессов, взаимодействующие между собой посредством двустороннего обмена данными и событиями.

2.5.1 Цифровой двойник актива

ЦД актива является первым компонентом интегрированного ЦД ИСП МКД и представляет собой цифровое представление ОКС на протяжении всего ЖЦ.

В предыдущем исследовании авторами была предложена модель трансформации ЦИМ по стадиям ЖЦ ОКС в ЦД актива, обеспечивающий накопление и актуализацию данных на этапах проектирования, строительства, эксплуатации, капитального ремонта и утилизации [1].

Как показано на рисунке 2, формирование ЦД актива начинается на стадии обоснования инвестиций и последовательно развивается через этапы проектно-изыскательских работ, строительства, ввода объекта в эксплуатацию и дальнейшего эксплуатационного сопровождения, капитального ремонта и утилизации. На протяжении ЖЦ ЦИМ последовательно наполняется результатами инженерных изысканий, проектной, исполнительной и эксплуатационной документацией.

В результате происходит последовательная трансформация проектной информационной модели (PIM — Project Information Model) в модель актива (AIM — Asset Information Model), обеспечивающую цифровое сопровождение МКД на протяжении всего периода эксплуатации. На завершающей стадии ЖЦ формируется ЦД актива МКД, интегрирующий данные ТИМ-модели, геоинформационных систем, эксплуатационных платформ и систем мониторинга объекта.

Таким образом, ЦД актива обеспечивает цифровое представление физического объекта и отвечает на вопрос «что происходит с объектом?». ⁶ Он содержит актуальные сведения о характеристиках, техническом состоянии, пространственном положении, инженерных системах и эксплуатационных параметрах объекта капитального строительства.

Результаты предыдущего исследования показали, что для эффективного управления ИСП необходима интеграция ЦД актива и ЦД процессов. Именно поэтому следующим этапом развития предложенной концепции становится интеграция ЦД актива с ЦД процессов в рамках единого интегрированного ЦД ИСП МКД, архитектура которого представлена на рисунке 3.

2.5.2 Цифровой двойник процессов

Вторым компонентом интегрированного ЦД ИСП МКД является ЦД процессов, представляющий собой цифровое представление организационно-управленческой деятельности участников ИСП на протяжении ЖЦ МКД.

Если ЦД актива отвечает на вопрос «что происходит с объектом?», то ЦД процессов отвечает на вопрос «как выполняются процессы, обеспечивающие создание, эксплуатацию и развитие объекта?». Объектом моделирования в данном случае выступает совокупность бизнес-процессов, управленческих процедур, информационных потоков и принимаемых решений, обеспечивающих реализацию ИСП.

Архитектура ЦД процессов представлена на рисунке 3 и включает последовательную цепочку взаимосвязанных компонентов: модель бизнес-процессов (BPMN 2.0), исполнение процессов, журнал событий (Event Log), систему интеллектуального анализа процессов (Process Mining), показатели эффективности процессов (KPI), модель текущего состояния процессов, модель принятия решений (DMN) и механизмы корректирующих воздействий.

Первым элементом является модель бизнес-процессов, разрабатываемая с использованием нотации BPMN 2.0. Применение BPMN позволяет формализовать структуру процессов ЖЦ МКД, определить состав участников, последовательность операций, точки принятия решений, используемые ресурсы, входные и выходные данные, а также регламенты исполнения работ [14].

Исполнение процессов сопровождается регистрацией событий, формирующих журнал событий (Event Log). Источниками данных выступают информационные системы ЕИП, информационные контейнеры СОД и реестр прослеживаемости. Полученные события используются для интеллектуального анализа процессов и расчета показателей эффективности.

Журнал событий поступает в модуль интеллектуального анализа процессов (Process Mining), который автоматически выявляет фактические маршруты процессов, отклонения, узкие места, причины задержек и неэффективных возвратов. В отличие от традиционных методов контроля, основанных на ручной отчетности, Process Mining использует объективные данные фактического исполнения процессов.

⁶ Издание Сибирского отделения РАН. Цифровой двойник головастика. URL: <https://www.sbras.info/articles/nauka-dlya-obschestva/cifrovoy-dvoynik-golovastika-esche-odin-shag-na-puti-k/> (дата обращения: 19.06.2026).

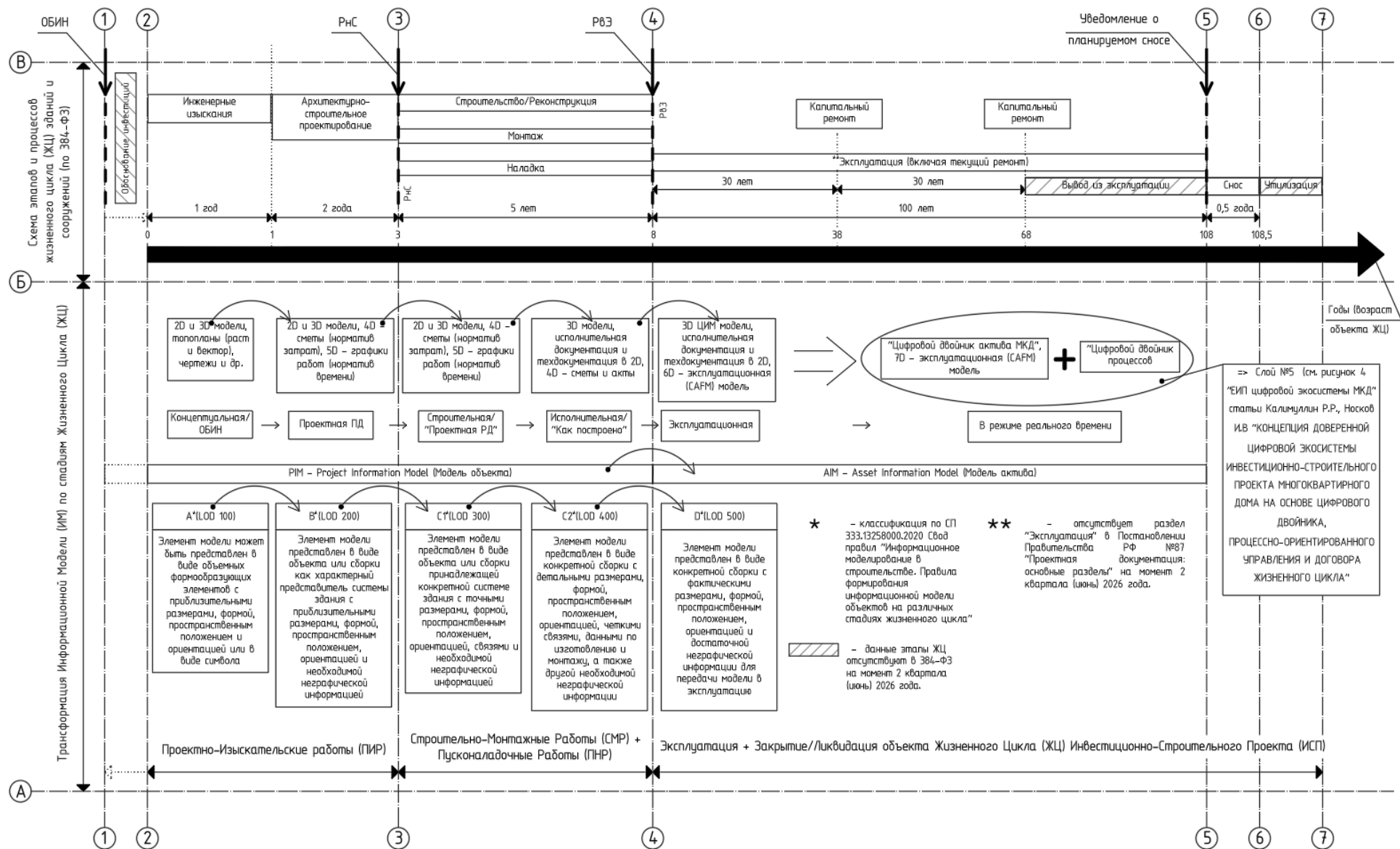


Рисунок 2. Процесс создания подосновы статического цифрового двойника с переходом в активную часть [1]



Рисунок 3. Архитектура цифрового двойника процессов ИСП МКД (составлено авторами)

На основании результатов анализа формируются показатели эффективности процессов (KPI), характеризующие соблюдение сроков, качество исполнения, использование ресурсов, уровень отклонений, результативность участников и выполнение обязательств по ДЖЦ.

Совокупность KPI формирует модель текущего состояния процессов, отражающую уровень их эффективности и степень достижения целевых показателей. Данная модель используется для визуализации, мониторинга и прогноза развития процессов.

Далее модель принятия решений (DMN) на основе заданных правил и критериев выполняет оценку ситуации и формирует управленческие решения, направленные на устранение отклонений, оптимизацию процессов и обеспечение выполнения договорных обязательств.

Принятые решения реализуются посредством механизмов корректирующих воздействий, включающих изменение регламентов, перераспределение ресурсов, корректировку сроков, изменение состава работ и иные управленческие мероприятия. Результаты таких воздействий вновь фиксируются в журнале событий, обеспечивая замкнутый контур управления процессами.

Таким образом, ЦД процессов обеспечивает непрерывное наблюдение, анализ и управление организационно-управленческой деятельностью участников ИСП на основе данных, формируемых в ЕИП и подтверждаемых реестром прослеживаемости. Интеграция ЦД процессов с ЦД актива позволяет сформировать единое цифровое представление объекта и процессов, обеспечивая переход к управлению на основе данных и выполнению условий ДЖЦ МКД.

2.6 Процессно-ориентированное управление и договор жизненного цикла

Одним из ключевых отличий предлагаемой концепции от существующих подходов к цифровизации ИСП является использование процессно-ориентированного управления в качестве механизма реализации ДЖЦ МКД.

Традиционные подходы к управлению ИСП преимущественно ориентированы на контроль отдельных этапов ЖЦ объекта, включая проектирование, строительство и эксплуатацию.

При этом управление зачастую осуществляется в рамках разрозненных информационных систем и локальных организационных регламентов, что приводит к возникновению информационных разрывов между участниками проекта и затрудняет контроль исполнения обязательств.

В предлагаемой концепции управление рассматривается как непрерывный процесс⁷, реализуемый на протяжении всего ЖЦ МКД и основанный на данных, поступающих из ЕИП, ЦД актива и ЦД процессов. Такой подход обеспечивает формирование единого контура управления, в котором данные об объекте, процессы и управленческие решения рассматриваются как взаимосвязанные элементы цифровой экосистемы.⁸

Основой реализации процессно-ориентированного управления является использование моделей бизнес-процессов BPMN 2.0 и моделей принятия решений DMN.

BPMN обеспечивает формализацию процессов ЖЦ МКД, включая процессы проектирования, строительства, приемки работ, эксплуатации, технического обслуживания и исполнения обязательств по ДЖЦ. Так, в работе по оптимизации функций технического заказчика при вводе объектов в эксплуатацию средствами моделирования бизнес процессов в рамках второго выпуска (21 Том) Вестника МГСУ авторам удалось разработать одну из моделей бизнес-процессов взаимодействия участников для своевременного ввода объекта в эксплуатацию с использованием BPMN-нотации соответственно. Данная модель принятия управленческих решений с идентификацией ролей участников, точек принятия решения и обратных связей для цикличной корректировки показателей способна интегрировать как процессные модели с параметрической нейросетевой моделью, так и ТИМ-данные для автоматизации [15].

В свою очередь, DMN (рис. 4) обеспечивает формализацию правил принятия решений на основе нормативных требований, корпоративных регламентов, экспертных знаний и показателей эффективности процессов. Если BPMN отвечает на вопрос «как выполняется процесс», то DMN определяет «по каким правилам принимаются управленческие решения» в ходе его выполнения.

В доверенной цифровой экосистеме модели DMN используются для автоматизированной поддержки принятия решений на различных стадиях ЖЦ объекта. Входными данными DMN служат сведения ЕИП: данные ТИМ-моделей, ERP-систем, реестра прослеживаемости, IoT, KPI и статус исполнения обязательств.

Особое значение использование DMN приобретает в рамках ДЖЦ МКД, где требуется непрерывный контроль выполнения договорных обязательств всеми участниками ИСП. В этом случае правила принятия решений могут формализовывать условия начисления штрафных санкций, определения уровня достижения целевых показателей, согласования изменений проекта, перераспределения ответственности между участниками и применения механизмов корректирующего воздействия.

В предлагаемой архитектуре цифровой экосистемы ИСП МКД, представленной на рисунке 4, BPMN-модели формируют цифровое описание процессов, а DMN-модели обеспечивают цифровое описание управленческой логики принятия решений. Совместное использование BPMN и DMN позволяет перейти от простого моделирования процессов к созданию интеллектуальной системы управления ЖЦ объекта, в которой процессные события автоматически сопоставляются с нормативными требованиями и правилами принятия решений, обеспечивая прозрачность, воспроизводимость и прослеживаемость управленческих воздействий.

⁷ Трифонова Т. А., Ильина М. Е. Жизненный цикл и его оценка как инструмент экологического менеджмента: учебное пособие. Владимир: Аркаим, 2016. С. 75.

⁸ Виноградов Д. В., Субботина Н. О. Управление жизненным циклом информационных систем: учебное пособие. Владимир: Изд-во ВлГУ, 2024. С. 11.

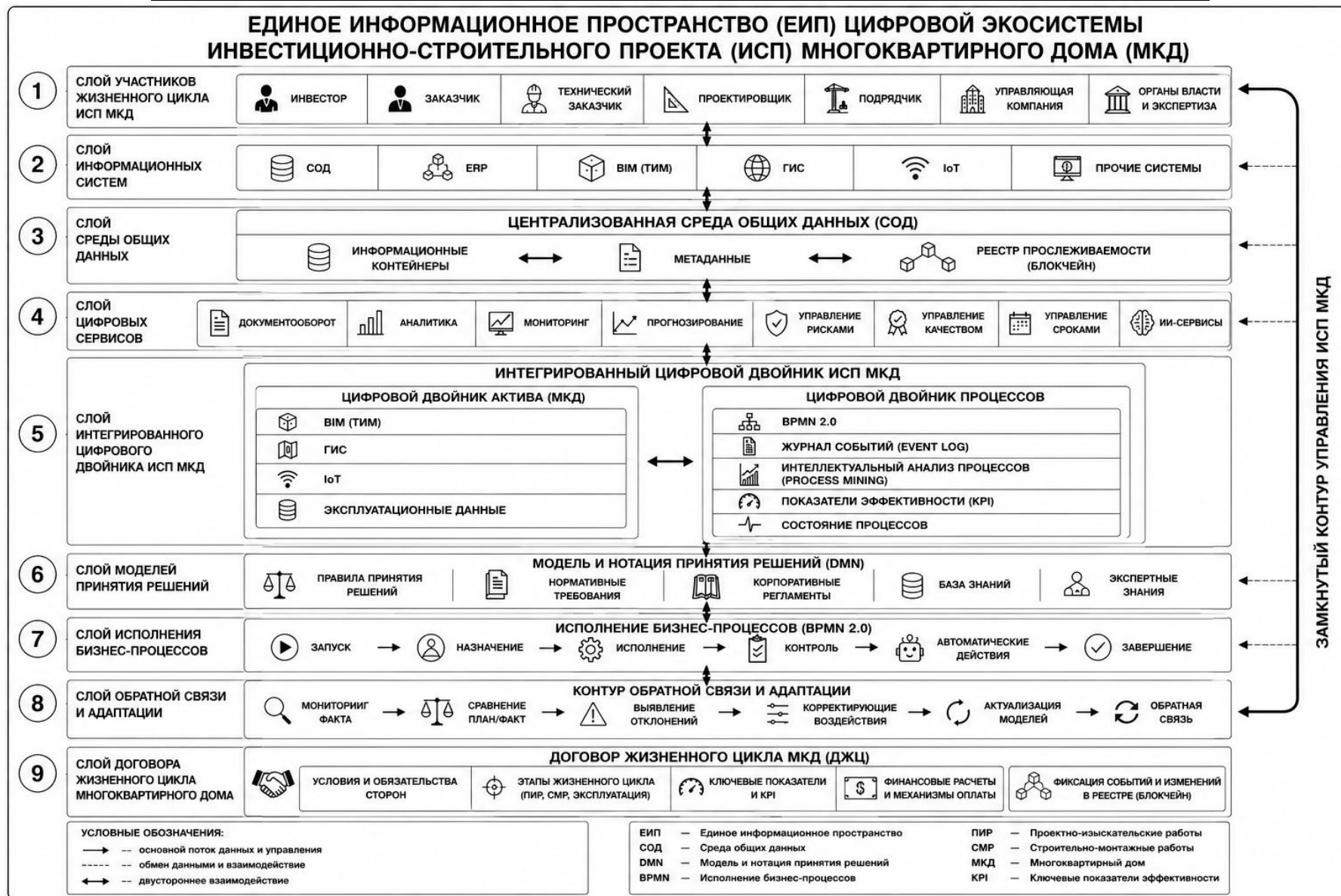


Рисунок 4. ЕИП цифровой экосистемы ИСП МКД (составлено авторами)

Особое значение в предлагаемой концепции имеет реализация замкнутого контура управления, представленного на рисунке 4 соответственно. В рамках данного контура осуществляется непрерывный мониторинг фактических показателей, сравнение плановых и фактических значений, выявление отклонений, формирование корректирующих воздействий и актуализация моделей процессов. Результаты выполненных действий повторно фиксируются в ЕИП и реестре прослеживаемости, что обеспечивает непрерывное совершенствование процессов на протяжении всего ЖЦ объекта.

Отдельным уровнем архитектуры является ДЖЦ МКД, который в предлагаемой концепции рассматривается не только как юридический документ, но и как цифровой объект управления. Условия договора, показатели эффективности, контрольные события, обязательства сторон и результаты исполнения процессов получают цифровое представление в ЕИП и могут автоматически контролироваться средствами цифровой экосистемы.

Применение реестра прослеживаемости на основе технологии распределенного реестра позволяет обеспечить неизменяемость истории выполнения обязательств, прозрачность процессов взаимодействия участников проекта и возможность проведения независимого аудита исполнения условий ДЖЦ. Это особенно актуально в условиях долгосрочной ответственности участников ИСП за результаты создания, эксплуатации и обслуживания МКД.

Таким образом, процессно-ориентированное управление и ДЖЦ выступают взаимодополняющими элементами доверенной цифровой экосистемы. Их интеграция с ЦД актива, ЦД процессов, единой средой данных и реестром прослеживаемости обеспечивает переход к новому уровню управления ИСП, основанному на данных, прозрачности процессов и цифровом доверии между участниками ЖЦ ОКС.

Заключение

В результате исследования разработана концепция доверенной цифровой экосистемы инвестиционно-строительного проекта многоквартирного дома, основанная на интеграции цифрового двойника актива, цифрового двойника процессов, процессно-ориентированного управления и договора жизненного цикла в рамках единого информационного пространства.

Проведенный анализ показал, что существующие подходы к цифровой трансформации строительной отрасли ориентированы преимущественно на цифровые модели объектов и недостаточно обеспечивают интеграцию организационно-управленческих процессов, договорных отношений и механизмов принятия решений, что приводит к фрагментации информационных потоков и снижению прозрачности исполнения обязательств.

Научным результатом исследования является разработка концептуальной архитектуры доверенной цифровой экосистемы ИСП МКД, обеспечивающей объединение цифрового представления объекта и цифрового представления процессов в составе интегрированного цифрового двойника проекта. В отличие от существующих подходов предлагаемая концепция рассматривает цифровой двойник не только как модель объекта капитального строительства, но и как основу управления организационно-управленческой деятельностью участников проекта на протяжении всего жизненного цикла многоквартирного дома. Предложенный подход обеспечивает переход к управлению взаимосвязанной системой данных, процессов, управленческих решений и договорных обязательств, поддерживая мониторинг объекта, анализ процессов и принятие решений на основе данных ЕИП.

Существенным элементом разработанной концепции является применение реестра прослеживаемости на основе технологии распределенного реестра, обеспечивающего цифровое подтверждение событий, неизменяемость истории изменений и формирование доказательной базы исполнения обязательств на протяжении жизненного цикла объекта капитального строительства.

Перспективы дальнейших исследований связаны с разработкой формальных моделей интеграции BPMN и DMN в цифровом двойнике процессов, созданием механизмов автоматизированного контроля исполнения обязательств договора жизненного цикла, применением технологий искусственного интеллекта для поддержки принятия решений, а также разработкой пилотной программной платформы доверенной цифровой экосистемы ИСП МКД для последующей апробации на реальных объектах жилищного строительства.

Таким образом, предложенная концепция создает основу для цифровых платформ управления жизненным циклом многоквартирных домов, интегрирующих данные, процессы и договорные отношения в единой доверенной цифровой среде и способствующих дальнейшему развитию технологий цифровых двойников в инвестиционно-строительной отрасли.

ЛИТЕРАТУРА

1. Калимуллин, Р. Р. Роль и тенденция развития единой информационной цифровой модели 7D (цифровой двойник) в управлении жизненным циклом инвестиционно-строительного проекта / Р. Р. Калимуллин, И. В. Носков. — Текст: электронный // Ползуновский альманах. — 2026. — № 1. — С. 56–60. — URL: <http://polzalmanah.ru/index.php/PA/issue/view/86/130> (дата обращения: 24.05.2026).
2. Смирнов, Д. В. Популярный Информационный менеджмент в строительстве (ИМС). Часть 1. Основные принципы и концепции / Д. В. Смирнов, А. В. Зотов. — Москва: ООО «АЙБИМ-ПРО», 2023. — 432 с. — URL: https://bim-info.ru/files/download/%D0%9F%D0%BE%D0%BF%D1%83%D0%BB%D1%8F%D1%80%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%98%D0%9C%D0%A1_%D0%A7%D0%B0%D1%81%D1%82%D1%8C1_%D0%9E%D0%B3%D0%BB%D0%B0%D0%B2%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5.pdf (дата обращения: 12.06.2026). — Текст: электронный.
3. Смирнов, Д. В. Популярный информационный менеджмент в строительстве. Часть 2. Цикл управления информацией: функции, процессы, документы / Д. В. Смирнов, А. В. Зотов. — Москва: ООО «АЙБИМ-ПРО», 2026. — 496 с. URL: <https://www.bim-info.ru/library/prevyu-popims-chast-2-20-05-26.pdf> (дата обращения: 12.06.2026). — Текст: электронный.
4. Нечаев, А. А. Интероперабельность систем информационного моделирования зданий / А. А. Нечаев. — Текст: электронный // Шаг в науку. — 2023. — № 4. — С. 70–78. — URL: http://sts.osu.ru/articles/2023/2023_4_70.pdf (дата обращения: 14.06.2026).
5. Применение технологий распределенного реестра в государственном управлении: возможности и правовые риски: монография / Э. В. Талапина, В. Н. Южаков, А. А. Ефремов, И. А. Черешнева. — Москва: Издательский дом «Дело» РАНХиГС, 2021. — 314 с. — URL: <https://gosszluzhba.gov.ru/api/dpo/methodical-materials/Download?id=c8cd2486-9ec4-ec11-afed-0a94ef943a49&file=ba7fb8f5-0a57-45f6-af3f-91568793f83f> (дата обращения: 15.06.2026). — Текст: электронный.
6. Лавреняк И. В. ЕРС/М контракты и договоры строительного подряда: сравнительно-правовой анализ международного и российского законодательства // Образование и право. 2023. № 3. С. 75–79. DOI: 10.24412/2076-1503-2023-3-75-79.
7. Какабаев, Ч. Технология блокчейн в строительных контрактах / Ч. Какабаев, А. Аманов, А. Гундогдыев. — Текст: электронный // Вестник науки. — 2024. — № 12(81), т. 1. — С. 1390–1393. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologiya-blokcheyn-v-stroitelnyh-kontraktah> (дата обращения: 16.06.2026).

8. Туливетер К. С., Курзенева Я. А., Кубина Е. А. Цифровой двойник объекта капитального строительства: от концепции до эксплуатации в рамках национального проекта 2025 года «Инфраструктура для жизни» // Russian Journal of Construction Science and Technology. 2025. Т. 11. № 2. Ст. 1102010. DOI: 10.15826/rjct.2025.2.010.
9. Кожевников, А. К. Цифровой кодекс Российской Федерации: правовые вызовы и перспективы / А. К. Кожевников. — Текст: электронный // StudArctic Forum: электронный научный студенческий журнал. — 2025. — Т. 10, № 4. — С. 110–122. — DOI: 10.24412/2500-140X-2025-4-110-122.
10. Al-Siah, H. BIM and BPMN 2.0 Integration for Interoperability Challenge in Architecture, Engineering and Construction Industry / H. Al-Siah // Communications in Computer and Information Science. — 2023. — Vol. 1823. — P. 272–285. — DOI: 10.1007/978-3-031-29515-7_21.
11. Эльгукаева Л. А., Амагова З. А. ERP-система как инструмент цифровой трансформации строительного предприятия // Вестник ГГНТУ. Гуманитарные и социально-экономические науки. 2024. Т. XX. № 1(35). С. 22–31. DOI: 10.26200/GSTOU.2024.75.93.003.
12. Ефремов А. А. Правовые вызовы применения технологий распределенного реестра в государственном управлении // Вестник экспертного совета. 2022. № 3(30). С. 45–52. EDN: JXWXZA.
13. Wang, Y. Enhancing Construction Management Digital Twins Through Process Mining of Progress Logs / Y. Wang, Y. Liu, X. Zhang. — Текст: электронный // Sustainability. — 2024. — Vol. 16, no. 22. — Art. 10064. — DOI: 10.3390/su162210064.
14. Voss, E. A BPMN-Based Process Map for the Design and Construction of Facades / E. Voss, Q. Jin, M. Overend. — Текст: электронный // Journal of Facade Design and Engineering. — 2013. — Vol. 1, no. 1/2. — P. 17–29. — DOI: 10.3233/fde-130006.
15. Топчий Д. В., Лавреняк И. В. Оптимизация функций технического заказчика при вводе объектов в эксплуатацию средствами моделирования бизнес-процессов // Вестник МГСУ. 2026. Т. 21. Вып. 2. С. 269–279. DOI: 10.22227/1997-0935.2026.2.269-279.

Noskov Igor Vladislavovich

Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia
E-mail: noskov.56@mail.ru

Kalimullin Roman Ralifovich

Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia
E-mail: icr-project@yandex.com

Concept of a trusted digital ecosystem for a residential construction project based on a digital twin, process-oriented management and a life cycle contract

Abstract. The digital transformation of the construction industry requires the integration of life-cycle stakeholders, information systems, digital services, and management processes within a unified information environment. Despite the active development of Building Information Modeling (BIM), Common Data Environments (CDE), and digital twin technologies, existing approaches are primarily focused on managing the physical asset and do not provide comprehensive integration of organizational processes, decision-making mechanisms, and contractual obligations throughout the entire life cycle of a construction project.

The study aims to develop a concept of a trusted digital ecosystem for a residential construction project based on the integration of an asset digital twin, a process digital twin, process-oriented management principles, and life cycle contract mechanisms within a Unified Information Space. The methodological framework is based on systems analysis, architectural modeling, digital twin concepts, business process modeling (BPMN 2.0), decision modeling (DMN), and process mining approaches.

The scientific contribution of the research consists in the development of a conceptual architecture that integrates the digital representation of a residential building with the digital representation of organizational and managerial processes within a single management framework. The proposed architecture includes stakeholders of the construction project life cycle, interoperable information systems, a Common Data Environment, digital services, an integrated digital twin, decision-support models, business process execution mechanisms, feedback loops, and life cycle contract management.

A distinctive feature of the proposed concept is the implementation of a blockchain-based traceability ledger that provides verification, immutability, and traceability of data, events, management decisions, and contractual obligations throughout the entire life cycle of the asset. The proposed approach enables the transition from isolated information management to integrated lifecycle management based on interconnected data, processes, decisions, and contractual relationships.

The practical significance of the research lies in the possibility of applying the proposed concept as a methodological foundation for developing digital platforms supporting residential construction projects implemented under life cycle contract models.

Keywords: residential construction project; apartment building; digital ecosystem; unified information space; common data environment; asset digital twin; process digital twin; integrated digital twin; process-oriented management; BPMN; DMN; process mining; life cycle contract; interoperability; blockchain; traceability ledger