

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ
INFORMATION TECHNOLOGY AND TELECOMMUNICATIONS

УДК 721.02



DOI: 10.21822/2073-6185-2025-52-1-77-86

Оригинальная статья/Original article

Перспективы применения BIM для создания устойчивых и энергоэффективных зданий в различных климатических условиях

Малавараж Н.С. Деваража, А.А. Семенов

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет,
190005, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., 4, Россия

Резюме. Цель. Целью исследования является оценка перспектив применения технологий информационного моделирования для решения задач проектирования зданий и сооружений в неблагоприятных климатических условиях. **Метод.** Проанализировано влияние применения технологий информационного моделирования (BIM) на разработку устойчивых и энергоэффективных зданий. Описываются преимущества применения BIM-технологий в проектировании и строительстве, в том числе с применением технологии генеративного дизайна. Изложены этапы работы с BIM-моделями, описаны преимущества BIM-моделирования над традиционным моделированием. Раскрыты основные аспекты и задачи проектирования в сложных климатических условиях. Рассматривается пример энергоэффективного здания в сложных климатических условиях, построенного с использованием BIM. **Результат.** Разработан скрипт в среде визуального программирования Дупато, который позволяет учесть влияние неблагоприятных климатических условий (ветра) для конкретной местности. Скрипт дает возможность подобрать форму фасада и ориентацию здания в пространстве для минимизации неблагоприятного воздействия ветра. Данные, используемые для определения силы ветра и его направления в разное время года, берутся из файлов EPW. **Вывод.** Показана ключевая роль использования BIM-технологий при разработке устойчивых и энергоэффективных зданий в различных климатических условиях. Отмечается перспективность предложенного подхода и возможность дальнейшего развития исследований в области визуального программирования для проектирования энергоэффективных зданий.

Ключевые слова: BIM, моделирование, энергоэффективность здания, комплексное проектирование, климатические особенности.

Для цитирования: Малавараж Н.С. Деваража, А.А. Семенов. Перспективы применения BIM для создания устойчивых и энергоэффективных зданий в различных климатических условиях. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2025; 52(1):77-86. DOI:10.21822/2073-6185-2025-52-1-77-86

Prospects for applying bim to create sustainable and energy-efficient buildings in different climatic conditions

Malavarage N.S. Dewaraja, A.A. Semenov

Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering,
4 2ndKrasnoarmeyskaya St. 4, Saint Petersburg 190005, Russia

Abstract. Objective. The aim of the study is to assess the prospects for using building information modeling technologies to solve problems of designing buildings and structures in adverse climatic conditions. **Method.** The article analyzes the impact of using building information modeling (BIM) technologies on the development of sustainable and energy-efficient buildings. The advantages of using BIM technologies in design and construction, including the use of generative design technology, are described. The stages of working with BIM models are outlined, the advantages of BIM modeling over traditional modeling are described. The main aspects and tasks of designing in difficult climatic conditions are discussed. An example of an

energy-efficient building in difficult climatic conditions, built using BIM, is considered. **Result.** A script has been developed in the Dynamo visual programming environment, which allows taking into account the influence of adverse climatic conditions (wind) for a particular area. The script makes it possible to select the shape of the facade and the orientation of the building in space to minimize the adverse effects of the wind. The data used to determine the wind strength and its direction at different times of the year are taken from EPW files. **Conclusion.** The paper draws conclusions about the key role of using BIM technologies in developing sustainable and energy-efficient buildings in various climatic conditions. It notes the prospects of the proposed approach and the possibility of further development of research in the field of visual programming for designing energy-efficient buildings.

Keywords: BIM, modeling, building energy efficiency, integrated design, climate features

For citation: Malavarage N.S. Dewaraja, A.A. Semenov. Prospects for applying bim to create sustainable and energy-efficient buildings in different climatic conditions. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2025;52(1):77-86. (In Russ) DOI:10.21822/2073-6185-2025-52-1-77-86

Введение. Комплексное проектирование энергоэффективных зданий требует учета множества параметров, которые в традиционных системах проектирования часто не учитываются. Это усложняет оценку энергоэффективности проектов. BIM представляет собой перспективный метод для решения данной проблемы [1–3].

Технологии информационного моделирования (BIM) в строительстве представляют собой значительный шаг в эволюции отрасли, предлагая комплексный подход к управлению данными и процессами в проектах [4–8]. BIM объединяет данные о здании в единую высокодетализированную модель, включающую архитектурное проектирование, инженерные расчеты и сметную документацию, что позволяет специалистам более точно планировать, проектировать и эксплуатировать здания [9].

В работе [4] авторами формулируются основные преимущества и трудности, с которыми сталкиваются компании при интеграции этих технологий. Отдельно отмечается возможность взаимодействия различных специалистов в реальном времени и возможность обнаружения ошибок в проекте еще на стадии проектирования. К основным проблемам авторы относят финансовые затраты на обучение персонала и приобретение соответствующего программного обеспечения. Также выделяется сложность изменения устоявшихся рабочих процессов и необходимость качественной подготовки персонала для эффективного использования технологий.

Еще одно направление развития технологий, которое тесно связано с BIM, это генеративное проектирование [10–12]. В работе [12] авторами обсуждается применение данной технологии для решения различных инженерных задач. Основным преимуществом отмечается возможность создания эргономичных изделий. К недостаткам технологии авторы относят эстетические аспекты, необходимость ввода точных входных данных, ограничения в выборе материалов. Также в статье предлагается ряд рекомендаций для эффективного развития генеративного проектирования. В работе [11] подробно описывается использование программных комплексов, таких как Rhinoceros 3D, Grasshopper, Revit и Дунато в современном проектировании. Эти инструменты помогают архитекторам генерировать проектные решения, основанные на криволинейной геометрии. Авторами отмечается необходимость разработки новых алгоритмов и скриптов для обеспечения удобства и экономии материалов без потери прочности. Предложен алгоритм параметрического проектирования пандуса для маломобильных групп населения. Также перспективным направлением является развитие и применение технологий визуального программирования, дополняющих возможности программных комплексов информационного моделирования [13–15]. Такой подход основывается на использовании программных комплексов, таких как Autodesk Revit и платформа визуального программирования Dynamo [16–18].

В работе [13] авторами рассмотрены различные аспекты автоматизации разделов рабочей документации в системах автоматизированного проектирования, указаны программы, используемые для разработки конкретных разделов. Отмечается, что потребность в автоматизированном создании различных спецификаций и ведомостей выполняется с помощью встроенных функций Autodesk Revit. Однако, для создания развёрток, требуется применение среды визуального программирования Dynamo. В этом контексте выделяются ноды «Python Script» и «Object.Type», позволяющие обращаться к Revit на языке программирования Python. Приведены примеры использования данных инструментов для создания развёрток фасадов, что демонстрирует практическую применимость данного метода.

В работе [19] затрагиваются актуальные аспекты цифровизации архитектурного моделирования промышленных объектов, в первую очередь, за счет применения технологий искусственного интеллекта и машинного обучения. Исследование затрагивает задачи анализа существующих алгоритмов классификации трехмерных графов и разработки функционального подхода к машинному обучению для создания концептуального дизайна промышленных объектов. Методы, применяемые в работе, включают кластерную классификацию, кластеризацию на основе деревьев решений и алгоритмы глубокого обучения для классификации графов. Конечным результатом исследования стали разработанные рекомендации по применению алгоритмов глубокого обучения в проектировании трехмерных промышленных объектов.

Постановка задачи. Целью данной работы является оценка перспектив применения технологий информационного моделирования для решения задач проектирования зданий и сооружений в неблагоприятных климатических условиях.

Климатические условия играют важную роль в проектировании зданий, оказывая значительное влияние на выбор архитектурных решений, конструктивных элементов и инженерных систем. Разнообразие климатических зон требует индивидуального подхода к каждому проекту, чтобы обеспечить энергоэффективность и устойчивость здания. В зависимости от географического расположения, сооружения могут подвергаться разным нагрузкам, обусловленным особенностями климата, таким как экстремальные температуры, высокая влажность, сильные ветры и осадки.

В табл.1 отражены ключевые задачи и аспекты проектирования зданий в различных климатических зонах. Как видно из табл.1, в холодных климатических зонах проектирование зданий должно учитывать необходимость минимизации теплопотерь и обеспечения эффективного утепления. Особое внимание должно уделяться выбору материалов с высокими теплоизоляционными свойствами, а также проектированию эффективных систем отопления. В таких регионах часто используются многослойные конструкции стен и кровли, включающие теплоизоляционные слои, а также энергоэффективные оконные системы с низким коэффициентом теплопередачи [20].

В жарких климатических условиях, напротив, основной задачей проектировщиков является защита здания от перегрева и обеспечение эффективного охлаждения. Здесь особое значение приобретает ориентация здания, использование солнцезащитных устройств и материалов с высокой отражающей способностью. Системы кондиционирования и естественной вентиляции также играют важную роль в поддержании комфортных условий внутри здания, а проектирование зеленых крыш и фасадов может значительно снизить тепловую нагрузку и улучшить микроклимат вокруг здания [21].

Обеспечение защиты от влаги и плесени – главное требование к проектированию здания во влажном климате. В таких климатических условиях особенно важно правильно проектировать системы дренажа и гидроизоляции, а также выбирать материалы, устойчивые к воздействию влаги. Системы вентиляции должны обеспечивать эффективный воздухообмен для предотвращения конденсации и поддержания здорового микроклимата внутри помещений [20].

Таблица 1. Ключевые аспекты проектирования зданий в зависимости от климатических условий

Table 1. Key aspects of building design depending on climatic conditions

Климатические условия Climate conditions	Основные задачи проектирования Main design tasks	Ключевые аспекты проектирования Key design aspects
Холодный климат Cold climate	Минимизация теплопотерь и обеспечение эффективного утепления Minimizing heat loss and ensuring effective insulation	использование материалов с высокими теплоизоляционными свойствами; проектирование эффективных систем отопления; использование многослойных конструкций стен и кровли с теплоизоляционными слоями; использование энергоэффективных оконных систем с низким коэффициентом теплопередачи.
Жаркий климат Hot climate	Защита от перегрева и обеспечение эффективного охлаждения Protection from overheating and ensuring effective cooling	оптимальная ориентация здания для минимизации воздействия прямых солнечных лучей на основные поверхности; использование солнцезащитных устройств и материалов с высокой отражающей способностью; использование систем кондиционирования и естественной вентиляции; проектирование зеленых крыш и фасадов для снижения тепловой нагрузки и улучшения микроклимата.
Влажный климат Humid climate	Защита от влаги и плесени Protection from moisture and mold	проектирование систем дренажа и гидроизоляции; выбор материалов, устойчивых к воздействию влаги; системы вентиляции для эффективного воздухообмена, предотвращения конденсации и поддержания здорового микроклимата внутри помещений.
Сильные ветры и осадки Strong winds and precipitation	Устойчивость и безопасность сооружений Stability and safety of structures	усиление конструктивных элементов для обеспечения устойчивости к ветровым нагрузкам; использование прочных кровельных и фасадных систем; использование ветровых экранов и других защитных элементов; эффективные системы водоотведения и защиты от подтоплений.

Методы исследования. Современные технологии, включая информационное моделирование (ТИМ, BIM), позволяют учитывать климатические условия на всех этапах проектирования. С помощью BIM можно моделировать различные климатические сценарии и анализировать их влияние, что помогает принимать обоснованные проектные решения. Технологии информационного моделирования представляют собой набор инструментов и методов, которые объединяют все данные о здании в единую модель, включая архитектурное проектирование, инженерные расчеты и сметную документацию, и охватывают весь жизненный цикл здания. BIM позволяет не только точнее планировать и проектировать здания, но и эффективнее их эксплуатировать [22].

Процесс разработки информационной модели включает в себя создание архитектурной 3D-модели с высокой детализацией архитектурных решений; разработку инженерных и конструктивных моделей, в том числе выполнение расчетов нагрузок, создание чертежей и спецификаций; обязательную проверку моделей архитектурных и конструктивных решений на коллизии – наличие несостыковок и исправление ошибок; разработку проекта организации строительства: автоматическое составление календарного графика и логистических данных; обеспечение эксплуатации здания: использование информационной модели для управления объектом, контроля инженерных систем и предупреждения аварийных ситуаций [22].

Обсуждение результатов. Рассмотрим более детально одно из важных преимуществ BIM – возможность оптимизировать энергоэффективность зданий на всех этапах их жизненного цикла [23].

На этапе концептуального проектирования BIM позволяет архитекторам и инженерам выполнять сложные расчеты тепловых потоков, оценивать энергоэффективность различных вариантов планировочных решений, материалов и инженерных систем. Использо-

вание BIM-систем для анализа солнечной радиации, термической инерции и теплопередачи через строительные ограждающие конструкции позволяет определить оптимальную ориентацию здания, параметры остекления и типы изоляционных материалов. Это, в свою очередь, помогает снизить теплопотери зимой и уменьшить перегрев летом, что особенно важно для регионов с экстремальными климатическими условиями.

На этапе проектирования BIM-технологии обеспечивают интеграцию всех инженерных систем (отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха, освещения) в единую модель, что позволяет избежать ошибок и недоработок, связанных с несогласованностью различных проектных решений [24]. Более того, BIM-модели дают возможность провести имитацию различных сценариев эксплуатации здания и оптимизировать работу всех инженерных систем, чтобы снизить энергопотребление и эксплуатационные расходы.

Одним из наиболее значимых преимуществ BIM над традиционным проектированием для повышения энергоэффективности зданий является возможность проведения детализированных расчетов и анализа на основе реальных данных. Это включает в себя использование данных о местном климате, особенностях ландшафта и окружающей застройки. BIM-модели могут учитывать изменения погодных условий и сезонные колебания температур, что позволяет более точно прогнозировать энергопотребление здания в течение года. Применение BIM-технологий также важно на этапе эксплуатации здания. BIM-модели позволяют эффективно управлять объектом, проводя мониторинг состояния инженерных систем и оперативно реагируя на возникающие проблемы.

Например, интеграция BIM с системами автоматизации зданий (BAS) позволяет отслеживать потребление энергии в реальном времени, выявлять неэффективные участки и принимать меры по их оптимизации. Это приводит к снижению эксплуатационных затрат и продлению срока службы оборудования. Данные, собранные в процессе эксплуатации здания, могут быть использованы для анализа эффективности примененных решений и разработки новых, более устойчивых подходов к проектированию и строительству.

Обобщая вышесказанное, можно сделать вывод о том, что использование BIM на каждом этапе жизненного цикла здания способствует его энергоэффективности, начиная от концептуального проектирования и заканчивая эксплуатацией и мониторингом состояния инженерных систем. Применение BIM позволяет более точно прогнозировать энергопотребление, снижать эксплуатационные затраты и продлевать срок службы оборудования, обеспечивая высокий уровень комфорта и устойчивости зданий в различных климатических условиях.

Необходимо отметить, что BIM позволяет эффективно планировать и управлять ресурсами, необходимыми для строительства и эксплуатации здания. Точные расчеты объемов материалов и оборудования, а также оптимизация процессов строительства позволяют значительно сократить отходы и снизить затраты, моделировать и анализировать различные сценарии использования ресурсов, что способствует принятию более обоснованных решений. Примером энергоэффективного здания, построенного с использованием технологии BIM в условиях сложного климата, может послужить проектирование и строительство многофункционального комплекса «Лахта Центр» в Санкт-Петербурге. Участники проекта отмечают, что основным преимуществом BIM в данном случае была возможность работать в одной модели, независимо от географического положения участников. Проектирование и строительство небоскреба включало участие граждан из 18 стран, а общий штат сотрудников превышал 20 тысяч человек [26]. Облачные технологии на базе BIM-360 помогли синхронизировать работу архитекторов из разных стран и регионов России в единой модели. Стоит отметить, что при проектировании и строительстве «Лахта Центра» были учтены непростые климатические и географические особенности местности, а именно:

1. Близость к Финскому заливу, которая обусловила сильные ветра, слабость грунта и резкие перепады температуры.

2. Северное расположение здания. Подобные высокие здания ранее не строились в таком влажном климате и на такой широте. Для предотвращения образования льда на больших металлических поверхностях шпиля была разработана уникальная система антиобледенения, поскольку несколько месяцев в году 100-метровый шпиль будет находиться в зоне низких облаков, что увеличивает риск образования конденсата на фасадах.

В Лахта Центре используются передовые технологии для обеспечения энергоэффективности здания. В облицовке применен принцип «интеллектуального фасада»: воздушное пространство между слоями остекления обеспечивает теплоизоляцию и естественную вентиляцию, снижая тем самым расходы на отопление и кондиционирование [27]. В Лахта Центре применяются «охлаждающие балки», которые являются своеобразными радиаторами, расположенными в районе потолка, и естественное проветривание благодаря двойным фасадам в определенных частях здания. Это позволяет создать оптимальные условия для циркуляции свежего воздуха и естественной вентиляции внутри помещений [25].

Для еще большей энергоэффективности здание оснащено аккумуляторами холода, которые накапливают энергию в периоды минимальной нагрузки на электросеть и используют ее в периоды пиковой нагрузки. Это позволяет снизить потребление электроэнергии в пиковые часы до 15 %. В Лахта Центре установлены датчики присутствия, которые определяют активность людей в помещениях и автоматически управляют освещением, вентиляцией и лифтами [25]. Архитектурные и технические решения Лахта Центра во многих аспектах являются новаторскими не только для России, но и для всего мира. Сложнейшие проектные задачи удалось решить благодаря использованию передовых BIM-технологий, параметрического моделирования и визуального программирования. Подобным образом авторами данной работы предлагается решать поставленные задачи в области учета сложных климатических условий.

Одним из аспектов обеспечения энергоэффективности и комфортного проживания является снижение воздействия влияния ветра на здание, и, в том числе, на его внутреннюю территорию, если речь идет о здании сложной формы или жилком комплексе. Используя данные о действии ветров в определенной местности в течение года, можно проанализировать суммарное воздействие ветра и подобрать такую форму и ориентацию в пространстве для здания, чтобы снизить влияние неблагоприятных погодных условий.

Для достижения этой цели и автоматизации предлагаемого подхода был разработан скрипт в Дупано (среде визуального программирования для Revit), рис. 1.

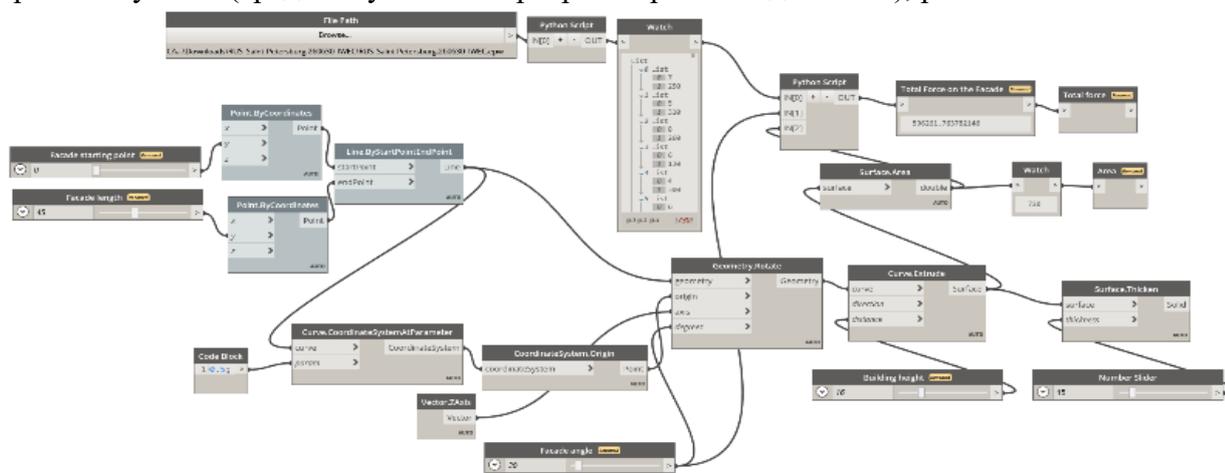


Рис. 1- Скрипт в Дупано для подбора ориентации здания в зависимости от ветрового воздействия

Fig. 1- Prospect for application to create installations and energy efficiency of buildings in different climate conditions

Данный скрипт позволяет получить данные из EPW-файлов, содержащих информацию о действии ветров в указанной местности (используются максимальные значения в течение каждого дня в году). Данные характеризуются не только скоростью ветра, но и его направлением. Вычисляя угол между этим направлением и ориентацией фасада здания, становится возможным определить, насколько сильное воздействие оказывается на фасад. Математическая составляющая скрипта реализуется на языке программирования Python, блоки кода которого можно использовать в Dymapo в специальных нодах.

Фрагмент такого скрипта, реализующего вычисление силы ветрового воздействия, показан на рис. 2.

```
1 import math
2 max_wind_data = IN[0] # Входные данные - список кортежей (скорость ветра, направление ветра)
3 facade_angle = IN[1] # Угол ориентации фасада (градусы от севера)
4 facade_area=IN[2]
5 rho = 1.225 # Плотность воздуха, кг/м³
6 A_fasad = facade_area # Площадь фасада, м²
7 Cd = 1.2 # Коэффициент аэродинамического сопротивления
8 def wind_force(v_max, alpha_wind, alpha_fasad):# Функция для расчета силы ветра за день
9     theta = abs(alpha_wind - alpha_fasad)
10    if theta > 90:
11        return 0
12    cos_theta = math.cos(math.radians(theta))
13    return 0.5 * rho * v_max**2 * A_fasad * Cd * cos_theta
14 total_wind_force_year = 0 # Инициализация переменной для суммирования силы ветра за год
15 for day_data in max_wind_data: # Расчет силы ветра для каждого дня и суммирование
16     v_max = day_data[0] # Максимальная скорость ветра за день (из списка кортежей)
17     alpha_wind = day_data[1] # Направление ветра за день (из списка кортежей)
18     total_wind_force_year += wind_force(v_max, alpha_wind, facade_angle)
19 OUT = total_wind_force_year
```

Рис. 2 - Скрипт определения ветрового воздействия в Python

Fig. 2 - Script for determining wind impact in Python

На основании полученных подобным образом данных становится возможным подобрать оптимальную с точки зрения минимизации ветрового воздействия форму и ориентацию здания в пространстве (рис. 3).

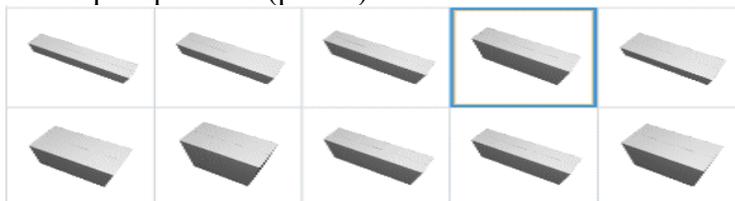


Рис. 3 - Выбор варианта формы здания по результатам моделирования

Fig. 3 - Selecting a building shape option based on the modeling results

Разработка данного скрипта позволила учесть влияние неблагоприятных климатических условий (ветра) для конкретной местности. Дальнейшее развитие предложенного подхода позволит учесть и другие климатические факторы, значительно облегчить работу проектировщика, а также позволит разработать рекомендации на основе компьютерного моделирования проектных решений.

Вывод. Технологии информационного моделирования зданий существенно упрощают процесс проектирования энергоэффективных зданий. Помимо общеизвестных преимуществ BIM, следует отметить возможность проведения концептуального анализа энергоэффективности уже на ранних этапах проектирования, что способствует принятию обоснованных решений. BIM-модели позволяют рассматривать различные варианты размещения оборудования и систем, выбирая оптимальные решения с точки зрения энергоэффективности. В условиях разнообразных климатических зон России использование BIM позволяет адаптировать проектные решения к конкретным климатическим условиям, обеспечивая энергоэффективность зданий в различных регионах. Важным также является активное развитие технологий генеративного дизайна, которые дают возможность перебирать большое количество проектных решений, учитывая широкий спектр входных параметров. Дальнейшие исследования авторов будут направлены на разработку методик и инструментария для учета различных климатических параметров при разработке информационных моделей.

Благодарности. Данная работа выполнена в рамках реализации Инновационного образовательного проекта «Инновационная методика формирования цифровых профессиональных компетенций обучающихся и специалистов строительной отрасли» на базе Федеральной инновационной площадки ФГБОУ ВО СПбГАСУ.

Acknowledgments. This work was carried out within the framework of the implementation of the Innovative educational project "Innovative methodology for the formation of digital professional competencies of students and specialists in the construction industry" on the basis of the Federal Innovation Platform of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education SPbGASU.

Библиографический список:

1. Andreani M., Bertagni S., Biagini C., Mallo F. 7D BIM for Sustainability Assessment in Design Processes: A Case Study of Design of Alternatives in Severe Climate and Heavy Use Conditions // *Architecture and Engineering*. 2019. Vol. 4. No. 2. P. 3–12. DOI: 10.23968/2500-0055-2019-4-2-3-12. EDN: YYNSQL.
2. Nurulla S., Purushotham D.V., Yuvaraj M.S., Kiran Sai S. Energy Efficient Design for a Conventional Building using BIM Tools // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2023. Vol. 1280. No. 1. P. 012030. DOI: 10.1088/1755-1315/1280/1/012030. EDN: SQINIK.
3. Pezeshki Z., Ivani S.A.S. Applications of BIM: A Brief Review and Future Outline // *Archives of Computational Methods in Engineering*. 2018; 25:273–312. DOI:10.1007/s11831-016-9204-1. EDN: CVHWMN.
4. Бекирова О.Н., Малютин А.Н. Преимущества использования и трудности внедрения BIM-технологий в современном строительстве // *Управление строительством*. 2019. № 3(16). С. 110–119. EDN: KGLHGE.
5. Заторский С.П., Шумилов К.А., Семенов А.А. Организация процесса комплексного BIM-проектирования технологических объектов // *Жилищное строительство*. 2024. № 1–2. С. 72–79. DOI: 10.31659/0044-4472-2024-1-2-72-79. EDN: EAMGGI.
6. Рыбакова А.О., Якубович А.М. Тенденции развития технологии информационного моделирования зданий // *Наука и бизнес: пути развития*. 2020. № 12(114). С. 136–138. EDN: CJYYPY.
7. Toan N.Q., Tam N.V., Diep T.N., Anh Ph.X. Adoption of Building Information Modeling in the Construction Project Life Cycle: Benefits for Stakeholders // *Architecture and Engineering*. 2022. Vol. 7. No. 1. P. 56–71. DOI: 10.23968/2500-0055-2022-7-1-56-71. EDN: GJOGSA.
8. Бовтеев С.В. Современное состояние и перспективы применения 4D-моделирования в российской практике строительства // *Вестник гражданских инженеров*. 2023. № 2 (97). С. 65–74. DOI: 10.23968/1999-5571-2023-20-2-65-74. EDN: PCQSAJ.
9. Кузина О.Н. Информационное моделирование стоимости объекта строительства на каждом этапе жизненного цикла // *Научно-технический вестник Поволжья*. 2019. № 1. С. 107–111. EDN: YXGDVZ.
10. Кривенко А.А., Моор В.К., Гаврилов А.Г. Генеративное проектирование как средство формирования архитектурных объектов // *Архитектура и дизайн: история, теория, инновации*. 2017. № 2. С. 203–206. EDN: YYZDLR.
11. Матюхина М.А., Игнатова Е.В. Генеративный дизайн в малых архитектурных формах на примере пандуса для маломобильных групп населения // *Строительное производство*. 2021. № 2. С. 81–86. DOI: 10.54950/26585340_2021_2_81. EDN: AMXMJN.
12. Берсанов М.Д.А., Джабраилов З.А., Магомедов И.А. Генеративное проектирование и его недостатки в инженерном проектировании // *Тенденции развития науки и образования*. 2023. № 99–7. С. 161–163. DOI: 10.18411/trnio-07-2023-406. EDN: PWNVBF.
13. Машкин А.А., Талипова Л.В., Киселев С.В. Применение генеративного проектирования при формировании объемно-планировочных решений объектов строительства // *Неделя науки ИСИ: Сборник материалов Всероссийской конференции*. СПб.: ФГАОУ ВО СПбПУ Петра Великого, 2023. Т. 2. С. 83–85. EDN: GMHGCZ.
14. Shishina D., Sergeev P. REVIT | DYNAMO: Designing Objects of Complex Forms. Toolkit and Process Automation Features // *Architecture and Engineering*. 2019. Vol. 4. No. 3. P. 30–38. DOI: 10.23968/2500-0055-2019-4-3-30-38. EDN: UNIECE.
15. Семенов А.А., Литвинов П.В. Применение Динамо для преобразования физических форм в аналитические в программном комплексе Revit // *Новые информационные технологии в архитектуре и строительстве: материалы VI Международной научно-практической конференции*. Екатеринбург: УрГАХУ им. Н.С. Алфёрова, 2023. С. 69. EDN: IBWQBG.

16. Cho J., Kim C., Song Y., Kang J., Yeon J. Lumped record management method using BIM and dynamo for spalling maintenance // *Automation in Construction*. 2024. Vol. 160. P. 105324. DOI: 10.1016/j.autcon.2024.105324. EDN: JQAQMA.
17. Khan H. Microclimatic architectural design by interfacing grasshoppers and Dynamo with Rhino and Revit // *Measurement: Sensors*. 2024. Vol. 33. P. 101143. DOI: 10.1016/j.measen.2024.101143. EDN: EKJQEF.
18. Mikhailov S., Mikhailova A., Nadyrshina N., Nadyrshina L. BIM-technologies and digital modeling in educational architectural design // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 890. P. 012168. DOI: 10.1088/1757-899X/890/1/012168. EDN: RCNIBS.
19. Меркушев К.А., Шабиев С.Г. Проблемы цифровизации архитектурного моделирования промышленных объектов // *Архитектура, градостроительство и дизайн*. 2021. № 4 (30). С. 29–37. EDN: QXSSRE.
20. Алоян Р.М., Федосов С.В., Опарина Л.А. Энергоэффективные здания – состояние, проблемы и пути решения. Иваново: ПресСто, 2016. 276 с.
21. Онкаев В.А., Серпокрьлов Н.С., Бадрудинова А.Н., Джальчинова Т.Б., Кедеева О.Ш. Влияние климатических условий на проектирование и строительство зданий и сооружений в Республике Калмыкия // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. 2022. Т. 24. № 2. С. 95–105. DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-2-95-105. EDN: FOXBBG.
22. Azhar S., Carlton W.A., Olsen D., Ahmad I. Building information modeling for sustainable design and LEED® rating analysis // *Automation in Construction*. 2011. Vol. 20. No. 2. P. 217–224. DOI: 10.1016/j.autcon.2010.09.019.
23. Гинзбург А.В. BIM-технологии на протяжении жизненного цикла строительного объекта // *Информационные ресурсы России*. 2016. № 5(153). С. 28–31. EDN: WTQPPH.
24. Целищева В.К., Якупова А.Ш., Суханов К.О. Использование энергетического моделирования для повышения энергоэффективности здания // *BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: материалы VI Международной научно-практической конференции*. Под общ. ред. А.А. Семенова. СПб.: СПбГАСУ, 2023. С. 395–401. DOI: 10.23968/BIMAC.2023.055. EDN: FZXHFG.
25. Илюхина Е.А., Лахман С.И., Миллер А.Б., Травуш В.И. Конструктивные решения высотного здания «Лахта Центр» в Санкт-Петербурге // *Academia. Архитектура и строительство*. 2019. № 3. С. 110–121. DOI: 10.22337/2077-9038-2019-3-110-121. EDN: MLORRC.
26. URL: <https://1build.ru/technologies/lahta-czentr/> (дата обращения: 08.06.2024)
27. URL: <https://lenta.ru/articles/2016/06/29/zamki/> (дата обращения: 08.06.2024)

References:

1. Andreani M., Bertagni S., Biagini C., Mallo F. 7D BIM for Sustainability Assessment in Design Processes: A Case Study of Design of Alternatives in Severe Climate and Heavy Use Conditions. *Architecture and Engineering*. 2019; 4(2):3–12. DOI: 10.23968/2500-0055-2019-4-2-3-12. EDN: YYNSQL.
2. Nurulla S., Purushotham D.V., Yuvaraj M.S., Kiran Sai S. Energy Efficient Design for a Conventional Building using BIM Tools *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2023;1280(1): 012030. DOI: 10.1088/1755-1315/1280/1/012030. EDN: SQINIK.
3. Pezeshki Z., Ivari S.A.S. Applications of BIM: A Brief Review and Future Outline. *Archives of Computational Methods in Engineering*. 2018;25:273–312. DOI: 10.1007/s11831-016-9204-1. EDN: CVHWMN.
4. Bekirova O.N., Malyutina A.N. Advantages of Using and Difficulties of Implementing BIM Technologies in Modern Construction. *Construction Management*. 2019;3(16):110–119. EDN: KGLHGE (In Russ)
5. Zatorskiy S.P., Shumilov K.A., Semenov A.A. Organization of the process of integrated BIM design of technological facilities. *Housing construction*. 2024;1–2:72–79. DOI: 10.31659/0044-4472-2024-1-2-72-79. EDN: EAMGGI. (In Russ)
6. Rybakova A.O., Yakubovich A.M. Trends in the development of building information modeling technology. *Science and business: development paths*. 2020;12(114):136–138. EDN: CJYYPY. (In Russ)
7. Toan N.Q., Tam N.V., Diep T.N., Anh Ph.X. Adoption of Building Information Modeling in the Construction Project Life Cycle: Benefits for Stakeholders. *Architecture and Engineering*. 2022;7(1):56–71. DOI: 10.23968/2500-0055-2022-7-1-56-71. EDN: GJOGSA. (In Russ)
8. Bovteev S.V. Current State and Prospects of Applying 4D Modeling in Russian Construction Practice. *Bulletin of Civil Engineers*. 2023;2(97):65–74. DOI: 10.23968/1999-5571-2023-20-2-65-74. EDN: PCQSAJ. (In Russ)
9. Kuzina O.N. Information modeling of the cost of a construction project at each stage of its life cycle. *Scientific and Technical Bulletin of the Volga Region*. 2019;1:107–111. EDN: YXGDVZ. (In Russ)
10. Krivenko A.A., Moor V.K., Gavrillov A.G. Generative design as a means of forming architectural objects. *Architecture and design: history, theory, innovation*. 2017; 2:203–206. EDN: YYZDLR. (In Russ)
11. Matyukhina M.A., Ignatova E.V. Generative design in small architectural forms using the example of a ramp for people with disabilities. *Construction production*. 2021;2:81–86. DOI: 10.54950/26585340_2021_2_81. EDN: AMXMJN. (In Russ)

12. Bersanov M.D.A., Dzhabrailov Z.A., Magomedov I.A. Generative design and its shortcomings in engineering design. *Trends in the Development of Science and Education*. 2023;99–7:161–163. DOI: 10.18411/trnio-07-2023-406. EDN: PWNVBF. (In Russ)
13. Mashkin A.A., Talipova L.V., Kiselev S.V. Application of generative design in the formation of space-planning solutions for construction projects. *ISI Science Week: Collection of materials of the All-Russian conference*. SPb.: FGAOU VO SPbPU Petra Velikogo, 2023; 2: 83–85. EDN: GMHGCZ. (In Russ)
14. Shishina D., Sergeev P. REVIT | DYNAMO: Designing Objects of Complex Forms. Toolkit and Process Automation Features. *Architecture and Engineering*. 2019;4:3:30–38. DOI: 10.23968/2500-0055-2019-4-3-30-38. EDN: UHIECE.
15. Semenov A.A., Litvinov P.V. Application of Dynamo for converting physical forms into analytical ones in the Revit software package. *New information technologies in architecture and construction: materials of the VI International scientific and practical conference*. Ekaterinburg: USAU named after N.S. Alferova, 2023:69. EDN: IBWQBG. (In Russ)
16. Cho J., Kim C., Song Y., Kang J., Yeon J. Lumped record management method using BIM and dynamo for spalling maintenance. *Automation in Construction*. 2024;160:105324. DOI: 10.1016/j.autcon.2024.105324. EDN: JQAQMA.
17. Khan H. Microclimatic architectural design by interfacing grasshoppers and Dynamo with Rhino and Revit. *Measurement: Sensors*. 2024;33:101143. DOI: 10.1016/j.measen.2024.101143. EDN: EKJQEF.
18. Mikhailov S., Mikhailova A., Nadyrshina N., Nadyrshina L. BIM-technologies and digital modeling in educational architectural design. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020; 890: 012168. DOI: 10.1088/1757-899X/890/1/012168. EDN: RCNIBS.
19. Merkushev K.A., Shabiev S.G. Problems of digitalization of architectural modeling of industrial facilities. *Architecture, urban planning and design*. 2021; 4 (30): 29–37. EDN: QXSSRE. (In Russ)
20. Aloyan R.M., Fedosov S.V., Oparina L.A. Energy-efficient buildings - status, problems and solutions. *Ivanovo: PresSto*, 2016;276. (In Russ)
21. Onkaev V.A., Serpokrylov N.S., Badrudinova A.N., Dzhalchinova T.B., Kedeeva O.Sh. Influence of climatic conditions on the design and construction of buildings and structures in the Republic of Kalmykia. *Bulletin of Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering*. 2022;24(2):95–105. DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-2-95-105. EDN: FOXBBG. (In Russ)
22. Azhar S., Carlton W.A., Olsen D., Ahmad I. Building information modeling for sustainable design and LEED rating analysis. *Automation in Construction*. 2011;20(2):17–224. DOI: 10.1016/j.autcon.2010.09.019. (In Russ)
23. Ginzburg A.V. BIM technologies throughout the life cycle of a construction project. *Information resources of Russia*. 2016; 5(153): 28–31. EDN: WTQPPH. (In Russ)
24. Tselishcheva V.K., Yakubova A.Sh., Sukhanov K.O. Using energy modeling to improve building energy efficiency. *BIM modeling in construction and architecture: Proc. of the VI International scientific and practical conference*. Under the general editorship of ed. A. A. Semenov. SPb.: SPbGASU, 2023;395–401. DOI: 10.23968/BIMAC.2023.055. EDN: FZXHFG. (In Russ)
25. Pyukhina E.A., Lakhman S.I., Miller A.B., Travush V.I. Structural solutions for the Lakhta Center high-rise building in St. Petersburg. *Academia. Architecture and Construction*. 2019;3:110–121. DOI: 10.22337/2077-9038-2019-3-110-121. EDN: MLORRC. (In Russ)
26. URL: <https://1build.ru/technologies/lahta-czentr/> (дата обращения: 08.06.2024) (In Russ)
27. URL: <https://lenta.ru/articles/2016/06/29/zamki/> (дата обращения: 08.06.2024) (In Russ)

Сведения об авторах:

Деваража Малавараж Навинду Сачинтха, аспирант кафедры информационных систем и технологий; dmns94@gmail.com

Семенов Алексей Александрович, доктор технических наук, профессор кафедры информационных систем и технологий; sw.semenov@gmail.com.

Information about authors:

Malavarage N.S. Dewaraja, Post-graduate Student, Department of Information Systems and Technologies; dmns94@gmail.com

Alexey A. Semenov, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Department of Information Systems and Technologies; sw.semenov@gmail.com.

Конфликт интересов/Conflict of interest.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов/The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию/ Received 04.10.2024.

Одобрена после рецензирования / Revised 27.11.2024.

Принята в печать /Accepted for publication 11.01.2025.