

## ТЕХНОЛОГИИ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ПРОЕКТИРОВАНИИ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ

*О. А. Акулова, В. Д. Харченко*

УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь,  
akylovaolya@yandex.by

### **Аннотация**

Цифровая трансформация строительной отрасли является важным и актуальным направлением исследований. Она предполагает широкое внедрение и развитие технологий информационного моделирования зданий и сооружений. В представленной статье проанализированы особенности применения технологий информационного моделирования в проектировании инженерных систем. Рассмотрена технология энергомоделирования для проектирования энергоэффективных зданий.

**Ключевые слова:** цифровая экономика, устойчивое развитие, информационное моделирование, энергомоделирование, инженерные сети, системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха.

## INFORMATION MODELING TECHNOLOGY IN THE DESIGN OF VENTILATION SYSTEMS

*O. A. Akulova, V. D. Kharchenko*

### **Abstract**

The digital transformation of the construction industry is a modern and relevant area of research. It involves the widespread introduction and development of building information modeling technologies. The article analyzes the features and applications of information modeling technologies in the design of engineering systems. The technology of building energy modeling for the design of energy-effective buildings is considered.

**Keywords:** Digital Economy, Sustainable Development, Building Information Modeling, Building Energy Modeling, Engineering Networks, Heating, Ventilation, and Air Conditioning.

**Введение.** Информационное моделирование зданий или Building Energy Modeling (BIM) – это современная концепция в проектировании, которая вносит существенные изменения в архитектурную, инженерную и строительную отрасли. Передовыми странами в этой области являются Великобритания, США, Сингапур, Китай, страны Скандинавии и некоторые страны Евросоюза и Азии.

Все они имеют богатый опыт внедрения BIM-технологий в строительный комплекс, а также стандартизации и государственного регулирования.

Благодаря государственной поддержке Российская Федерация также значительно продвинулась в области BIM. В 2018 году введен в действие Свод правил СП 328.1325800.2017 «Информационное моделирование в строительстве. Правила описания компонентов информационной модели», который содержит единые требования, правила и рекомендации по созданию

компонентов, используемых для формирования информационных моделей объектов строительства. Однако в связи с небольшим опытом внедрения и неясности в плане обязательности исполнения некоторых разделов норм, существует необходимость в их дальнейшей проработке и совершенствовании.

К сожалению, в Республике Беларусь масштабы внедрения BIM-технологий значительно уступают зарубежным и нуждаются как в правовой, так и в научно-исследовательской поддержке.

В Беларуси с 1 марта 2016 года введен СТБ 12911-2015 «Основные положения руководства по информационному моделированию зданий», разработанный на основе международного стандарта ISO 12911-2012 «Framework for building information modeling guidance», который устанавливает основы, определяющие технические условия для внедрения BIM.

Приказом Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь от 16 марта 2018 г. № 70 утвержден план внедрения технологий информационного моделирования в области промышленного и гражданского строительства, согласно которому к 2022 году должен быть разработан национальный BIM стандарт в области строительства.

Кроме того, во исполнение Директивы Президента Республики Беларусь от 4 марта 2019 г. № 8 «О приоритетных направлениях развития строительной отрасли» по поручению Минстройархитектуры РУП «Белстройцентр» разрабатывается подсистема «Библиотека базовых элементов» государственной информационной системы «Госстройпортал». Цель ее создания – предоставление базовых элементов участникам жизненного цикла объекта строительства на всех его этапах и информационное обеспечение участников инвестиционного процесса сведениями о строительных материалах, изделиях, оборудовании и конструкциях, применяемых на территории Республики Беларусь. Для размещения в Библиотеке качественных BIM-элементов разработан проект Руководства по созданию базовых элементов.

Все это свидетельствует об актуальности и перспективности выбранной темы исследования.

**Материалы и методы.** В качестве основного применен общенаучный метод, а именно анализ и синтез научной литературы и нормативных документов по теме исследования. Практическая ценность работы заключается в рассмотрении и анализе наиболее перспективных направлений цифровой трансформации строительной отрасли – информационного моделирования и энергомоделирования зданий и сооружений.

В работе также применялся метод информационного компьютерного моделирования в программном комплексе для автоматизированного проектирования Autodesk Revit.

**Результаты и обсуждение.** Информационное моделирование – это комплексный подход к возведению, эксплуатации и ремонту здания, который предполагает сбор и обработку всей архитектурно-конструкторской, технологической, экономической и иной информации о здании [1–3].

Трехмерная модель связана с информационной базой данных, в которой каждому элементу можно присвоить дополнительные атрибуты. При этом

строительный объект проектируется как единое целое. И изменение какого-либо параметра влечет за собой автоматическое изменение остальных, связанных с ним параметров и объектов, вплоть до чертежей, визуализаций, спецификаций и календарного графика.

При проектировании инженерных сетей в общем и систем вентиляции в частности применение информационной модели позволяет получить ряд преимуществ, среди которых можно отметить следующие: эффективная координация проекта; точность расчета расхода материалов; простота внесения изменений в проект; значительное упрощение монтажа системы.

В настоящее время одним из наиболее распространенных комплексов для информационного моделирования является Revit от фирмы Autodesk, позволяющий:

- осуществлять проектирование инженерных систем;
- организовать совместную работу с архитекторами и проектировщиками строительных конструкций;
- подготовить исходные данные для последующих расчетов;
- определить расчетные данные модели;
- оформить полный комплект проектной документации.

В рамках концепции устойчивого развития, в основу которой положены принципы энергосбережения и рационального использования ресурсов, особую актуальность приобретает еще одна современная технология – энергомоделирование или Building Energy Modeling (BEM). Эта технология позволяет прогнозировать энергопотребление здания, оценивать выбросы углекислого газа в окружающую среду, а также разрабатывать комплекс мероприятий по повышению энергоэффективности зданий [4–7].

Энергоэффективность здания – это процентное снижение годового потребления энергоресурсов при эксплуатации проектируемого здания, при использовании энергосберегающих решений по сравнению с нормативными показателями для этого здания.

Среди направлений использования BEM выделяют:

- Сертификацию «зеленого» строительства (международные системы сертификации LEED (руководство по энергетическому и экологическому проектированию, США), BREEAM (метод экологической экспертизы, Великобритания), DGNB (сертификат устойчивого строительства, Германия), а также российская разработка GREEN ZOOM) [8, 9].

Сертификат гарантирует, что в проекте заложены максимально энергоэффективные технологии, строительство ведется с использованием экологически чистых и сертифицированных материалов, а каждое отдельное жилое помещение будет оснащено необходимыми системами для поддержания комфортного и полезного для здоровья человека микроклимата.

- Проектирование.
- Энергосервисные обследования.

В основе создания имитационной энергетической модели лежит использование информационной модели здания, в качестве которой часто выступает 3D модель, выполненная в Autodesk Revit. Для энергомоделирования в первую очередь важны следующие ее данные: геометрия и конструктивные характеристики

здания, тепловые характеристики ограждающих конструкций, климатические характеристики района строительства, производительность систем отопления, вентиляции и канализации, а также потребление энергии [10, 11].

В BEM-технологии применяют следующие сервисы и программные продукты: Autodesk Green Building Studio, Autodesk Ecotect Analysis Software, IES Virtual Environment, eQuest, EnergyPlus и некоторые другие [12, 13].

При этом для экспорта 3D модели в специализированные программы используются открытые форматы обмена IFC (Industry Foundation Classes) и gbXML (Green Building XML) [14].

Формат gbXML (Green Building XML), по сравнению с форматом IFC, более удобен для обмена данными между строительными системами автоматизированного проектирования и BIM системами с одной стороны и BEM системами, с другой, так как содержит только те данные, которые необходимы для BEM систем. Формат gbXML поддерживается меньшим числом строительных систем автоматизированного проектирования и BIM систем, зато поддерживается большим числом BEM систем.

Стоит отметить, что полностью решить задачу проектирования систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха или Heating, Ventilation, and Air Conditioning (HVAC) ни одна из существующих сегодня BEM программ не в состоянии. Поэтому возникла необходимость дополнения связки BIM + BEM одним или несколькими пакетами для расчетов и моделирования [15–17].

Фирма Autodesk предлагает комплексное решение для проектирования инженерных систем – liNear Desktop совместно с Revit, содержащее наборы специализированных инструментов для каждого инженерного раздела. Основные функции программы включают:

- автоматическое создание видов (3D, планы этажей, потолков, разрезы);
- библиотеки компонентов для всех разделов, менеджер семейств в Revit;
- автоматическое подключение компонентов с многовариантным выбором; автоматическое T-образное подключение; команда прокладки трасс;
- конфигуратор для вентиляционных установок;
- автоматический обход пересечений;
- управление параметрами.

Кроме того, существует специализированный модуль Analyse Ventilation, который позволяет определить объемный расход воздуха и размеры воздуховодов, включая аэродинамический расчет, определение напора вентилятора, а также интегрированный акустический расчет. Расчеты производятся на основе 2D-планов или 3D-моделей. Основные функции программы включают:

- определение граничных условий (температура, атмосферное давление, максимальные скорости, удельные потери давления) для аэродинамического расчета воздуховодов;
- балансировку и определение величины дросселирования на элементах системы вентиляции;
- возможности поиска и редактирования параметров элементов систем;
- расчет непосредственно из чертежа – без промежуточных интерфейсов;
- автоматический экспорт результатов расчета в параметры элементов систем;

- расчет уровня шума;
- широкие возможности визуализации результатов расчета;
- полную спецификацию оборудования, арматуры и соединительных деталей.

Еще одним популярным решением является MagiCAD для Revit. Оно содержит встроенные расчетные функции, такие как суммирование расхода, подбор сечений, балансировка, акустический расчет и создание спецификаций [18].

При моделировании воздуховодов в MagiCAD автоматически подбираются и устанавливаются необходимые фитинги. При изменении направления воздуховода программа подбирает и устанавливает отвод, при присоединении одного воздуховода к другому – тройник или крестовину, при изменении размера сечения воздуховода создается переход.

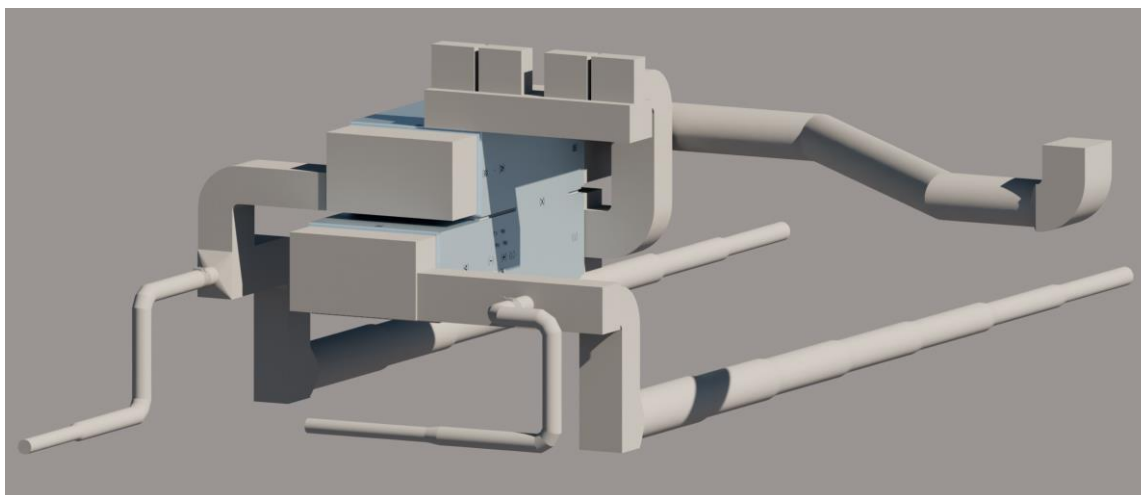
Все используемое в проекте оборудование (от простых решеток до воздухо-распределительных устройств) содержит технические характеристики.

Одним из главных преимуществ вышеперечисленных продуктов является наличие обширных библиотек семейств инженерного оборудования мировых и отечественных производителей.

Другим важным преимуществом является возможность создания автоматических спецификаций, применяемых в проекте, оборудования, материалов и изделий, которые при необходимости можно изменить. Спецификации автоматически обновляются после добавления или удаления элементов систем. Для некоторых элементов спецификации, например, суммарной длины трубопроводов определенного диаметра, может применяться инструмент для визуального программирования Dynapro.

Следует отметить, что расчеты, производимые в этих комплексах, могут иметь погрешности и требуют подтверждения в соответствии с традиционными методиками.

В представленной работе создана информационная модель системы вентиляции с использованием современного оборудования в Autodesk Revit (рис. 1), выполнен автоматический подбор сечений воздуховодов, а также аэродинамический расчет с применением MagiCAD. Сравнительный анализ параметров, рассчитанных традиционным методом и в MagiCAD, показал, что погрешность не превышает 15 %, что находится в пределах допустимого [19, 20].



**Рисунок 1** – 3D модель приточно-вытяжной установки с рекуперацией

**Заключение.** Применение информационного моделирования в практике проектирования зданий и сооружений является актуальным и перспективным направлением исследования. BIM объединяет все сферы проектирования (конструкции, архитектура и дизайн, инженерные системы) и имеет ряд преимуществ, среди которых можно особо выделить:

- сокращение времени проектирования;
- минимизация количества ошибок в проектной документации;
- сокращение сроков согласования;
- повышение безопасности;
- упрощение монтажа инженерных систем на строительной площадке, а также обслуживания зданий и сооружений;
- удобная координация и взаимодействие с партнерами.

Кроме того, особую значимость приобретает вопрос использования экологически чистых и энергосберегающих технологий. В рамках технологий энергомоделирования на основе информационной модели создается имитационная энергетическая модель здания, позволяющая разрабатывать комплекс мер по повышению его энергоэффективности.

Проведенный анализ научной литературы по теме исследования, а также разработанные информационные модели систем вентиляции могут использоваться в проектных организациях, а также в учебном процессе при подготовке студентов инженерных специальностей.

#### **Список цитированных источников**

1. Талапов, В. В. Основы BIM: введение в информационное моделирование зданий. – М.: ДМК Пресс, 2011. – 392 с.
2. Талапов, В. В. Технология BIM. Суть и особенности внедрения информационного моделирования зданий / В. В. Талапов. – М. : ДМК Пресс, 2015. – 412 с.
3. Трофимова, Л. А. Реализация стратегии инновационного развития строительной отрасли РФ на основе информационного моделирования промышленных и гражданских объектов / Л. А. Трофимова, В. В. Трофимов // Современное строительство и архитектура. – 2017. – № 1(05). – С. 31–35. DOI: <https://doi.org/10.18454/mca.2017.05.1>.
4. Gao, H. Building information modelling based building energy modelling: A review / H. Gao, C. Koch, Y. Wu // Applied Energy. – 2019. – Vol. 238. – P. 320–343. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.01.032>.
5. Gourelis, G. Building Information Modelling for analysis of energy efficient industrial buildings – A case study / G. Gourelis, I. Kovacic // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2017. – Vol. 68, Part 2. – P. 953–963. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.02.009>.
6. Бурцева В. С. Энергетическая модель здания – шаг вперед в проектном процессе / В. С. Бурцева, Д. М. Денисихина, Е. С. Тесля // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2013. – № 12(179). – С. 35–37.
7. Васильева, М. С. Энергомоделирование как современная основа повышения энергоэффективности зданий / М. С. Васильева, М. Д. Терех // BIM-

- моделирование в задачах строительства и архитектуры : материалы IV Международной научно-практической конференции ; под общ. ред. А. А. Семенова. – Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. – Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2021. – С. 85–92. DOI: <https://doi.org/10.23968/BIMAC.2021.010>.
8. Каллаур, Г. Ю. Системы сертификации в области «зеленого» строительства / Г. Ю. Каллаур, Т. Ю. Гаврилова // Современные проблемы управления проектами в инвестиционно-строительной сфере и природопользовании: Материалы IX Международной научно-практической конференции. – М. : РЭУ им. Плеханова, 2019. – С. 345–350.
  9. Пакуть, М. В. Энергомоделирование: метод повышения оценки качества зданий (на примере GREEN ZOOM) / М. В. Пакуть // Синергия наук. – 2017. – № 12. – С. 857–863.
  10. Kaewunruen, S. A digital-twin evaluation of Net Zero Energy Building for existing buildings / S. Kaewunruen, P Rungskunroch, J. Welsh // Sustainability (Switzerland). – 2018. Vol. 11(1). – P. 159. DOI: <https://doi.org/10.3390/su11010159>.
  11. Лубсанова, Н. Б. О подходах к оценке экологичности проектов жилищного строительства / Н. Б. Лубсанова // Вестник Бурятского государственного университета. Экономика и менеджмент. – 2018. – № 78(3). – С. 30–35. DOI: <https://doi.org/10.18101/2304-4446-2018-3-30-35>.
  12. Гендых, В. С. Интеграция программных комплексов информационного моделирования зданий в области отопления и вентиляции / В. С. Гендых, Д. А. Демшина // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры : материалы II Международной научно-практической конференции. – Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. – Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2019. – С. 257–261. DOI: <https://doi.org/10.23968/BIMAC.2019.047>.
  13. Опарина, Л. А. Современные методы и программы моделирования процессов жизненного цикла энергоэффективных зданий / Л. А. Опарина // Стратегическое планирование и развитие предприятий : материалы Семнадцатого всероссийского симпозиума. – М.: ЦЭМИ РАН, 2016. – С. 153–155.
  14. Марьясин, О. Ю. Технологии интеграции и семантической паутины в цифровом строительстве / О. Ю. Марьясин // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры : материалы III Международной научно-практической конференции. – Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. – Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2020. – С. 270–275. DOI: <https://doi.org/10.23968/BIMAC.2020.035>.
  15. Wu, W. Selecting HVAC systems to achieve comfortable and cost-effective residential net-zero energy buildings / W Wu, H. M. Skye, P. A. Domanski // Applied Energy. – 2018. Vol. 212. – P. 577–591. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.12.046>.
  16. Gerrish, T. Using BIM capabilities to improve existing building energy modelling practices / T. Gerrish, K. Ruikar, M. Cook, M. Johnson, M. Phillip // En-

- gineering, Construction and Architectural Management. – 2017. – № 24(2). – P. 190–208. DOI: <https://doi.org/10.1108/ECAM-11-2015-0181>.
17. Spiridigliozzi, G. BIM-BEM support tools for early stages of zero-energy building design / G. Spiridigliozzi, L. Pompei, C. Cornaro, L. De Santoli, F. Bisegna // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – Vol. 609(7). – P. 072075. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/609/7/072075>.
18. Криницкий, Е. В. Информационное моделирование инженерных систем зданий с применением MagiCAD / Е. В. Криницкий, А. Ю. Маскинская // Сантехника, отопление, кондиционирование. – 2020. – № 2(218). – С. 76–79.
19. Авдюкова, К. И. Энергоэффективное моделирование в Екатеринбурге / К. И. Авдюкова, С. В. Придвижкин, К. В. Мальцева // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры : материалы III Международной научно-практической конференции. – Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. – Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2020. – С. 186–192. DOI: <https://doi.org/10.23968/BIMAS.2020.023>.
20. Ростова, М. С. Опыт использования BIM-технологий в курсовом проектировании систем отопления и вентиляции / М. С. Ростова, И. И. Суханова // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры : материалы II Международной научно-практической конференции. – Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. – Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2019. – С. 218–222. DOI: <https://doi.org/10.23968/BIMAS.2019.040>.

УДК 628.35

## **РЕАГЕНТНАЯ ДЕФОСФОТАЦИЯ СТОЧНЫХ ВОД С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА ОПТИМАЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА**

*С. В. Андреев, Т. И. Акулич*

УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь,  
[a\\_asv75@mail.ru](mailto:a_asv75@mail.ru)

### **Аннотация**

Очистка сточных вод является важным компонентом в системе защиты окружающей среды от загрязнения. Основной причиной эвтрофикации поверхностных водных объектов на современном этапе является поступление со сточными водами в поверхностные источники водоснабжения значительного количества соединений азота и фосфора. Работа посвящена исследованию технологии очистки городских сточных вод, специально предназначенной для удаления биогенного элемента фосфора. Для оптимизации процесса очистки использованы методы математического моделирования на основе влияющих и определяющих факторов. Объектом исследования стала реагентная дефосфота-