

DOI: 10.34031/2071-7318-2026-11-7-81-90

¹Федосов С.В., ²Федосеев В.Н., ^{2,*}Воронов В.А.¹Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет²Ивановский государственный политехнический университет

*E-mail: amenamiiii@gmail.com

ИНЖЕНЕРНАЯ ЦИФРОВИЗАЦИЯ КАК ИНСТРУМЕНТ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ КОМФОРТНОГО ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ ЖИЛЫХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ

Аннотация. В статье рассматривается инженерная цифровизация как инструмент имитационного моделирования комфортного жизнеобеспечения объектов капитального строительства. Представлена концепция аналого-цифрового описания полного жизненного цикла здания, основанная на интеграции модульно-цифровой платформы, программируемых логических контроллеров и промышленной шины RS485. Разработанный программно-аппаратный комплекс опирается на авторские физико-математические модели нестационарных теплофизических процессов внутреннего контура теплонасосных систем. Платформа обеспечивает двусторонний обмен данными в реальном времени через протоколы BACnet и Modbus, позволяя прогнозировать критические риски эксплуатации, такие как образование наледи на испарителе, попадание жидкой фазы хладагента в компрессор и возникновение гидравлических ударов. Особое внимание уделено применению моделирования на всех этапах жизненного цикла: от технико-экономического обоснования на предпроектной стадии до верификации параметров при строительстве, энергоэффективной эксплуатации с экономией электроэнергии до 60% и планирования экологичной утилизации. Структура системы визуализирована с использованием языка ArchiMate, демонстрируя взаимосвязь бизнес-процессов, информационных модулей и исполнительных устройств. Показано, что разработанная цифровая среда формирует основу для имитационного управления микроклиматом, минимизации аварийности и продления ресурса оборудования. В перспективе платформа может быть интегрирована с искусственным интеллектом и BIM-средами через REST API с экспортом данных в формате XML, что соответствует современным трендам цифровизации строительной отрасли.

Ключевые слова: управление жизненным циклом, объекты капитального строительства, теплонасосные системы, цифровой двойник, имитационное моделирование.

Введение. В современных условиях строительного производства актуальным направлением является реализация информационно-цифровых моделей использования энергоэффективных ресурсов, направленных на теплообеспечение помещений в строениях.

Цифровизация этапов жизненного цикла строения заключается в использовании современных, в том числе энергосберегающих технологий в цифровом формате с программным обеспечением. Согласно требованиям Минстроя РФ, особенно Постановление Правительства РФ от 28.09.2020 года № 1558 «О Государственной информационной системе обеспечения Градостроительной деятельностью РФ» предполагается брать за основу (ЦУС) - Программный комплекс «Цифровое управление строительством», что позволит выстраивать и отлаживать процессы проектного и оперативного управления энергосберегающими технологиями, переводя такие решения в цифровой формат. Согласно Постановления Правительства РФ от 27.09. 2021 года № 1628 в соответствии с п.2. Правил № 1628 - основные требования энергоэффективных зданий включают оценку расхода энергоресурсов, где

основными показателями являются расход электро и тепловой энергии на отопление, горячее водоснабжение и вентиляцию, отображая всё это индексом класса энергоэффективности.

Реализация достижения энергосберегающих решений осуществляется в процессе эксплуатации строения, применяя соответствующее оборудование и рациональные схемные решения.

В ходе режима работы, встроенного энергоэффективного энергосберегающего оборудования изменения параметров рабочего тела теплообменных систем и как следствие расход энергоресурсов тепловой и электрической энергии – всё это влияет на экономию и экологию окружающей среды перераспределения тепловыделения отопительных приборов в помещениях.

Изначально при современном проектировании строений требуется инновационно-технологический подход к обозначению энергоэкономических решений для условий эксплуатации систем энерго-теплообеспечения помещений. Последовательное решение информационно-аппаратных схем создаёт систему с автоматизированно-программным состоянием: контроллер-

управления, обеспечивает в этих условиях универсальную систему автоматизации соблюдая технологию жизнеобеспечения строительного объекта.

В последнее время существенно изменилось в строительном производстве насыщение систем жизнеобеспечения электронным и микропроцессорным оборудованием с возможностью создания гибких и удобно-управляющих программ и их исполнение контроллером. Контроллер – это управляющая мини-ЭВМ с периферийными устройствами и устройствами сопряжения (УСО).

Аналого-цифровые информационные модели систем теплообеспечения помещений с разработкой аппаратно-программных решений для контроллеров управления создают условия для решения технологических задач энергосбережений в ходе этапов жизненного цикла строения. Современный уровень развития цифрового управления в строительстве (ЦУС) - сегодня это любая целевая информационная модель на этапах жизненного цикла строительного объекта, позволяющего выстраивать формат цифрового двойника (Digital Twin) с целью реального отображения функционированного состояния строительного объекта и как следствие получение прогнозируемого эффекта.

Цифровой двойник становится следующим этапом развития IT-технологий в строительстве и используется для информационного отображения как этапов, так и самого строительного объекта - его жизненного цикла. Основанием анализа его становится цифровая платформа как многофункциональный алгоритм в программно-вычислительной среде с выходом в службу эксплуатации объекта.

Цифровой двойник в режиме реального времени может выполнять следующие операции:

- осуществляет непрерывный сбор данных от датчиков и систем поэтапного жизнеобеспечения помещения (строения);
- проводит интеллектуально-аналитический анализ и прогноз технически-обеспеченного системой управления состояния строения-здания, обеспечивает механический контроль и безопасность;
- выполняет статистически-вероятностный анализ и мониторинг эффективного режима работы инженерно-коммуникационного оборудования строения.

Целью статьи является обоснование и разработка концепции инженерной цифровизации как инструмента имитационного моделирования для обеспечения комфортного микроклимата и энергоэффективной эксплуатации объектов капитального строительства

Материалы и методы. Современный уровень цифровизации в строительном производстве в условиях реализации эколого- энергосберегающих технологий это аналого-цифровое описание инженерии полного жизненного цикла объекта капитального строительства (его комфортное жизнеобеспечение) [1–5], которое представляет собой цепочку приемлемых аппаратно-программных средств целевого назначения, позволяющих реализовывать свои возможности используя реальную модульно-цифровую платформу в сочетании с контроллером tech-vc-10u2 и шиной управления RS485 [6]. Модульный контроллер разработан для теплообменных систем жилого дома и имеет широкие возможности применения в условиях строительных конструкций. Данный контроллер технологически позволяет соединять последовательно в технологическую цепочку обозначенные пользователем приборы-датчики с адаптацией с исполнительными механизмами, обеспечивающими энергосберегающую позицию каждого прибора – датчика.

В составе цепочки энергосберегающих элементов, соблюдая «синергию» и режим рациональной эксплуатации, в строении рекомендуется включать:

- современные теплообменные теплонасосные системы;
- теплоизолирующее стекло со специальным покрытием;
- приточно-вытяжную вентиляцию с рекуперацией воздуха;
- прибор с увлажнением окружающей среды;
- обеззараживатель воздуха в приточных каналах;
- теплогенератор с торможением (эффект Джоуля);
- кавитационный теплогенератор;
- возобновляемые источники энергии

Программно-аппаратные решения, разработанные на основе физико-математических моделей [7–10] с целью режима комфортного теплообмена помещения, учитывая реальные условия эксплуатации строения, позволяют сформировать информационный поток на основе модульно-цифровой платформы, в формате «ансамбля» алгоритмов с программным кодом. В таблице 1 представлено краткое описание реализованных программных решений.

Программное обеспечение, представленное в таблице 1 обеспечивает взаимодействие между пользователями, состояние информационного потока:

- 1) Обеспечивает поставку исходных данных со стороны пользователей – желаемые параметры

микроклимата помещений объекта капитального строительства.

2) Обеспечивает приемку входных данных с внешних и внутренних датчиков: температура наружного воздуха, температура теплоносителя, давление рабочего тела, расход теплоносителя.

3) Обеспечивает распределение параметров по назначению их работы в теплонасосной системе на основе входных данных.

4) Обеспечивает прогноз возникновения наледи на трубопроводах испарительного внутреннего контура теплового насоса.

5) Контроль допуска возникновения гидравлического удара во внутреннем контуре теплового насоса.

Таблица 1

Описание разработанных программных решений.

№	Наименование программы для ЭВМ	Краткое описание и назначение	Ключевые особенности / математический аппарат
1	Программа для моделирования аналитической зависимости функциональных параметров кинетики испарения капель рабочего хладагента в контуре воздушных теплохолодильных систем [7]	Прогноз времени полного перехода жидкой фазы в пар на участке «ТРВ - компрессор» для исключения гидроударов и поломки компрессора	Расчёт скорости витания капель, учёт реологических свойств фреонов
2	Программа расчета температуропроводности и граничных температур пластины, учитывающая процесс десублимации влаги на наружной поверхности трубопровода теплообменного прибора [8]	Моделирование роста слоя наледи («шубы») и оценка его термического сопротивления для оптимизации циклов оттайки	Краевая задача теплопроводности с граничными условиями IV рода, учёт теплоты фазового перехода.
3	Программа расчета динамики профиля температур теплоизолированного трубопровода внутреннего контура испарительно-конденсационного блока воздушной теплохолодильной установки [9]	Расчёт распределения температур по толщине стенки трубы и слоя изоляции при изменяющихся параметрах теплоносителя	Представление цилиндрической геометрии в виде двухслойной пластины, интегральное преобразование Лапласа, учёт граничных условий IV рода на контакте слоёв
4	Программа для моделирования решения задачи теплопроводности неограниченной пластины [10]	Универсальная модель теплообмена в системе «газ-твёрдое тело» для сложных геометрических форм строительных и инженерных конструкций	Расчет теплопроводности по толщине стенки трубопровода внутреннего контура теплонасосной системы численно-аналитическим методом академика С.В. Федосова: пошаговый переход от граничных условий III рода к граничным условиям I на интервалах Δt , отказ от поиска корней трансцендентных уравнений

Основная часть. Информация модульно-цифровой платформы формируется исходя из основной цели реализации экономически рационального управления жизненным циклом объекта капитального строительства. При необходимости информационно-цифровое пространство можно применять на каждом этапе жизненного цикла объектов капитального строительства.

Практически информационно-цифровое пространство является широкой -аппаратной сре-

дой, с подобранными интерфейсами, позволяющими осуществлять обмен данными как с пользователем (владельцем капитального объекта строительства), так и компонентами - датчиками теплонасосной системы. На рисунке 1 представлена концептуальная структура реализации информационной системы, предлагающая использовать модульную платформу управления жизненным циклом объектов капитального строительства.

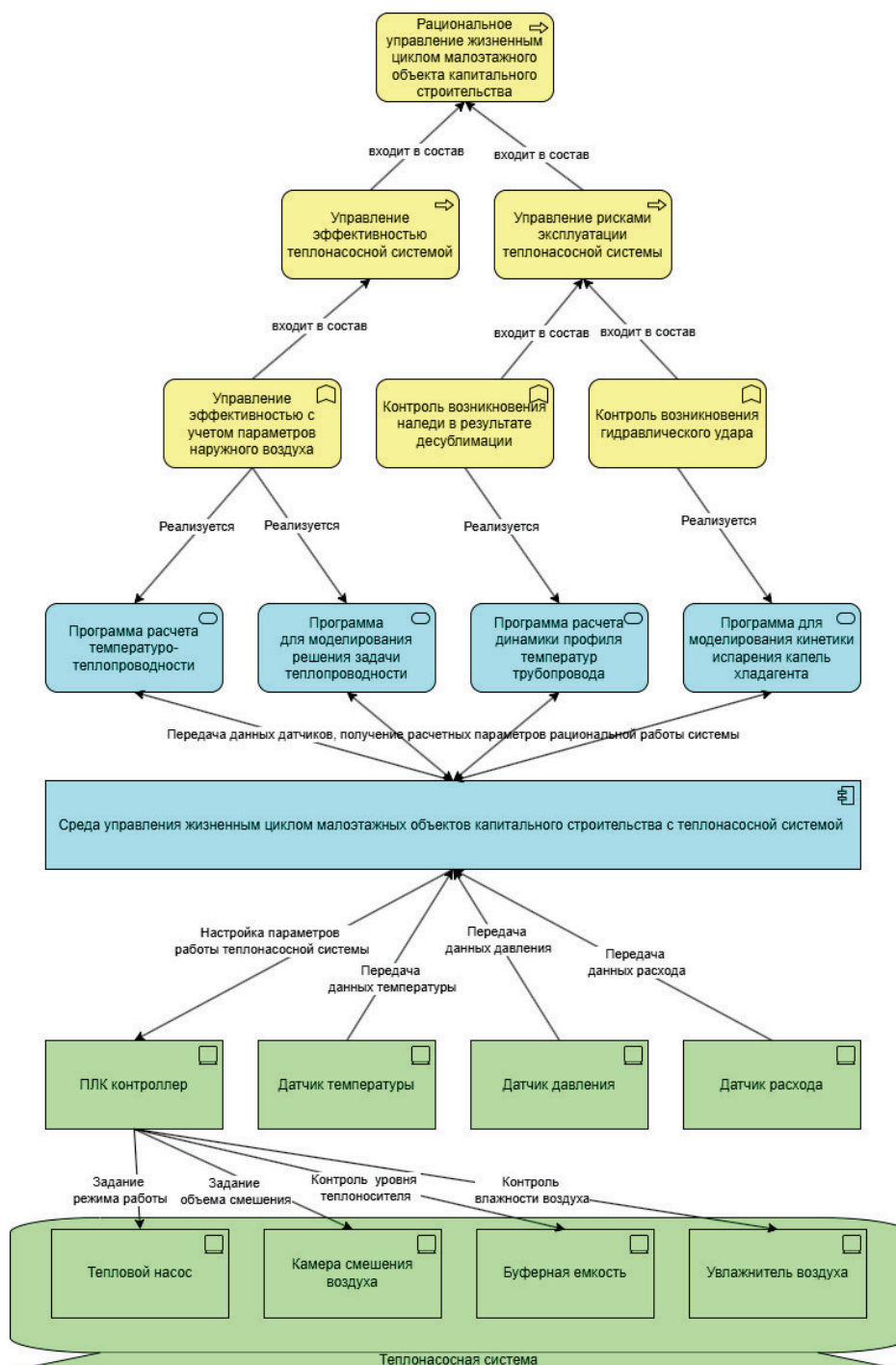


Рис. 1. Концептуальная структура реализации информационной системы рационального управления жизненным циклом объекта капитального строительства

Структурная схема системы реализации информационного модуля теплоснабжающей системы как рациональное управление жизненным циклом объекта капитального строительства предложена с учетом языка моделирования структуры предприятия ArchiMate. Желтыми прямоугольниками показаны ключевые процессы и функционалы, в которых конкретно заинтересованы владельцы объектов капитального строительства. Синие прямоугольники отображают программный уровень – информационные системы с программным кодом, а также их функции. Программное обеспечение информационной среды

может быть установлено как на персональных компьютерах, так и на смартфонах. С целью упрощения структурной схемы элементы устройства, на которых разворачивается программная среда не указаны. Зелеными прямоугольниками показаны конкретные устройства (элементы) системы теплообеспечения, которыми осуществляется управление. Язык моделирования ArchiMate был выбран с целью удобства показать взаимосвязь между разными уровнями единой методологии управления жизненным циклом объектов строительства: процессы, информационно-цифровая система и конкретные устройства. Стоит

также отметить, что в настоящий момент информационно-цифровая платформа предусматривает возможность аккумулировать описываемые данные и результатов их расчетов посредством встроенных локальных баз данных [11, 12]. В настоящий момент в цифровую платформу заложены функциональные наработки реализации специализированных интерфейсов для взаимодействия в составе с программируемым логическим контроллером (ПЛК) с учетом промышленных протоколов VASnet и Modbus. Такое решение обеспечивает синхронный, двухсторонний обмен данными в реальном времени. Концептуальная разработка спроектированной как инструмент имитационного моделирования позволяет трансформировать результаты физико-математического моделирования (прогноз образования

наледи, вероятность попадания жидкой фазы в компрессор, рациональные параметры работы системы и её компонентов) в процесс управления, воздействуя на исполнительные механизмы теплообменной – теплонасосной системы. При этом все инженерные события фиксируются в цифровом журнале (база данных), формируя основу для анализа надёжности и планирования технологического и технического обслуживания на последующих этапах жизненного цикла объекта [13–15].

Потенциальные преимущества от реализации информационно-цифрового подхода в реализации жизнеобеспечения объекта капитального строительства представлены в таблица 2. При этом особое внимание было уделено управлению рисками на этапе эксплуатации (табл. 3).

Таблица 2

Основные преимущества цифрового пространства в управлении жизненным циклом объекта капитального строительства

№	Наименование этапов жизненного цикла	Способ применения
1	Предпроектный	Технико-экономическое обоснование. Реальная оценка стоимости реализации проектов
2	Проектный	Уменьшение типовых коллизий технических расчетов в разделе ОВ.
3	Строительство	Верификация параметров режима работы теплонасосной системы перед вводом объекта в эксплуатацию
4	Эксплуатация	Эффективная экономия потребления электроэнергии на 40–60 %. Экологичность и надежность жизненного цикла компрессора.
5	Демонтаж / снос	Прогноз утилизации элементов конструкции системы, негативно влияющих на экологию окружающей среды.

Таблица 3

Управление рисками при эксплуатации объекта капитального строительства

Потенциальный риск	Вероятность возникновения	Степень влияния	Инструмент управления и контроля
Технические риски			
Образование наледи на поверхности трубопровода внутреннего контура	Высокая	Критическое	Программа расчета типизации наледи на поверхности испарителя
Попадание крупных капель рабочего тела в компрессор	Средняя	Критическое	Программа для моделирования кинетики испарения капель хладагента
Гидравлический удар во внутреннем контуре	Низкая	Критическое	Программа для моделирования кинетики испарения капель хладагента
Снижение эффективности устройства	Средняя	Высокое	Программа расчета температуро-теплопроводности, программа моделирования решения задачи теплопроводности
Организационно-технические риски			
Рост тарифов на электроэнергию	Высокая	Средняя	Программа расчета температуро-теплопроводности, программа моделирования решения задачи теплопроводности
Отсутствие квалификации специалистов в рамках данной специализации	Высокая	Средняя	Программа расчета температуро-теплопроводности, программа моделирования решения задачи теплопроводности

В таблицах 2 и 3 обозначены конкретные эффекты от реализации программно-прикладного цифрового пространства эффективного управления жизненным циклом объектов капитального строительства и их эксплуатации.

Выводы. Разработанный комплекс программных средств в перспективе может быть доработан в части интеграций с сопутствующими системами прикладного характера строительного объекта. Например, с программой управления инженерии системы, средой общих данных, а также единым информационным пространством. Конечно, такая интеграция будет востребована для более масштабных сооружений, чем объекты капитального строительства, но в рамках масштабирования результатов настоящего исследования такое вполне допустимо. Если принять во внимание высокую активность интенсивности развития технологий информационного моделирования можно с уверенностью утверждать, что в будущем появится необходимость в автоматизированной передаче данных и параметров на основе искусственного интеллекта (ИИ) от разработанной цифровой платформы в цифровые информационные модели, создавая имитационные модели объектов капитального строительства, реализованные в международном формате Industry Foundation Classes (IFC). Технология реализации передачи вполне возможна, используя ИИ цифровой платформы и программные интерфейсы (REST API) с консолидацией инженерных данных.

Перспективным направлением дальнейшего развития разработанной цифровой платформы является реализация возможности экспорта отчетности в машиночитаемом формате XML. Принимая во внимание настоящую тенденцию строительного законодательства, реализация обозначенной доработки будет востребована всеми участниками строительной сферы.

Разработка и реализация информационной системы с цифровой платформой обеспечивает комплекс программно-информационного моделирования, что позволяет управлять качеством микроклимата, эффективностью работы и возможными рисками при эксплуатации теплоснабжающих систем в объектах капитального строительства на стадиях проектирования и реализации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сколубович Ю.Л., Анпилов С.М., Добровольский Д.А., Ерофеев В.Т., Леонович С.Н., Малиян Л.Р., Римшин В.И., Сорочайкин А.Н. Способы продления жизненного цикла зданий с деревянными перекрытиями // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2024. №9

(789). С. 88–103. DOI: 10.32683/0536-1052-2024-789-9-88-103

2. Римшин В.И., Кецо Е.С., Есипов С.М., Меркулов С.И. Определение факторов, влияющих на жизненный цикл здания торгового назначения // Вестник евразийской науки. 2023. Т. 15, №6. С. 1–12.

3. Лapidус А.А., Красновский Б.М., Муртазаев С.А.Ю., Алиев С.А. Методология организации строительства комплексного развития территорий для обеспечения ресурсной и логистической координации // Строительное производство. 2025. №1. С. 3–7. DOI: 10.54950/26585340_2025_1_3

4. Пасканый В.И., Лapidус А.А. Моделирование бизнес-процессов инжиниринговых компаний на этапах жизненного цикла инвестиционно-строительного проекта // Вестник МГСУ. 2024. Т. 19, №11. С. 1789–1796. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.11.1789-1796.

5. Теличенко В.И., Лapidус А.А., Слесарев М.Ю., Али М.М. Методы управления жизненным циклом объектов капитального строительства с учетом влияния экологических и других видов рисков // Строительство: наука и образование. 2024. Т. 14, №2. С. 166–177. DOI: 10.22227/2305-5502.2024.2.166-177.

6. Федосов С.В., Федосеев В.Н., Зайцева И.А., Воронов В.А. Организация технологии комфортного жизнеобеспечения в строениях с высоким классом энергоэффективности // Строительное производство. 2023. №4. С. 77–82. DOI: 10.54950/26585340_2023_4_77

7. Федосов С.В., Федосеев В.Н., Зайцев И.С., Воронов В.А., Блинов О.В., Зайцева И.А. Программа для моделирования аналитической зависимости функциональных параметров кинетики испарения капель рабочего хладагента в контуре воздушных теплохолодильных систем: свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ №2022666150 Рос. Федерация. Заявл. 08.08.2022; зарег. 25.08.2022.

8. Федосов С.В., Федосеев В.Н., Зайцев И.С., Воронов В.А., Блинов О.В., Зайцева И.А. Программа расчета температуротеплопроводности и граничных температур пластины, учитывающая процесс десублимации влаги на наружной поверхности трубопровода теплообменного прибора: свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ №2023663430 Рос. Федерация. Заявл. 05.06.2023; зарег. 22.06.2023.

9. Федосов С.В., Федосеев В.Н., Зайцев И.С., Воронов В.А., Блинов О.В., Зайцева И.А. Программа расчета динамики профиля температур теплоизолированного трубопровода внутреннего контура испарительно-конденсацион-

ного блока воздушной теплохолодильной установки: свидетельство о регистрации программы для ЭВМ №2022682948 Рос. Федерация. Заявл. 16.11.2022; зарег. 29.11.2022.

10. Федосов С.В., Федосеев В.Н., Зайцев И.С., Воронов В.А., Блинов О.В., Зайцева И.А. Программа для моделирования решения задачи теплопроводности неограниченной пластины: свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ №2023668149 Рос. Федерация. Заявл. 15.08.2023; зарег. 23.08.2023.

11. Теличенко В.И., Лапидус А.А., Слесарев М.Ю. Риски интеграции технологий искусственного интеллекта в «зеленые» стандарты // Промышленное и гражданское строительство. 2023. №8. С. 102–108. DOI: 10.33622/0869-7019.2023.08.102-108.

12. Курбатов В.Л., Римшин В.И., Шубин И.Л., Волкова С.В. Информационное моделирование и искусственный интеллект в современном

строительстве и жилищно-коммунальном хозяйстве. Москва: [б. и.], 2023.

13. Волков С.А., Хрипко Т.В. Применение XML-схем при формировании структуры информационной модели объектов капитального строительства // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15, №11. С. 1570–1583. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.11.1570-1583.

14. Чайковская Л.В., Кушнерев Н.Ю. К вопросу внедрения XML-схем в проектировании и строительстве // БСТ: Бюллетень строительной техники. 2026. №3 (1099). С. 11–13.

15. Крылов А.Д. Машиночитаемые документы в стандартах по информационному моделированию в строительстве // Вестник НИЦ Строительство. 2023. №2 (37). С. 151–158. DOI: 10.37538/2224-9494-2023-2(37)-151-158

Информация об авторах

Федосов Сергей Викторович, доктор технических наук, профессор кафедры технологии и организации строительного производства. E-mail: fedosovsv@mgsu.ru. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26.

Федосеев Вадим Николаевич, доктор технических наук, профессор кафедры организации производства и городского хозяйства. E-mail: 4932421318@mail.ru. Ивановский государственный политехнический университет. Россия, 153000, Иваново, Шереметевский проспект, 21.

Воронов Владимир Андреевич, кандидат технических наук, доцент кафедры организации производства и городского хозяйства. E-mail: amenamiiii@gmail.com. Ивановский государственный политехнический университет. Россия, 153000, Иваново, Шереметевский проспект, 21.

Поступила 16.05.2026 г.

© Федосов С.В., Федосеев В.Н., Воронов В.А., 2026

¹Fedosov S.V., ²Fedoseev V.N., ^{2,*}Voronov V.A.

¹National Research Moscow State University of Civil Engineering

²Ivanovo State Polytechnic University

*E-mail: amenamiiii@gmail.com

ENGINEERING DIGITALIZATION AS A TOOL FOR SIMULATION MODELING OF COMFORTABLE LIFE SUPPORT IN RESIDENTIAL AND INDUSTRIAL BUILDINGS

Abstract. The paper considers engineering digitalization as a tool for simulation modeling of comfortable life support in capital construction facilities. A concept of analog-digital description of a building's full lifecycle is presented, based on the integration of a modular digital platform, programmable logic controllers, and an RS485 industrial bus. The developed hardware-software complex relies on proprietary physico-mathematical models of non-stationary thermophysical processes in the internal circuits of heat pump systems. The platform enables bidirectional real-time data exchange via BACnet and Modbus protocols, allowing for the prediction of critical operational risks such as ice formation on the evaporator, liquid refrigerant ingress into the compressor, and hydraulic shocks. Particular attention is given to the application of simulation modeling across all lifecycle stages: from feasibility studies at the pre-design phase and parameter verification during construction to energy-efficient operation with electricity savings of up to 60 % and planning for environmentally sustainable decommissioning. The system architecture is visualized using ArchiMate, illustrating the interrelation between business processes, information modules, and actuator devices. It is demonstrated that the

developed digital environment forms a foundation for simulation-based microclimate control, accident prevention, and equipment service life extension. In the future, the platform may be integrated with artificial intelligence systems and BIM environments via REST API with XML data export, aligning with current digitalization trends in the construction industry.

Keywords: *life cycle management; capital construction facilities; heat pump systems; digital twin; simulation modeling.*

REFERENCES

1. Skolubovich Yu.L., Anpilov S.M., Dobrovolsky D.A., Erofeev V.T., Leonovich S.N., Mailian L.R., Rimshin V.I., Sorochaykin A.N. Methods for Extending the Life Cycle of Buildings with Wooden Floors [Sposoby prodleniya zhiznennogo tsikla zdaniy s derevyannymi perekrytiyami]. Izvestiya of Universities. Investment and Construction. 2024. No. 9 (789). Pp. 88–103. DOI: 10.32683/0536-1052-2024-789-9-88-103 (rus).
2. Rimshin V.I., Ketsko E.S., Esipov S.M., Merkulov S.I. Determination of Factors Affecting the Life Cycle of a Commercial Building [Opredelenie faktorov, vliyayushchikh na zhiznenny tsikl zdaniya trgovogo naznacheniya]. Eurasian Science Review. 2023. Vol. 15, No. 6. Pp. 1–12 (rus).
3. Lapidus A.A., Krasnovsky B.M., Murtazaev S.A.Yu., Aliev S.A. Methodology of Construction Organization for Comprehensive Territorial Development to Ensure Resource and Logistics Coordination [Metodologiya organizatsii stroitelstva kompleksnogo razvitiya territoriy dlya obespecheniya resursnoy i logisticheskoy koordinatsii]. Construction Production. 2025. No. 1. Pp. 3–7. DOI: 10.54950/26585340_2025_1_3 (rus).
4. Paskanny V.I., Lapidus A.A. Business Process Modeling in Engineering Companies at the Life Cycle Stages of an Investment and Construction Project [Modelirovanie biznes-protsessov inzhiringovykh kompaniy na etapakh zhiznennogo tsikla investitsionno-stroitel'nogo proekta]. Bulletin of Moscow State University of Civil Engineering. 2024. Vol. 19, No. 11. Pp. 1789–1796. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.11.1789-1796 (rus).
5. Telichenko V.I., Lapidus A.A., Slesarev M.Yu., Ali M.M. Methods for Managing the Life Cycle of Capital Construction Facilities Considering the Impact of Environmental and Other Risks [Metody upravleniya zhiznennym tsiklom obektov kapital'nogo stroitelstva s uchetom vliyaniya ekologicheskikh i drugikh vidov riskov]. Construction: Science and Education. 2024. Vol. 14, No. 2. Pp. 166–177. DOI: 10.22227/2305-5502.2024.2.166-177 (rus).
6. Fedosov S.V., Fedoseev V.N., Zaitseva I.A., Voronov V.A. Organization of Technology for Comfortable Life Support in Buildings with a High Energy Efficiency Class [Organizatsiya tekhnologii komfortnogo zhizneobespecheniya v stroeniyakh s vysokim klassom energoeffektivnosti]. Construction Production. 2023. No. 4. Pp. 77–82. DOI: 10.54950/26585340_2023_4_77 (rus).
7. Fedosov S.V., Fedoseev V.N., Zaitsev I.S., Voronov V.A., Blinov O.V., Zaitseva I.A. Program for Simulating the Analytical Dependence of Functional Parameters of the Kinetics of Working Refrigerant Droplet Evaporation in the Circuit of Air Cooling and Refrigeration Systems: Certificate of State Registration of Computer Program No. 2022666150, Russian Federation. Appl. 08.08.2022; reg. 25.08.2022 (rus).
8. Fedosov S.V., Fedoseev V.N., Zaitsev I.S., Voronov V.A., Blinov O.V., Zaitseva I.A. Program for Calculating Temperature and Thermal Conductivity and Boundary Temperatures of a Plate, Taking into Account the Process of Moisture Desublimation on the Outer Surface of the Heat Exchanger Pipeline: Certificate of State Registration of Computer Program No. 2023663430, Russian Federation. Appl. 05.06.2023; reg. 22.06.2023 (rus).
9. Fedosov S.V., Fedoseev V.N., Zaitsev I.S., Voronov V.A., Blinov O.V., Zaitseva I.A. Program for Calculating the Dynamics of the Temperature Profile of an Insulated Pipeline of the Internal Circuit of an Evaporative-Condensation Unit of an Air Cooling and Refrigeration System: Certificate of State Registration of Computer Program No. 2022682948, Russian Federation. Appl. 16.11.2022; reg. 29.11.2022 (rus).
10. Fedosov S.V., Fedoseev V.N., Zaitsev I.S., Voronov V.A., Blinov O.V., Zaitseva I.A. Program for Modeling the Solution of the Heat Conduction Problem for an Infinite Plate: Certificate of State Registration of Computer Program No. 2023668149, Russian Federation. Appl. 15.08.2023; reg. 23.08.2023 (rus).
11. Telichenko V.I., Lapidus A.A., Slesarev M.Yu. Risks of Integrating Artificial Intelligence Technologies into "Green" Standards [Riski integratsii tekhnologiy iskusstvennogo intellekta v "zelenye" standarty]. Industrial and Civil Engineering. 2023. No. 8. Pp. 102–108. DOI: 10.33622/0869-7019.2023.08.102-108 (rus).
12. Kurbatov V.L., Rimshin V.I., Shubin I.L., Volkova S.V. Information Modeling and Artificial Intelligence in Modern Construction and Housing and Communal Services [Informatsionnoe modelirovanie i iskusstvennyy intellekt v sovremennom stroitelstve i zhilishchno-kommunalnom khozyaystve]. Moscow: [s.n.], 2023 (rus).

13. Volkov S.A., Khripko T.V. Application of XML Schemes in Forming the Structure of the Information Model of Capital Construction Objects [Primenenie XML-skhem pri formirovanii struktury informatsionnoy modeli obektov kapitalnogo stroitelstva]. Bulletin of Moscow State University of Civil Engineering. 2020. Vol. 15, No. 11. Pp. 1570–1583. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.11.1570-1583 (rus).

14. Chaykovskaya L.V., Kushnerev N.Yu. On the Issue of Implementing XML Schemes in Design

and Construction [K voprosu vnedreniya XML-skhem v proektirovanii i stroitelstve]. BST: Bulletin of Construction Techniques. 2026. No. 3 (1099). Pp. 11–13 (rus).

15. Krylov A.D. Machine-Readable Documents in Standards for Information Modeling in Construction [Mashinochitayemye dokumenty v standartakh po informatsionnomu modelirovaniyu v stroitelstve]. Bulletin of the Research Center "Construction". 2023. No. 2 (37). Pp. 151–158. DOI: 10.37538/2224-9494-2023-2(37)-151-158 (rus).

Information about the authors

Fedosov, Sergey V. DSc, Professor. E-mail: fedosovsv@mgsu.ru. National Research Moscow State University of Civil Engineering. Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye Shosse, 26.

Fedoseev, Vadim N. DSc, Professor. E-mail: 4932421318@mail.ru. Ivanovo State Polytechnic University. Russia, 153000, Ivanovo, Sheremetevsky Prospekt, 21.

Voronov, Vladimir A. PhD. E-mail: amenamiiii@gmail.com. Ivanovo State Polytechnic University. Russia, 153000, Ivanovo, Sheremetevsky Prospekt, 21.

Received 16.05.2026

Для цитирования:

Федосов С.В., Федосеев В.Н., Воронов В.А. Инженерная цифровизация как инструмент имитационного моделирования комфортного жизнеобеспечения жилых и промышленных зданий // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2026. № 7. С. 81–89. DOI: 10.34031/2071-7318-2025-11-7-81-89

For citation:

Fedosov S.V., Fedoseev V.N., Voronov V.A. Engineering digitalization as a tool for simulation modeling of comfortable life support in residential and industrial buildings. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2026. No. 4. Pp. 81–89. DOI: 10.34031/2071-7318-2025-11-7-81-89