

Василенко Софья Витальевна
Кубанский государственный технологический университет
Выпринцева Виолетта Денисовна
Кубанский государственный технологический университет
Гулякин Дмитрий Владимирович
Кубанский государственный технологический университет

Социально-экономический эффект внедрения BIM-технологий для координации экспериментальных исследований в строительстве

Аннотация. В статье рассматривается эффект внедрения BIM-технологий для координации экспериментальных теплотехнических и климатических исследований в строительстве. Показано, что традиционные подходы к организации экспериментальных исследований фасадных систем характеризуются фрагментарностью данных, сложностью их сопоставления и высокой зависимостью от человеческого фактора. В качестве объекта исследования рассмотрены фасадные системы зданий, функционирующие в условиях климатического воздействия, а предметом — методы координации экспериментальных данных с использованием BIM-технологий. Обоснована возможность применения BIM-модели в качестве единой информационной среды для интеграции результатов теплотехнических испытаний, климатических наблюдений и натурных обследований с их привязкой к конструктивным элементам фасада. Установлено, что использование BIM способствует повышению достоверности интерпретации экспериментальных результатов, улучшению сопоставимости расчётных и экспериментальных данных, а также обеспечению воспроизводимости исследований. Показан организационный и экономический эффект BIM-ориентированной координации экспериментов, выражающийся в снижении трудоёмкости обработки данных и повышении эффективности научно-исследовательских работ. Отмечен потенциал масштабирования предложенного подхода и его применения при развитии цифровых двойников фасадных систем.

Ключевые слова: BIM-технологии, информационное моделирование зданий, экспериментальные исследования, фасадные системы, теплотехнические испытания, климатические исследования, ограждающие конструкции, координация данных, строительная физика.

Vasilenko Sofya Vitalievna
Kuban State University of Technology
Vyprintseva Violetta Denisovna
Kuban State University of Technology
Gulyakin Dmitry Vladimirovich
Kuban State University of Technology

The socio-economic impact of implementing BIM technologies for coordinating experimental research in construction

Abstract. The article examines the effect of the introduction of BIM technologies for the coordination of experimental thermal engineering and climate research in construction. It is shown that traditional approaches to the organization of experimental studies of facade systems are characterized by fragmented data, the complexity of their comparison and high dependence on the human factor. The facade systems of buildings operating under climatic conditions are considered as the object of research, and methods of coordinating experimental data using BIM technologies are considered as the subject. The possibility of using the BIM model as a unified information

environment for integrating the results of thermal engineering tests, climatic observations and field surveys with their binding to the structural elements of the facade is substantiated. It has been established that the use of BIM contributes to increasing the reliability of the interpretation of experimental results, improving the comparability of calculated and experimental data, as well as ensuring the reproducibility of research. The organizational and economic effect of BIM-oriented coordination of experiments is shown, which is expressed in reducing the complexity of data processing and increasing the efficiency of research. The potential of scaling the proposed approach and its application in the development of digital counterparts of facade systems is noted.

Keywords: BIM technologies, building information modeling, experimental research, facade systems, thermal engineering tests, climate research, enclosing structures, data coordination, building physics.

Введение.

В условиях цифровой трансформации строительной отрасли особую актуальность приобретает внедрение информационных технологий, направленных на повышение эффективности проектирования, строительства и научных исследований. Одной из ключевых технологий, определяющих современное развитие строительной науки и практики, являются BIM-технологии (Building Information Modeling), обеспечивающие создание и использование единой информационной модели объекта строительства на всех этапах его жизненного цикла.

Экспериментальные исследования в строительстве играют важную роль в подтверждении расчётных моделей, оценке эксплуатационных характеристик конструкций и материалов, а также в разработке новых инженерных решений. Однако традиционные подходы к организации и координации экспериментальных исследований часто характеризуются фрагментарностью данных, сложностью взаимодействия между участниками и высокой вероятностью ошибок, связанных с несогласованностью информации.

Внедрение BIM-технологий создаёт предпосылки для формирования единой цифровой среды, в которой результаты экспериментальных исследований могут быть интегрированы в информационную модель объекта, обеспечивая их согласованность, наглядность и повторяемость. Это позволяет не только повысить качество самих исследований, но и сократить временные и ресурсные затраты на их проведение и анализ.

Целью данной работы является анализ эффекта внедрения BIM-технологий для координации экспериментальных исследований в строительстве и оценка их влияния на эффективность научно-технических процессов.

Для достижения поставленной цели в статье решаются следующие задачи:

- анализ современного состояния применения BIM-технологий в строительстве;
- выявление проблем координации экспериментальных исследований при традиционных подходах;
- определение основных эффектов внедрения BIM для организации и управления экспериментальными данными;
- формирование направлений дальнейшего развития BIM-ориентированных исследований в строительстве.

Объектом исследования являются фасадные системы зданий как ограждающие конструкции, функционирующие в условиях климатического воздействия.

Предметом исследования являются методы координации теплотехнических и климатических экспериментальных данных фасадных систем с использованием BIM-технологий.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- BIM-технологии рассмотрены как инструмент координации экспериментальных теплотехнических и климатических исследований фасадных систем, а не только как средство проектирования;

– предложен подход к интеграции результатов экспериментальных измерений в информационную модель фасада с привязкой к конструктивным элементам и климатическим условиям;

– обоснован эффект внедрения ВИМ-технологий, выражающийся в повышении достоверности, наглядности и воспроизводимости экспериментальных исследований фасадов.

Практическая значимость работы заключается в возможности использования предложенного подхода при проведении натуральных и лабораторных теплотехнических и климатических исследований фасадных систем, а также при анализе энергетической эффективности зданий на этапах эксплуатации и реконструкции.

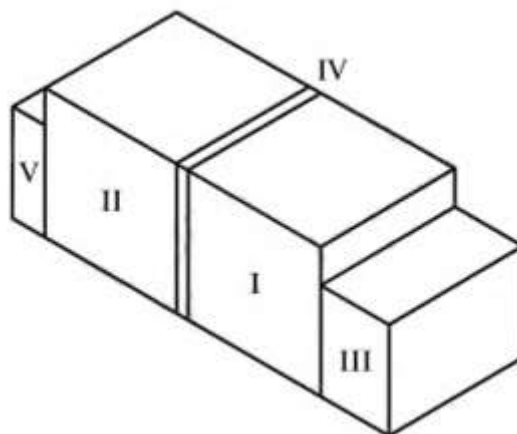
1. Анализ существующих подходов.

Для теплотехнических испытаний фасадов используют разные методы, которые могут включать использование климатической камеры, тепловизионный метод, метод теплового потока и лабораторные исследования.

Метод климатической камеры

Применяется для создания стационарного градиента температуры между наружной и внутренней поверхностями испытуемого образца. Некоторые особенности метода:

– Камера имеет тёплое и холодное отделения, перегородку с проёмом для установки образца и помещение оператора, где располагаются средства измерений.



I — теплое отделение камеры. II — холодное отделение камеры; III — помещение оператора IV — испытательных проем; V — машинное отделение

Рисунок 1 — Принципиальная схема устройства климатической камеры для испытаний КФС

– Наружную поверхность образца ориентируют в холодное отделение камеры, внутреннюю — в тёплое.

– При испытаниях горизонтально ориентированных образцов или образцов с углами наклона менее 60° изготавливают дополнительный силовой каркас, имитирующий систему крепления и монтажа ограждающей конструкции.

– Длительность работы камеры выбирают из условий вероятного выхода конструкции на стационарный режим, но не менее 8 часов [1].

Метод теплового потока

Например, метод определения теплопроводности теплоизоляционных материалов. Образцы материала (например, в виде квадратных пластин) высушивают в лабораторном сушильном шкафу до постоянной массы. Затем определяют теплопроводность образцов при той влажности, при которой они были доставлены на испытания, — эксплуатационную теплопроводность [2].

Тепловизионный метод

Тепловизионный метод — метод проведения теплотехнических испытаний фасадов, основанный на дистанционном измерении тепловизором температурного поля на

поверхности ограждающих конструкций, между внутренними и наружными сторонами которых существует перепад температуры.

Цель метода — выявить дефекты в виде областей повышенных теплопотерь, связанных с нарушением теплоизоляции, а также участков внутренних поверхностей, температура которых в процессе эксплуатации может опускаться ниже точки росы.

Применение: тепловизионное обследование проводят при введении в эксплуатацию нового здания, для диагностики неисправностей, если предполагается, что в здании происходят утечки тепла [3].

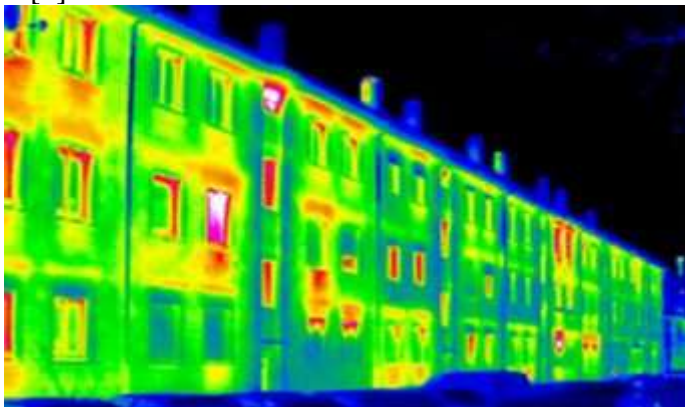


Рисунок 2 — Вид на здание через тепловизор

2. Эффект внедрения BIM-технологий для координации экспериментальных исследований фасадных систем.

2.1. Специфика экспериментальных исследований фасадных систем.

Фасадные системы современных зданий представляют собой сложные многослойные конструктивные решения, включающие несущие элементы, теплоизоляционные слои, облицовочные материалы и узлы крепления. Экспериментальные исследования фасадов направлены на оценку их теплотехнических, прочностных, деформационных, акустических и эксплуатационных характеристик.

К числу наиболее распространённых видов экспериментальных исследований относятся теплотехнические испытания ограждающих конструкций, исследования воздухопроницаемости и влагопереноса, натурные испытания навесных фасадных систем, а также долговременные наблюдения за деформациями и состоянием узлов.

Сложность таких исследований заключается в большом количестве взаимосвязанных параметров и необходимости точной привязки экспериментальных данных к конкретным элементам фасадной конструкции, что при традиционных методах координации зачастую затруднено [4].

2.2. BIM-модель как инструмент интеграции экспериментальных данных фасадов.

Внедрение BIM-технологий позволяет рассматривать фасад не только как геометрический объект, но и как информационную структуру, содержащую данные о материалах, слоях, узлах и эксплуатационных характеристиках.

BIM-модель фасадной системы может служить единой платформой для интеграции экспериментальных данных, включая:

- результаты теплотехнических и климатических испытаний;
- параметры воздухопроницаемости и влажностного режима;
- данные о деформациях и перемещениях элементов;
- результаты визуальных и инструментальных обследований.

Привязка экспериментальных данных к конкретным элементам BIM-модели обеспечивает их наглядность, систематизацию и возможность многократного использования на различных этапах исследования и проектирования.

2.3. Повышение эффективности координации исследований при использовании BIM.

Использование BIM-технологий в координации экспериментальных исследований фасадных систем приводит к ряду значимых эффектов.

Во-первых, обеспечивается единая информационная среда для взаимодействия исследователей, проектировщиков и инженеров, что снижает вероятность ошибок, связанных с несогласованностью исходных данных и результатов измерений.

Во-вторых, упрощается процесс сопоставления экспериментальных результатов с расчётными моделями фасадов, поскольку все параметры конструкций представлены в цифровом виде и структурированы в BIM-модели.

В-третьих, повышается воспроизводимость экспериментальных исследований за счёт сохранения информации о методике испытаний, условиях проведения экспериментов и результатах измерений в составе информационной модели фасада [5].

2.4. Влияние BIM на качество и достоверность экспериментальных исследований фасадов.

Интеграция BIM-технологий в процесс экспериментальных исследований фасадных систем способствует повышению качества и достоверности получаемых результатов.

За счёт точной геометрической и информационной привязки экспериментальных данных уменьшается риск искажения результатов, связанный с неправильной идентификацией конструктивных элементов. Кроме того, BIM позволяет учитывать изменения фасадных систем во времени, что особенно важно при проведении длительных натуральных наблюдений.

Таким образом, BIM-технологии создают условия для перехода от разрозненных экспериментальных измерений к комплексному анализу фасадных систем как единого инженерного объекта.

2.5. Экономический и организационный эффект внедрения BIM.

Помимо научных преимуществ, внедрение BIM-технологий в координацию экспериментальных исследований фасадов оказывает положительное влияние на организационные и экономические показатели.

Сокращаются временные затраты на обработку и анализ экспериментальных данных, снижается количество повторных испытаний, вызванных ошибками координации, а также упрощается процесс подготовки отчётной документации. Это повышает общую эффективность исследовательской деятельности и способствует более быстрому внедрению результатов исследований в проектную и строительную практику [6].

3. Методология координации теплотехнических и климатических экспериментов фасадов с использованием BIM.

3.1. Структура BIM-модели фасадной системы для теплотехнического анализа.

Для обеспечения координации теплотехнических и климатических экспериментальных исследований фасадов BIM-модель должна формироваться с уровнем детализации, достаточным для отражения физико-технических характеристик ограждающих конструкций.

Информационная модель фасада включает:

- геометрию конструктивных слоёв;
- физические свойства материалов (коэффициенты теплопроводности, паропроницаемости, теплоёмкости);
- характеристики узлов примыканий;
- климатические параметры внешней среды.

Такой подход позволяет использовать BIM-модель в качестве цифрового аналога реального объекта исследований.

3.2. Интеграция результатов теплотехнических экспериментов в BIM-модель.

Результаты экспериментальных исследований (измерения тепловых потоков, температурных полей, сопротивления теплопередаче) интегрируются в BIM-модель путём привязки данных к конкретным элементам фасадной конструкции.

Экспериментальные данные могут быть представлены в виде:

- параметров элементов модели;
- пользовательских атрибутов;
- временных характеристик (для мониторинга).

Это обеспечивает сопоставление экспериментальных и расчётных значений, а также выявление отклонений между проектными и фактическими показателями [7].

3.3. Учёт климатических факторов в BIM-координации экспериментов.

Климатические исследования фасадов связаны с воздействием переменных параметров окружающей среды: температуры наружного воздуха, солнечной радиации, ветровой нагрузки и влажности.

Использование BIM позволяет:

- учитывать климатические данные в привязке к ориентации фасада;
- анализировать теплопотери по различным экспозициям здания;
- сопоставлять экспериментальные данные, полученные в разные периоды эксплуатации.

Таким образом, BIM-модель становится инструментом комплексного климатического анализа фасадных систем.

3.4. Организация информационного обмена и воспроизводимость экспериментов.

Хранение экспериментальных данных в BIM-среде обеспечивает воспроизводимость исследований, так как сохраняются не только результаты измерений, но и информация об условиях их получения.

Это особенно важно при долговременных теплотехнических и климатических наблюдениях, где требуется анализ изменений параметров фасадов во времени [8].

Внедрение технологий информационного моделирования зданий (Building Information Modeling, BIM) в процесс координации экспериментальных исследований в строительстве оказывает комплексное влияние как на организацию эксперимента, так и на качество получаемых результатов. Использование BIM-моделей в качестве единого цифрового пространства для хранения, анализа и сопоставления данных позволяет существенно повысить достоверность интерпретации экспериментальных исследований, снизить влияние человеческого фактора и обеспечить более тесную взаимосвязь между расчётными и экспериментальными данными.

Одним из ключевых эффектов внедрения BIM является повышение точности интерпретации результатов экспериментов. BIM-модель аккумулирует геометрические, физико-механические и эксплуатационные характеристики исследуемых конструкций, что позволяет рассматривать экспериментальные данные в контексте полной цифровой копии объекта. В отличие от традиционного подхода, при котором экспериментальные результаты анализируются разрозненно (в виде таблиц, графиков и отчётов), BIM обеспечивает их пространственную привязку к конкретным элементам конструкции.

Это особенно важно при проведении натуральных и лабораторных испытаний строительных конструкций, где локальные отклонения параметров (деформаций, напряжений, температурных воздействий) могут существенно влиять на общую картину поведения объекта. Интеграция данных измерений в BIM-модель позволяет выявлять причинно-следственные связи между геометрией, материалами и результатами эксперимента, а также снижает риск некорректной интерпретации данных вследствие неполного учёта условий испытаний.

Использование BIM-технологий способствует значительному снижению влияния человеческого фактора на всех этапах экспериментальных исследований — от подготовки программы испытаний до анализа результатов. Автоматизация процессов ввода, хранения и обработки данных минимизирует вероятность ошибок, связанных с ручным переносом информации, субъективной трактовкой результатов и несогласованностью данных между различными участниками исследования.

Кроме того, BIM обеспечивает единые стандарты представления информации, что особенно важно при коллективной работе исследовательских групп. Все участники имеют доступ к актуальной версии модели и связанным с ней данным, что снижает вероятность использования устаревшей или некорректной информации. Таким образом, BIM выступает инструментом не только технической, но и организационной координации экспериментальных исследований [9].

Одной из наиболее значимых задач экспериментальных исследований в строительстве является верификация расчётных моделей. Внедрение BIM существенно упрощает процесс сопоставления расчётных и экспериментальных данных за счёт использования единой цифровой среды. Расчётные модели (в том числе, полученные с применением методов конечных элементов) могут быть интегрированы в BIM-платформу либо связаны с ней посредством специализированных программных решений.

Это позволяет наглядно сравнивать расчётные и экспериментальные значения параметров, выявлять расхождения и оперативно корректировать расчётные модели. В результате повышается точность прогнозирования поведения строительных конструкций, а также достоверность выводов, полученных на основе экспериментальных исследований. BIM в данном контексте выступает как связующее звено между теорией и практикой строительной науки.

Применение BIM для координации экспериментальных исследований обладает высоким потенциалом масштабирования. Разработанная методика может быть адаптирована для различных типов объектов — от отдельных конструктивных элементов до сложных инженерных сооружений и зданий в целом. Кроме того, BIM позволяет накапливать и систематизировать результаты экспериментов, формируя базы данных, которые могут использоваться в последующих исследованиях.

Масштабируемость методики также проявляется в возможности её применения на разных стадиях жизненного цикла объекта — от научных исследований и опытно-конструкторских работ до эксплуатации и мониторинга технического состояния зданий и сооружений. Это делает BIM универсальным инструментом для интеграции экспериментальных данных в современную цифровую экосистему строительной отрасли [10].

Заключение

В статье обоснована эффективность внедрения BIM-технологий для координации экспериментальных теплотехнических и климатических исследований фасадных систем зданий. Показано, что использование BIM-модели в качестве единой информационной среды обеспечивает интеграцию экспериментальных данных с их точной привязкой к конструктивным элементам фасада и условиям эксплуатации, что повышает достоверность интерпретации результатов и снижает влияние человеческого фактора.

Установлено, что BIM-ориентированный подход улучшает сопоставимость расчётных и экспериментальных данных, повышает воспроизводимость исследований и эффективность организации экспериментальных работ. Разработанная методика обладает потенциалом масштабирования и может быть использована при исследовании различных типов ограждающих конструкций, а также при дальнейшем развитии цифровых двойников и систем мониторинга фасадов зданий.

Список источников

1. ГОСТ Р 59633-2021. Конструкции фасадные светопрозрачные. Метод определения теплотехнических характеристик в климатической камере
2. ГОСТ Р 59985-2022. Конструкции ограждающие зданий. Методы определения теплотехнических показателей теплоизоляционных материалов и изделий при эксплуатационных условиях
3. ГОСТ Р 54852-2024. Здания и сооружения. Метод тепловизионного контроля качества теплоизоляции ограждающих конструкций

4. Молчанова С. М. BIM как инструмент информационного моделирования при реализации проектов в строительной отрасли // *International Research Journal*. — 2024. — № 145. — С. DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.145.180>. — Обзор развития и применения BIM-технологий, их роли в повышении эффективности проектной деятельности.

5. Применение BIM-технологий при разработке информационной модели архитектурного объекта для реконструкции / Сергиенко Д.А., Шагиева А.И. // *Жилищное строительство*. — 2025. — № 7. — С. 17–22. — Описывает практику BIM-моделирования для сложных архитектурных решений.

6. Применение BIM-технологий в жилищном строительстве в РФ // *Строительство и архитектура*. — 2023. — Том 11, № 4. — Анализ практики внедрения информационного моделирования в жилищном строительстве России.

7. Жариков И., Давиденко П. В. Эффективное использование BIM-технологий при проведении строительно-технических экспертиз // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. — 2018. — № 1. — С. 42–48. — Рассматривает BIM в экспертизе строительных объектов.

8. Филонова М. А., Широбокова С. Н., Шутова М. Н. Формализованный анализ функциональной полноты реализации технологии BIM в системах автоматизированного проектирования строительных объектов // *Строительство и архитектура*. — 2022. — № 10. — С. 96–100. — Анализ полноты BIM-внедрения в проектных процессах.

9. Gulik V.Yu. Перспективы внедрения BIM-технологий // *Архитектура, строительство, транспорт*. — 2021. — Т. 5, № 2. — О преимуществах и ограничениях BIM-внедрения.

10. Yönder V. M. Case Study of Generative Facade Design Using Building Information Modelling (BIM) Tools // *ICONARCH International Congress of Architecture and Planning Proceedings*. — 2020. — Анализ ролей BIM-инструментов при проектировании фасадов и сложной геометрии.

Сведения об авторах

Василенко Софья Витальевна, студент кафедры архитектуры гражданских и промышленных зданий имени А.В. Титова, Кубанский государственный технологический университет, Россия.

Выпринцева Виолетта Денисовна, студент кафедры строительных конструкций, Кубанский государственный технологический университет, Россия.

Гулякин Дмитрий Владимирович, доктор педагогических наук, профессор кафедры архитектуры гражданских и промышленных зданий имени А.В. Титова, Кубанский государственный технологический университет, Россия.

Information about the author

Vasilenko Sofya Vitalievna, student of the Department of Architecture of Civil and Industrial Buildings named after A.V. Titov, Kuban State Technological University, Russia.

Vyprintseva Violetta Denisovna, student of the Department of Building Structures, Kuban State Technological University, Russia.

Gulyakin Dmitry Vladimirovich, Doctor of Pedagogical Sciences, Professor Professor of the Department of Architecture of Civil and Industrial Buildings named after A.V. Titov, Kuban State Technological University, Russia.