

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 65.05:004.9

Особенности использования отечественного и зарубежного инструментария имитационного моделирования строительных конструкций зданий и сооружений

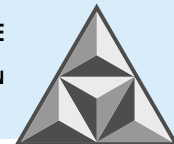
С.В. Федосов¹, В.Н. Федосеев², И.С. Зайцев², И.А. Зайцева²

Сергей Викторович Федосов

¹Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет,
Москва, Российская Федерация
fedosov-academic53@mail.ru

Вадим Николаевич Федосеев, Иван Сергеевич Зайцев, Ирина Александровна Зайцева

²Ивановский государственный политехнический университет, Иваново, Российская Федерация
4932421318@mail.ru, e30n3@yandex.ru, 75zss@rambler.ru

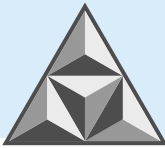


Имитационное моделирование строительных конструкций представлено как мощный инструмент повышения эффективности и качества процессов, связанных с проектированием, строительством и эксплуатацией строительных объектов. Рассмотрены различные программные продукты для имитационного моделирования строительных конструкций, их возможности и применение в различных проектах по всему миру. Проведен сравнительный анализ отечественных и зарубежных технологий информационного моделирования жизненного цикла объектов строительства, выявлены их преимущества и недостатки. Приведены примеры успешной реализации широко распространенных и применяемых информационных инструментов в России и за рубежом. Дана оценка анализу возможности адаптации зарубежных инструментарий-технологий к отечественным условиям. При выборе инструментария для решения задач в данной области необходимо учитывать функционал и возможности программ, а также их стоимость.

Ключевые слова: строительные конструкции, информационное моделирование, технологии-инструментарии, BIM-системы, жизненный цикл объектов строительства

Для цитирования:

Федосов С.В., Федосеев В.Н., Зайцев И.С., Зайцева И.А. Особенности использования отечественного и зарубежного инструментария имитационного моделирования строительных конструкций зданий и сооружений // *Умные композиты в строительстве*. 2023. Т. 4, вып. 2. С. 18-31. URL: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/v4n2_2023



SCIENTIFIC ARTICLE

Features of domestic and foreign simulation tools use for structural modeling of civil engineering buildings and constructions

S.V. Fedosov¹, V.N. Fedoseev², I.S. Zaitsev², I.A. Zaitseva²

Sergey V. Fedosov

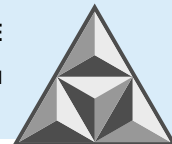
¹National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

fedosov-academic53@mail.ru

Vadim N. Fedoseev, Ivan S. Zaitsev, Irina A. Zaitseva

²Ivanovo State Polytechnic University, Ivanovo, Russia

4932421318@mail.ru, e30n3@yandex.ru, 75zss@rambler.ru

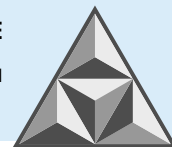


The paper dwells on construction simulation as a powerful tool to improve the efficiency and quality of design, construction, and operation of building structures. Also the paper considers different features of software products global application experience for simulation modeling of building structures. We conduct the comparative analysis of domestic and foreign technologies for information modeling of the construction objects life cycle, and assess their advantages and disadvantages. Also we provide examples of the most widespread and applicable software tools successful implementation in Russia and abroad. The paper also provides the analysis of foreign tool-technologies adaptations to domestic fields. Therefore, while selecting a tool for this particular issue, the functionality and capability of the software, as well as its cost, should be considered.

Keywords: building structures, information modelling, tools technologies, BIM systems, lifecycle of construction objects

For citation:

Fedosov, S.V., Fedoseev, V.N., Zaitsev, I.S. & Zaitseva, I.A. (2023) Features of domestic and foreign simulation tools use for structural modeling of civil engineering buildings and constructions, *Smart Composite in Construction*, 4(2), pp. 18-31 [online]. Available at: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/v4n2_2023.



ВВЕДЕНИЕ

Строительство является важной отраслью экономики, которая направлена на создание объектов, необходимых для жизни и работы людей. Однако процессы, связанные с проектированием, строительством и эксплуатацией объектов, требуют постоянного повышения эффективности и качества. Основой любого сооружения (здания, моста или дамбы) являются строительные конструкции. При проектировании и строительстве конструкций необходимо учитывать множество факторов, таких как нагрузки, вибрации, температурные изменения и другие воздействия, которые могут повлиять на их прочность и надежность [1, 2].

Инструментарий имитационного моделирования строительных конструкций позволяет проводить их расчеты на прочность и надежность при различных условиях эксплуатации, оптимизировать процессы строительства и эксплуатации объектов, повысить их эффективность и безопасность, а также снизить риски и затраты.

Имитационное моделирование строительных конструкций представляет собой процесс создания виртуальной модели здания или сооружения, который позволяет проводить анализ и оптимизацию процесса строительства. Для этого используют специализированные программные продукты, на основе которых создают 3D-модели, облегчающие моделирование в сфере строительства различных систем – отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха, а также электроснабжения и связи [3-5].

Роль инструментария в имитационном моделировании заключается в том, что без специальных программ и инструментов создание и анализ компьютерных моделей становится невозможным. Существует множество программ и известны BIM / ТИМ-технологии информационного моделирования жизненного цикла объектов строительства (ЖЦОС), сопровождающие комплексный анализ прочности, теплотехнические расчеты, поиск оптимальных технологических решений, управление бюджетом проекта [6].

Приведем типовые примеры использования инструментария имитационного моделирования, относящиеся к возведению строительных конструкций:

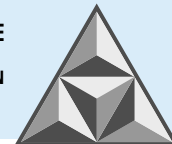
1. Оптимизация процесса строительства. Например, при моделировании конструктивных элементов многоэтажного здания можно выбрать подходящую последовательность работ, чтобы минимизировать время и затраты на строительство.

2. Оценка эффективности и рисков. Имитационное моделирование позволяет оценить эффективность строительства здания или сооружения, а также определить возможные риски и проблемы, которые могут возникнуть в процессе возведения строительных конструкций. Например, при моделировании строительства моста можно определить, какие факторы могут повлиять на прочность и безопасность конструкций, провести анализ рисков.

3. Разработка проектной документации. Имитационное моделирование позволяет создавать точную и детальную проектную документацию, которая учитывает особенности и требования объекта. Например, при моделировании строительства больницы можно разработать детальный план помещений, учитывая требования к установке оборудования, а также системам вентиляции и кондиционирования воздуха, электроснабжения и т.д.

4. Обучение и тренировка специалистов. Имитационное моделирование позволяет проводить обучение и тренировку специалистов, которые будут заниматься возведением строительных конструкций здания или сооружения.

5. Проведение экспериментов и исследований. Имитационное моделирование позволяет проводить эксперименты и исследования, которые помогают разрабатывать новые технологии и методы строительства, а также улучшать существующие. Например, при



моделировании строительства высотного здания можно провести эксперименты с различными материалами и конструкциями, чтобы выделить наиболее прочные и эффективные варианты.

Применение имитационного моделирования при возведении строительных конструкций можно рассматривать в трех направлениях:

1. Оценка прочности и надежности конструкций. С помощью специальных программных продуктов можно создавать 3D-модели объектов, проводить анализ их прочности в различных условиях. Например, при моделировании строительства моста можно определить, какие факторы могут повлиять на его прочность и безопасность, провести анализ рисков [7].

Примером успешной реализации в этом направлении является программа «Конструкция», разработанная Институтом проблем безопасности атомной энергетики Российской академии наук. Такая программа позволяет проводить расчеты на прочность и надежность конструкций при различных условиях эксплуатации, включая воздействие внешних факторов, таких как сейсмические нагрузки и термические воздействия.

2. Оптимизация эксплуатации объектов на этапах жизненного цикла (о перспективах данного направления уже упоминалось выше).

Показателен опыт реализации программы, разработанной в НИИ строительной технологии (Ростовская обл., г. Новочеркасск). Программа позволяет оптимизировать процессы строительства зданий и сооружений, учитывая различные факторы, такие как доступность материалов, технологии строительства, погодные условия и т.д.

3. Прогнозирование возможных аварийных ситуаций. Моделирование аварийных ситуаций в процессе строительства и эксплуатации объектов помогает разработать меры по их предотвращению. Например, при возведении высотного здания можно провести эксперименты с различными материалами и строительными конструкциями, чтобы определить наиболее прочные и эффективные варианты и предотвратить возможные аварии.

Программа «Аварийный анализ», предложенная в Институте проблем безопасности атомной энергетики Российской академии наук, позволяет прогнозировать возможные аварийные ситуации в процессе эксплуатации объектов, проводить анализ их причин и разрабатывать меры по предотвращению подобных ситуаций в будущем.

Это лишь отдельные примеры, которые успешно применяются в различных отечественных проектах строительства и эксплуатации объектов (в том числе – атомных электростанций, мостов, высотных зданий и других сооружений). Отличия отечественного и зарубежного инструментария моделирования строительных конструкций зданий заключаются в функциональных возможностях программ и их адаптированности к российскому рынку строительства [8].

Цель настоящей работы – сравнительный анализ программных продуктов для осуществления имитационного моделирования строительных конструкций, выявление их сильных и слабых сторон и выбор подходящих технических решений в сфере жизненного цикла объектов строительства.

АНАЛИЗ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ СИСТЕМ И СРЕДСТВ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

В России BIM / ТИМ ЖЦОС активно развиваются с 2010-х годов. Распространенные отечественные BIM-системы для моделирования строительных конструкций (рис. 1) описаны ниже.

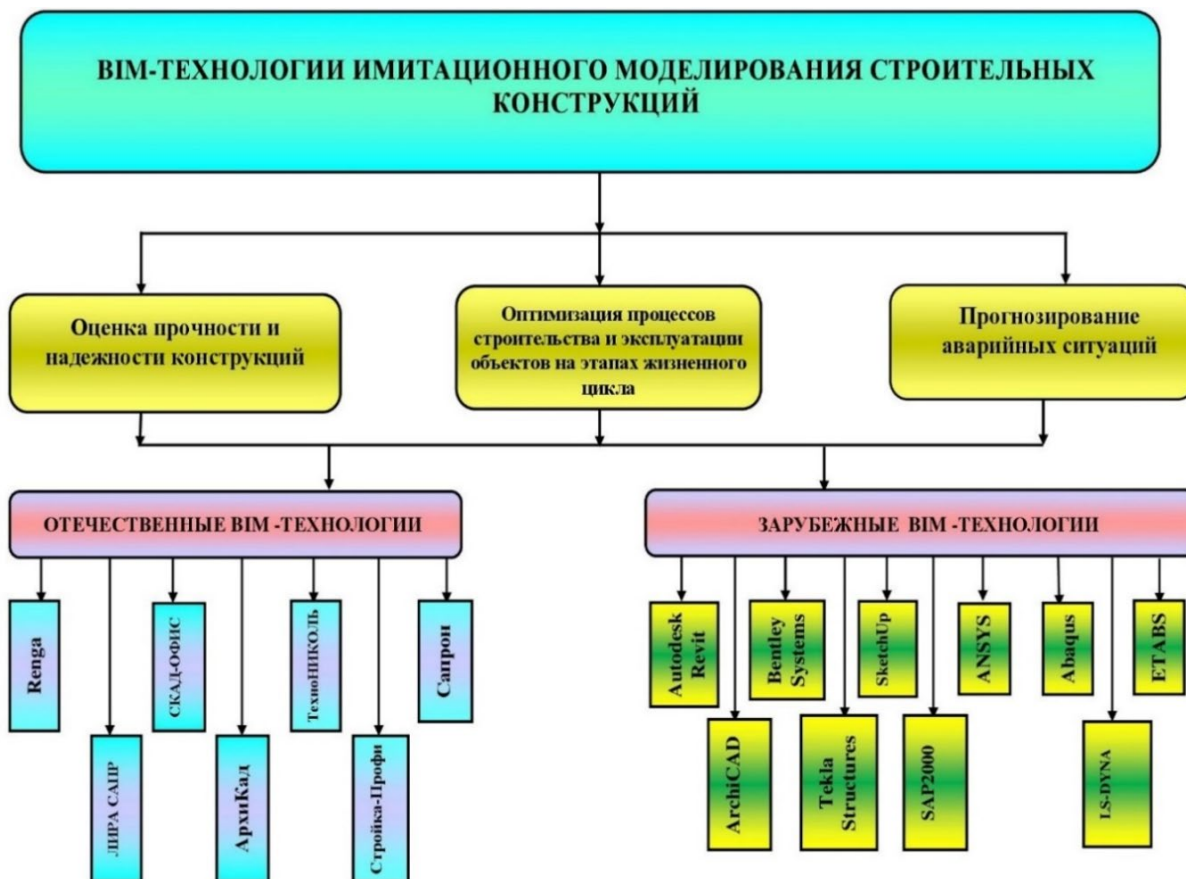
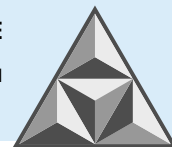


Рис. 1. Информационные технологии имитационного моделирования строительных конструкций
Fig. 1. Information technology simulation modeling of building structures

Renga¹ – российская BIM-система, разработанная компанией ASCON. Она позволяет создавать трехмерные модели объектов, проводить анализ прочности и теплотехнические расчеты. Renga используется в архитектурном проектировании зданий, промышленных объектов и сопутствующей инфраструктуры.

ЛИРА САПР² – комплекс программ для проектирования и расчета конструкций, включающий в себя модули для создания трехмерных моделей, анализа прочности и устойчивости конструкций, расчета деформаций и напряжений.

СКАД-ОФИС³ – комплекс программных средств для проектирования и управления строительством, включающий в себя модули для создания трехмерных моделей, планирования технологий производственных процессов и управления бюджетом проекта.

АрхиКад⁴ – программа для проектирования зданий, которая позволяет создавать 3D-модели объектов, проводить расчеты на прочность конструкций и оптимизировать процессы строительства.

ТехноНИКОЛЬ⁵ – программа для проектирования кровельных и гидроизоляционных систем, которая позволяет создавать 3D-модели объектов, проводить расчеты на прочность конструкций и оптимизировать процессы строительства.

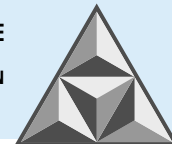
¹ Renga. URL: <https://rengabim.com/>

² ЛИРА САПР. URL: <https://www.lirasapr.com/>

³ СКАД-ОФИС. URL: <https://scadsoft.com/>

⁴ АрхиКад. URL: <https://graphisoft.com/ru/solutions/archicad>

⁵ ТехноНИКОЛЬ. URL: <https://nav.tn.ru/systems/ploskaya-krysha/tn-krovlya-praktik/>



Стройка-Профи⁶ – программа для проектирования зданий и сооружений, которая позволяет создавать 3D-модели объектов, проводить расчеты на прочность конструкций и оптимизировать процессы строительства.

Сапрон⁷ – программа для проектирования зданий и сооружений, которая позволяет создавать 3D-модели объектов, проводить расчеты на прочность конструкций и оптимизировать процессы строительства.

В Российской Федерации известны примеры успешной реализации архитектурно-проектных решений с использованием отечественных ТИМ ЖЦОС:

– строительство комплекса «Ледовый дворец» в Омске; использована BIM-система с инструментом реализации Renga для создания трехмерной модели объекта, а также проведения анализа прочности конструкций;

– реконструкция здания Министерства обороны РФ в Москве; использована BIM-система, реализованная в программе «ЛИРА САПР» для создания трехмерной модели здания и проведения анализа прочности конструкций;

– строительство жилого комплекса «Новое Тушино» в Москве; использована BIM-система, программный инструмент СКЛАД-ОФИС для создания трехмерной модели объекта, планирования производственных процессов и управления бюджетом проекта.

Зарубежные BIM / ТИМ ЖЦОС являются ведущими в мире и активно развиваются с 2000-х годов. Они представлены следующими BIM-системами (см. рис. 1.):

Autodesk Revit⁸ – американская BIM-система, которая позволяет создавать трехмерные модели объектов, проводить анализ прочности и теплотехнические расчеты, моделировать системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха, а также планировать технологию производственных процессов и управлять бюджетом проекта;

Bentley Systems⁹ – американская компания, которая предоставляет BIM-системы для различных отраслей, включая строительство, инфраструктуру, энергетику и др. Одной из наиболее популярных BIM-систем от Bentley Systems является AECOsim Building Designer. Bentley Microstation – программа для проектирования зданий и сооружений, которая позволяет создавать 3D-модели объектов, проводить расчеты на прочность конструкций, а также моделировать системы электроснабжения и связи;

ArchiCAD¹⁰ – BIM-система, разработанная венгерской компанией Graphisoft. Она позволяет создавать трехмерные модели объектов, а также проводить анализ прочности и теплотехнические расчеты;

Tekla Structures¹¹ – BIM-система, разработанная финской компанией Tekla Corporation. Она специализируется на проектировании и расчете конструкций из стали и бетона. Позволяет создавать 3D-модели объектов, проводить расчеты на прочность конструкций и оптимизировать процессы строительства;

⁶ Стройка-Профи. URL: <https://metallprofil.ru/shop/informatsiya/press-tsentr/stati/luchshie-programmy-dlya-proektirovaniya-domov/>

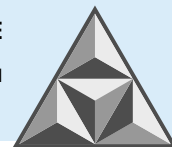
⁷ Сапрон. URL: <https://www.ivd.ru/dizajn-i-dekor/zagorodnyj-dom/10-luchsh-besplatnyh-programm-dla-proektirovania-domov-27181>

⁸ Autodesk Revit. URL: <https://www.autodesk.com/products/revit/overview>

⁹ Bentley Systems. URL: <https://www.bentley.com/>

¹⁰ ArchiCAD. URL: <https://www.graphisoft.com/archicad/>

¹¹ Tekla Structures. URL: <https://www.tekla.com/products/tekla-structures>



SketchUp¹² – программа для проектирования зданий и сооружений, которая позволяет создавать 3D-модели объектов, проводить расчеты на прочность конструкций и оптимизировать процессы строительства;

SAP2000¹³ – программа компании CSI (Computers and Structures, Inc.), которая предназначена для анализа и проектирования конструкций различных типов. Она позволяет моделировать конструкции из различных материалов – бетона, стали, дерева и др. SAP2000 также учитывает различные воздействия, такие как ветер, сейсмические нагрузки, температурные изменения и другие. Программа имеет широкий спектр функций, включая автоматическое создание моделей, анализ и оптимизацию конструкций, а также возможность проводить динамические расчеты;

ANSYS¹⁴ – программа компании ANSYS, Inc., которая предназначена для проведения комплексных расчетов и анализа конструкций различных типов. Она позволяет моделировать конструкции из различных материалов, а также учитывать различные воздействия, такие как ветер, сейсмические нагрузки, температурные изменения и другие. ANSYS имеет широкий спектр функций, включая возможность проводить статические и динамические расчеты, анализ факторов безопасности и оптимизацию конструкций;

Abaqus¹⁵ – программа компании Dassault Systèmes, которая предназначена для проведения комплексных расчетов и анализа конструкций различных типов. Она позволяет моделировать конструкции из различных материалов, а также учитывать различные воздействия, такие как ветер, сейсмические нагрузки, температурные изменения и другие. Abaqus имеет широкий спектр функций, включая возможность проводить статические и динамические расчеты, анализ факторов безопасности и оптимизацию конструкций;

LS-DYNA¹⁶ – программа компании Livermore Software Technology Corporation, которая предназначена для проведения динамических расчетов и анализа конструкций различных типов. Она позволяет моделировать конструкции из различных материалов, а также учитывать различные воздействия, такие как взрывы, удары и другие динамические нагрузки. LS-DYNA имеет широкий спектр функций, включая возможность проводить статические и динамические расчеты, анализ факторов безопасности и оптимизацию конструкций;

ETABS¹⁷ – программа компании CSI (Computers and Structures, Inc.), которая предназначена для анализа и проектирования зданий и сооружений. Она позволяет моделировать здания из различных материалов, таких как бетон, сталь, дерево и другие. ETABS учитывает различные воздействия, такие как ветер, сейсмические нагрузки, температурные изменения и другие. Программа имеет широкий спектр функций, включая автоматическое создание моделей, анализ и оптимизацию строительных конструкций, а также возможность проводить динамические расчеты.

Перечисленные программы применяются в различных проектах по всему миру. Они позволяют проводить комплексные расчеты и анализ строительных конструкций, учитывая множество факторов, которые могут повлиять на их прочность и надежность.

¹² SketchUp. URL: <https://www.sketchup.com/ru>

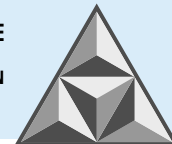
¹³ SAP2000. URL: <https://steel-concrete.ru/products/csi/sap2000/>

¹⁴ ANSYS. URL: <https://www.ansys.com/>

¹⁵ Abaqus. URL: https://tesis.com.ru/cae_brands/abaqus/

¹⁶ LS-DYNA. URL: <https://www.cadfem-cis.ru/products/ansys/structures/lstdyna/>

¹⁷ ETABS. URL: <https://steel-concrete.ru/products/csi/etabs/>



Примеры успешной реализации проектов с использованием зарубежных BIM ЖЦОС являются:

1. Строительство международного аэропорта Хэйхэ в Китае. В проекте использовалась BIM-система Autodesk Revit для создания трехмерной модели объекта и планирования производственных процессов.

2. Строительство моста Queensferry Crossing в Шотландии. В проекте использовалась BIM-система Tekla Structures для создания трехмерной модели моста и проведения анализа прочности конструкций.

3. Строительство офисного здания The Edge в Амстердаме. В проекте использовалась BIM-система Revit для создания трехмерной модели здания и планирования технологических производственных процессов.

Отечественные и зарубежные ТИМ ЖЦОС имеют свои преимущества и недостатки (табл. 1).

Таблица 1. Преимущества и недостатки отечественных и зарубежных технологий информационного моделирования жизненного цикла объектов строительства

Table 1. Advantages and disadvantages of domestic and foreign technologies for information modeling of the construction objects life cycle

ТИМ ЖЦОС	Преимущества	Недостатки
Отечественные	<ul style="list-style-type: none"> - российские стандарты и нормативы, учитывающие особенности отечественной строительной отрасли; - наличие русскоязычных интерфейсов и технической поддержки; - стоимость ниже, чем у зарубежных аналогов [9] 	<ul style="list-style-type: none"> - недостаточная функциональность по сравнению с зарубежными аналогами; - ограниченное количество интеграций с другими программами; - не всегда учитывается международный опыт и требования заказчиков
Зарубежные	<ul style="list-style-type: none"> - более широкий функционал, чем у отечественных аналогов; - большое количество интеграций с другими программами; - международный опыт и учет требований заказчиков 	<ul style="list-style-type: none"> - высокая стоимость по сравнению с отечественными аналогами; - не всегда учитывают особенности отечественной строительной отрасли; - не всегда доступны русскоязычные интерфейсы и техническая поддержка

В целом, для успешной адаптации зарубежных технологий к отечественным условиям информационного моделирования объектов строительства необходимо вести дополнительную работу по развитию учета национальных стандартов и правил проектирования, а также учитывать развитие отечественной строительной отрасли [8, 9].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Изученные примеры успешной реализации зарубежных и отечественных инструментов имитационного моделирования строительных конструкций, благодаря возможности создания виртуальной модели, были учтены авторами настоящей работы.

Применение инструментов осуществлено по следующим направлениям:

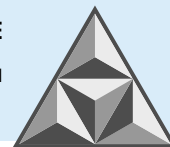
1. Проектирование и оптимизация строительных конструкций.

Создание точных и достоверных моделей конструкций, анализ их поведения в различных условиях в соответствии с [10], способствует снижению вероятности возникновения аварийных ситуаций и повышению безопасности эксплуатации.

2. Анализ поведения строительных конструкций в различных условиях: изменение нагрузок, температурных режимов или воздействие естественных стихийных явлений.

Такой подход способствует повышению качества строительной конструкции, эффективности ее эксплуатации.

3. Экономические расчеты и оптимизация затрат на строительство.



Такой подход, по аналогии с [11], способствует выбору эффективных материалов и технологий строительства.

4. Ускорение процесса проектирования и сокращение времени на разработку и испытание конструкции.

Подход предоставляет возможность анализировать результаты аналогично примеру, описанному в [12], без необходимости проведения физических испытаний.

На выбор инструментария имитационного моделирования строительных конструкций оказал влияние ряд следующих факторов:

1. Функциональные возможности программы; учтены наличие необходимых инструментов для создания и анализа моделей, возможность работы с различными типами конструкций и материалов.

2. Удобство использования и пользовательский интерфейс; разработана программа с понятным и интуитивно понятным интерфейсом, а также учтено наличие документации и обучающих материалов.

3. Стоимость программы и наличие бесплатных версий; проведено сопоставление с функциональностью и возможностями, а также учтены пробные периоды.

4. Наличие технической поддержки и обновлений; разработана программа с регулярными обновлениями и исправлением ошибок.

5. Качество результатов моделирования; разработана программа, позволяющая создавать точные и достоверные модели, которые могут быть использованы по примеру, описанному в [13], для прогнозирования результатов проектов.

6. Совместимость с другими программами и форматами файлов; разработана программа с различными форматами файлов, о чем обсуждалось в [14].

7. Наличие специализированных функций для конкретных задач в строительстве; разработана программа, предоставляющая инструменты для работы с конкретными типами конструкций и материалов, а также позволяющая решать специфические задачи в области строительства.

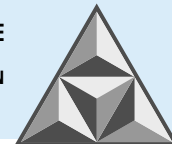
При выборе программы для имитационного моделирования строительных конструкций также учтены возможность применения для различных строительных конструкций, масштаб проекта и требования к точности моделирования, как это описано [15].

Разработанный программный продукт [16] является примером использования BIM-технологий на практике управления ЖЦОС в режиме энергоэффективной реализации, что отвечает требованиям национального стандарта России [17].

Программа предназначена для расчета распределения температур по толщине стенки трубопровода фреоновой контуры теплообменной системы строительного объекта. При этом предусмотрены возможные вариации толщины величины проводимости исследуемых слоев [18]. Такая программа позволяет оценить влияние теплообменных процессов, определяющих энергосберегающий эффект, затраты теплопереноса, тем самым поднимая производительность системы. Получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022666150 от 25 августа 2022 года [16].

Обобщая отечественный и зарубежный опыт реализации программ имитационного моделирования строительных конструкций, предлагается:

– продолжать развивать отечественные BIM / ТИМ ЖЦОС, учитывая особенности и динамику отечественной строительной отрасли, адаптируя национальные стандарты [17] и правила проектирования [19] к современным условиям, обучать специалистов с высоким уровнем квалификации работе с BIM-технологиями;



– создавать благоприятные условия для интеграции BIM-технологий с другими программами и системами управления проектами; развивать рынок современных услуг и учитывать конъюнктуру по созданию BIM-моделей, обеспечивая их поддержку на всех этапах жизненного цикла объекта строительства, как это описано в [2];

– продвигать использование BIM-технологий в государственных закупках и стимулировать их использование в решении задач.

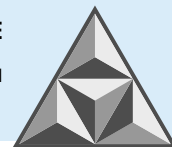
ВЫВОДЫ

Разработан новый продукт для имитационного моделирования строительных конструкций зданий и сооружений, позволяющий оценить влияние теплообменных процессов, энергосберегающий эффект и затраты на теплоперенос и оказать тем самым положительное влияние на производительность системы.

В результате анализа отечественного и зарубежного опыта реализации программ имитационного моделирования строительных конструкций предлагается продолжать создавать условия для интеграции BIM-технологий с другими программами и системами управления и продвигать стимулирование к использованию таких технологий в системе государственных закупок.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. **Абакумов Р.Г., Наумов А.Е., Зобова А.Г.** Преимущества, инструменты и эффективность внедрения технологий информационного моделирования в строительстве // *Вестник ВГТУ им. В.Г. Шухова*. 2017. № 5. С. 171- 181. DOI: 0.12737/article_590878fb8be5f0.72456616.
2. **Карпунин В.Г. Голубева Е.А.** Компьютерное моделирование строительных конструкций зданий и сооружений // *Известия вузов: Архитектон*. 2019. № 4 (68). С. 17-27.
3. **Радзюкевич А.В., Козлов Г.В.** Виртуальное моделирование физических процессов как новый инструмент архитектурного формообразования // *Architecture and Modern Information Technologies*. 2012. № 4 (21). С. 1-12.
4. **Талапов В.В.** Технология BIM: суть и особенности внедрения информационного моделирования зданий. М.: ДМК Пресс, 2015. 410 с.
5. **Табунщиков Ю.А.** Умные технологии энергопотребления умных городов // *Конференция Наука, образование и экспериментальное проектирование в МАРХИ : тезисы докладов международной научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава, молодых ученых и студентов*. 2019. Т. 2. С. 458-459.
6. **Табунщиков Ю.А.** Математическое моделирование – универсальный инструмент управления теплоэнергопотреблением здания // *АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика*. 2018. № 6. С. 26-35.
7. **Савин М.А.** Роль информационного моделирования зданий в инвестиционной безопасности в строительстве // *Строительство и архитектура 2022 : материалы международной научно-практической конференции факультета промышленного и гражданского строительства*. ДГТУ, 2022. С. 18-20.
8. **Талапов В.В.** Анализ опыта внедрения информационного моделирования в Великобритании // *Баландинские чтения*. 2019. Т. 14, № 1. С. 89-93.
9. **Манжилевская С.Е., Давыдов М.А.** Применение энергоэффективных технологических решений при возведении зданий // *Строительство и архитектура 2022 : материалы международной научно-практической конференции факультета промышленного и гражданского строительства*. ДГТУ, 2022. С. 233-236.
10. **Талапов В.В.** Информационная модель – основа «Умного города» // *САПР и ГРАФИКА*. 2018. № 11 (265). С. 4-7.
11. **Козлова Т.И., Талапов В.В., Романова Л.С.** Информационное моделирование зданий: опыт применения в реконструкции и реставрации // *САПР и ГРАФИКА*. 2009. № 8(154). С. 4-7.



12. **Гирия Л.В., Осокин И.Б.** Положительные стороны применения BIM в проектах организации строительства // *Строительство и архитектура 2022 : материалы международной научно-практической конференции факультета промышленного и гражданского строительства*. ДГТУ, 2022. С. 22-24.
13. **Каган П.Б.** Аналитические исследования больших массивов данных в строительстве // *Промышленное и гражданское строительство*. 2018. № 3. С. 80-84.
14. **Корреа Ф.Р.** Достаточно ли большой BIM, чтобы воспользоваться преимуществами аналитики больших данных? URL: https://stroy-synchro.ru/news_oqtc_6_134/ (Дата обращения 07.04.2023).
15. **Авдеев А.С.** Разработка системы автоматизации жилых и офисных помещений «Умный дом» // *Катановские чтения - 2014 : сборник научных трудов студентов*. Абакан: ХГУ им. Н.Ф. Катанова, 2014. С. 142-143.
16. **Федосов С.В., Федосеев В.Н., Зайцев И.С., Воронов В.А., Блинов О.В., Зайцева И.А.** Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2022666150 РФ; опублик. 25.08.2022.
17. ГОСТ Р 57193-2016. Национальный стандарт Российской Федерации. Системная и программная инженерия. Процессы жизненного цикла систем. Systems and software engineering. System life cycle processes.
18. **Федосов С.В., Федосеев В.Н., Воронов В.А.** Численно-аналитический метод сведения задач нестационарной теплопроводности с граничными условиями III рода к задачам с условиями I рода // *Строительные материалы*. 2022. № 12. С. 59-62. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-809-12-59-62>.
19. **Яценюк Т.В., Султангузин И.А., Кругликов Д.А., Яворовский Ю.В., Христенко Б.А., Чайкин В.Ю.** BIM – моделирование для жизненного цикла здания: реалии современности и потребности развития в России // *Сантехника, отопление, кондиционирование*. 2021. № 2 (230). С. 30-39.

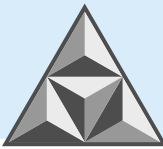
Поступила в редакцию 20.04.2023

Одобрена после рецензирования 16.06.2023

Принята к опубликованию 21.06.2023

REFERENCES

1. **Abakumov, R.G., Naumov, A.E. & Zobova A.G.** (2017) Advantages, tools and efficiency of the introduction of information modeling technologies in construction, *Vestnik BGTU im. V.G. Shukhova*, 5, pp. 171-181 (in Russian).
2. **Karpunin, V.G. & Golubeva, E.A.** (2019) Computer modeling of building structures of buildings and structures, *Izvestiya Vuzov: Architecton*, 4(68), pp. 17-27 (in Russian).
3. **Radzyukevich, A.V. & Kozlov, G.V.** (2012) Virtual modeling of physical processes as a new tool for architectural shaping, *Architecture and Modern Information Technologies*. 4(21), pp.1-12 (in Russian).
4. **Talapov, V.V.** *BIM technology: the essence and features of the introduction of information modeling of buildings*. M.: DMK Press, 2015.
5. **Tabunshchikov, Yu.A.** (2019) Smart energy consumption technologies of smart cities, *Konferentsiya Nauka, obrazovaniye i eksperimentalnoye proyektirovaniye v MARKhI: Tezisy докладov mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii professorsko-prepodavatelskogo sostava. molodykh uchenykh i studentov.* (2), pp. 458-459 (in Russian).
6. **Tabunshchikov, Yu.A.** (2018) Mathematical modeling is a universal tool for managing heat and energy consumption of a building, *AVOK: Ventilyatsiya. otopeniye. konditsionirovaniye vozdukh. teplosnabzheniye i stroitel'naya teplofizika*, (6), pp. 26-35 (in Russian).
7. **Savin, M.A.** (2022) The role of building information modeling in investive safety in construction, *Stroitelstvo i arkhitektura 2022: Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii fakulteta promyshlennogo i grazhdanskogo stroitelstva*. DGTU, pp.18-20 (in Russian).
8. **Talapov, V.V.** (2019) Analysis of the experience of implementing information modeling in the UK, *Balandinskiye chteniya*. 14(1), pp.89-93 (in Russian).
9. **Manzhilevskaya, S.E. & Davydov, M.A.** (2022) Application of energy-efficient technological solutions in the construction of buildings, *Stroitelstvo i arkhitektura 2022: Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii fakulteta promyshlennogo i grazhdanskogo stroitelstva*. DGTU, pp. 233-236 (in Russian).



10. **Talapov, V.V.** (2018) The information model is the basis of the «Smart City», *SAPR i GRAFIKA*, 11(265), pp. 4-7 (in Russian).
11. **Kozlova, T.I., Talapov, V.V. & Romanova L.S.** (2009) Information modeling of buildings: experience of application in reconstruction and restoration, *SAPR i GRAFIKA*, 8(154), pp.4-7 (in Russian).
12. **Girya, L.V. & Osokin, I.B.** (2022) Positive aspects of the use of BIM in construction organization projects, *Stroitelstvo i arkhitektura 2022: Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii fakulteta promyshlennogo i grazhdanskogo stroitelstva*. DGTU, pp. 22-24.
13. **Kagan, P.B.** (2018) Analytical studies of large data arrays in construction, *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitelstvo*, (3), pp. 80-84 (in Russian).
14. **Correa, F.R.** *Is BIM big enough to take advantage of big data analytics?* [online]. Available at: https://stroy-synchro.ru/news_oqtc_6_134/ (Accessed 07.04.2023).
15. **Avdeev, A.S.** (2014) Development of automation system of residential and office premises «Smart house», *Katanovskiy chteniya - 2014: Sbornik nauchnykh trudov studentov*. Abakan: HGU im. N.F. Katanova, pp. 142-143 (in Russian).
16. **Fedosov, S.V., Fedoseev, V.N., Zaitsev I.S., Voronov V.A., Blinov, O.V. & Zaitseva, I.A.** Certificate of registration of the computer program No 2022666150, application 08.25.2022 (in Russian).
17. GOST R 57193-2016. *Is the national standard of the Russian Federation. System and software engineering. Processes of the life cycle of systems. Systems and software engineering. System life cycle processes.*
18. **Fedosov, S.V., Fedoseev, V.N. & Voronov, V.A.** (2022) Numerical-analytical method for reducing problems of unsteady thermal conductivity with boundary conditions of the III kind to problems with conditions of the I kind, *Stroitelnyye materialy*, (12), pp. 59-62. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-809-12-59-62> (in Russian).
19. **Yatsenyuk, T.V., Sultanguzin, I.A., Kruglikov, D.A., Yavorovsky, Yu.V., Khristenko, B.A. & Chaikin, V.Yu.** (2021) BIM modeling for the life cycle of a building: the realities of modernity and the needs of development in Russia, *Santekhnika. Otopleniye. Konditsionirovaniye*, 2(230), pp.30-39 (in Russian).

Received 20.04.2023

Approved after reviewing 16.06.2023

Accepted 21.06.2023