

ЕВГЕНИЙ ВИКТОРОВИЧ  
КРИНИЦКИЙ:

## « ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗДАНИЙ ПОЗВОЛЯЕТ ПРОВЕСТИ ИХ ИНЖЕНЕРНУЮ ОПТИМИЗАЦИЮ И УМЕНЬШИТЬ НЕГАТИВНОЕ ВЛИЯНИЕ НА ЭКОЛОГИЮ... »



Сегодня во многих странах мира при проектировании современных, энергоэффективных и здоровых зданий используются их цифровые модели. Изучение различных сценариев внедрения технологий позволяет выбрать оптимальный вариант для достижения поставленных целей и определить пути его реализации. О том, как развивалось в России направление «информационное моделирование зданий» (BIM) и как на его основе возможно решать задачи энергетического моделирования зданий (BEM), рассказывает **Евгений Викторович Криницкий**<sup>1</sup>, кандидат технических наук, технический директор ООО «ГК ВентСофт», занимающийся вопросами цифровых технологий в строительстве более двадцати лет.

<sup>1</sup> Материал подготовлен при участии **А. Ю. Маскиной**, канд. техн. наук, доцента, и **М. Ю. Юркиной**, канд. техн. наук, доцента, кафедры теплообменных процессов и установок (ТМПУ), НИУ «МЭИ» (ТУ).

## Давайте начнем с истории развития информационного моделирования зданий. Какой путь пройден в нашей стране в области цифровых технологий в строительстве? Каковы ваши впечатления?

В России широко обсуждать технологию информационного моделирования зданий (BIM) стали в 2000-х годах, но все началось гораздо раньше. В 1942 году в Москве была организована Всесоюзная контора типового проектирования и технических исследований (КТИС) [1], которая стала заниматься вопросами стандартизации проектирования в строительстве. Уже в 1953 году на базе КТИС был создан Государственный институт типового и экспериментального проектирования и технических исследований (ГИПРОТИС), который продолжил заниматься вопросами типового проектирования, но уже в 1970-х годах из-за активного развития вычислительной техники стало очевидно необходимость ее применения в строительстве. В итоге в 1972 году ГИПРОТИС был переименован в Центральный научно-исследовательский и проектно-экспериментальный институт автоматизированных систем в строительстве (ЦНИПИАСС) Госстроя СССР.

С направлением автоматизации строительства я столкнулся в начале 1980-х, когда ЦНИПИАСС был переименован в ЦНИИПроект. Хорошо помню длинные ряды стоек ЭВМ ЕС, которые занимали целые этажи здания. В то время накопитель на жестких дисках (ЕС-5052) был размером со шкаф, его емкость – около 5 Мб, а ввод программ осуществлялся через перфокарты и перфоленту. Вывод данных частично производился через печатающие машинки Consul (ЕС 7172М). Там же я впервые увидел графопостроитель (сейчас их называют плоттерами), на котором изучали вопросы печати строительных чертежей.

Чуть позже, в конце 1980-х, я наблюдал работу вычислительной техники СМ-1420 уже в вычислительном центре НИИЖБ им. А. А. Гвоздева, который сейчас является частью НИЦ «Строительство». Мое первое практическое знакомство с программированием происходило именно там. Мне трудно судить об уровне подобных технологий для тех лет: ввиду закрытости СССР было мало известно о том, что происходит в этой области в других странах. Тогда было очень сложно представить, что уже через тридцать лет компьютер будет умещаться в дорожной сумке, а строительное проектирование будет без него уже невозможно.

С 1990-х годов большинство НИИ закрыли или перефилировали. В 2010 году был закрыт ЦНИИПроект, где в его лучшие годы над проблемой автоматизации строительства работало более 1 500 человек. На этом закончилась история развития подобных технологий в СССР, а продолжилась она уже в России, с новыми возможностями и проблемами.

## Кем и когда была предложена концепция BIM?

Концепция BIM появилась в 1970-х годах – ее предложил профессор Технологического института Джорджии (Атланта, США) Чарльз Истман, который одновременно

являлся профессором других университетов и директором Центра строительных наук и компьютерной графики [2]. Но, как и о многих идеях, опережающих свое время, о BIM в других странах мира стали говорить в конце 2000-х.

В этом направлении моя публикация [3] оказалась в числе первых в России. В то время я уже активно работал с финской компанией Progam OY, разработчиком одного из первых BIM-решений для информационного моделирования инженерных систем зданий. Наблюдая активный переход на подобные решения в странах Европы, я понял, что переход на подобные технологии и в России неизбежен.

Технология цифрового информационного моделирования стала приходиться к нам вместе с иностранными производителями программного обеспечения, такими как Autodesk, Graphisoft, Nemetschek, Tekla.

Нельзя не отметить огромные маркетинговые усилия в России компании Autodesk, которая потратила немалые силы и средства на популяризацию BIM при вводе на рынок программного обеспечения Revit. Благодаря этому у многих пользователей появилось впечатление, что, просто используя Revit, ты уже полноценно владеешь технологией BIM. Разумеется, Autodesk Revit – это весьма полезный инструмент для цифрового проектирования зданий, но на самом деле это лишь небольшой фрагмент той мозаики, которую необходимо собрать проектным и строительным компаниям для полноценного овладения технологией BIM. Это лишь начало пути цифровой трансформации строительного бизнеса.

## Какие возможности открывает проектирование вместе с BIM? Рост производительности и снижение затрат? Есть ли проблемы?

На своем опыте внедрения MagiCAD для AutoCAD при проектировании систем вентиляции и отопления я смог убедиться, как и многие проектные компании, что подобный подход значительно увеличивает скорость черчения, если сравнивать с плоским черчением в AutoCAD 2D. Удобным оказалось то, что сквозным образом решается целый ряд вопросов – от черчения до расчетов, с получением подробных спецификаций.

Но открытым оставался вопрос автоматизации проектирования не только инженерных систем, но и всех остальных разделов, начиная с архитектуры и конструкций. Разумеется, там были и свои решения, но очень непросто оказалось брать информацию из одного программного обеспечения (ПО) и передавать в другое без потери данных и не в ущерб производительности.

Особенно сложным оказался сценарий работы нескольких компаний над одним проектом, но в разных программных средах. Каким образом передавать чертежи и инженерные данные между участниками проекта? Как избежать ошибок и потерь информации, особенно при многочисленных изменениях в проекте? Ситуация усугубилась, когда в число участников вошло и государство. Внимательно изучая иностранный опыт, государственные экспертизы также решили организовать обмен

информацией в цифровом виде. Но в каком виде нужно передавать им цифровую модель здания, когда каждая компания может работать в своей экосистеме программного обеспечения?

Тут как раз и стала помогать концепция из 1970-х годов, когда здание могло быть представлено в цифровой форме в виде некоей объектно-ориентированной структуры с необходимыми информационными атрибутами. Эта идея была реализована в форме открытого стандарта от ассоциации buildingSMART [4], называемого Industry Foundation Classes (IFC) [5]. В России его базовое описание доступно как ГОСТ Р 10.0.02–2019<sup>2</sup>.

Не буду детально углубляться в суть формата, но стоит отметить, что он необходим не для оперативного хранения информации при выполнении проекта, а в момент передачи информационной модели от одного участника проекта другому, в том числе при обмене данными с государственными органами.

Одновременно в России активно занялись определением основных понятий BIM, но уже в более широком смысле, в рамках всех бизнес-процессов строительных компаний. Это получило название технологии информационного моделирования (ТИМ)<sup>3</sup>. Основные понятия информационных моделей заданий уже внесены во многие официальные документы, включая Градостроительный кодекс РФ<sup>4</sup>.

### Кто заинтересован в информационном моделировании зданий?

Как часто бывает, тема информационного моделирования здания была активно подхвачена многими участниками рынка, которые увидели в ней возможность более активно заявить о себе, что привело к постоянной смене определений и самих стандартов. В какой-то момент это даже стало напоминать активные философские диспуты. Было создано множество дискуссионных площадок, появились эксперты и евангелисты, количество информации стало запредельным, но она была слабоструктурированной. Многие компании, постоянно следуя модным тенденциям, потратили много средств на достижение этой постоянно ускользающей цели. Но в ряде случаев это не принесло ни увеличения скорости, ни повышения качества выполнения проектов.

Во многих случаях молодой специалист, детально изучивший Revit, в глазах компании более ценен, чем инженер или конструктор с богатым опытом. Тут важно примирить инженерное дело с современными тенденциями в цифровизации.

### Зачем нужны цифровые модели зданий для проектных и строительных компаний?

Что очень важно при начале работы над зданием? Прежде всего нужно помнить, что назначение здания – быть

не просто памятником архитектуры или объектом недвижимости, а местом комфортного обитания человека. Однако комфорт, обеспечиваемый в здании, имеет свою цену – значительные затраты энергии. В современном подходе в потреблении и комфорте важно понятие не энергосбережения, а энергоэффективности. То есть требуется обеспечивать все показатели комфорта, но с минимально возможными затратами энергии и минимальным влиянием на окружающую среду. Как раз такого вида оптимизация может быть выполнена с применением цифровой информационной модели здания.

Сценарии использования информации цифровых моделей зданий как раз и являются тем фундаментом, на котором можно построить эффективный процесс проектирования. В мире такие сценарии называют BIM Use [6]. Именно с изучения подобных сценариев стоит начинать внедрение технологии, чтобы понять, какие цели должны быть достигнуты и каким образом.

В ряде европейских компаний я сталкивался со специальными отделами инженерного анализа. У этих специалистов существует ряд инструментов, которые при наличии цифровой модели здания позволяют проводить специальные инженерные исследования для оптимизации тех или иных показателей. Например, позволяют оптимизировать форму здания при сохранении всех его функций, что приводит к заметному снижению энергопотребления. Таким образом можно в цифрах обосновать применение того или иного дорогостоящего, но эффективного инженерного оборудования.

Или, например, с учетом топологии помещений внутри здания, применяя имитационное моделирование, можно с достаточной точностью предсказать скорость эвакуации людей при пожаре.

Также в плотной городской застройке, проведя численное моделирование потоков воздуха, можно увидеть влияние вновь возводимого здания на уже существующие: в ряде случаев новое здание может существенно повлиять на системы жизнеобеспечения существующих.

Еще одним актуальным вопросом становится проектирование систем вентиляции и кондиционирования с учетом различных аспектов нераспространения вирусов среди людей.

Подобных сценариев использования информационных моделей существует множество, но важно научиться формировать и структурировать информацию, чтобы ее было удобно использовать для целей инженерного анализа.

### Расскажите об энергетическом моделировании зданий.

Расчеты энергопотребления здания – это один из практических примеров применения информации BIM.

<sup>2</sup> ГОСТ Р 10.0.02–2019 Система стандартов информационного моделирования зданий и сооружений. Отраслевые базовые классы (IFC) для обмена и управления данными об объектах строительства. Часть 1. Схема данных.

<sup>3</sup> ГОСТ Р 10.0.03–2019/ИСО 29481-1:2016 Информационное моделирование в строительстве. М., 2009.

<sup>4</sup> Градостроительный кодекс Российской Федерации – Федеральный закон от 29 декабря 2004 года № 190-ФЗ (ред. от 30 декабря 2021 года) (с изменениями и дополнениями, вступившими в силу с 1 января 2022 года).

Активные работы по созданию математических моделей здания, позволяющих на основании множества факторов предсказывать количество потребленной им энергии из разных источников, а также оценить его влияние на окружающую среду, начались еще в далеких 1970-х годах.

Необходимо рассмотреть причины появления таких математических моделей. Многие проектировщики, когда речь заходит о расчете системы отопления, начинают с определения теплотерь через наружные ограждающие конструкции по методикам, представленным в СНиП 2.04.05–91\* (приложение 9)<sup>5</sup> или СП 50.13330.2012 (приложение Е)<sup>6</sup>.

В годы учебы в аспирантуре я достаточно много времени потратил на экспериментальное определение коэффициентов конвективной теплоотдачи различных форм теплообменных поверхностей, а также занимался вопросами численного моделирования течений и теплопередачи. После этого, когда я занялся вопросами проектирования инженерных систем, у меня стали появляться вопросы к расчетам в наших стандартах.

Например, почему конвективные коэффициенты теплоотдачи для внутренней и наружных поверхностей стен зафиксированы с такой необычной точностью: 8,7 или 23 Вт/(м<sup>2</sup>•К), ведь значение конвективного коэффициента во многом определяет скорость движения воздуха, а она значительно отличается в различных условиях? В реальных экспериментах значения локальных коэффициентов теплоотдачи меняются в разы. Или еще вопрос: откуда появились поправки на стороны света, которые значительно влияют на результат расчета теплотерь? А вопросы появления коэффициентов теплопередачи в грунт? Неужели столь сложные тепловые и аэродинамические процессы, происходящие в здании, можно свести к столь приближенной математической модели?

Здание имеет слишком неоднородную структуру, чтобы делать упрощение подобным образом. Такой подход является не более точным, чем, например, попытка разделить площадь здания на пять, чтобы получить мощность котла в киловаттах для отопления и ГВС.

Хотя в СП 50.13330.2012 и введены теплотехнические неоднородности и понятие теплоустойчивости ограждающих конструкций, а в примере расчета (приложение Н) предлагается учитывать тепловые двумерные поля температур внутри конструкций, у проектировщиков возникает много вопросов, каким образом это можно реализовать на практике.

Ну и стоит отметить, что удивительной особенностью наших инженерных стандартов является полное отсутствие ссылок на источники получения существующих в них данных: литература, научные публикации, экспериментальные данные. Поэтому понять происхождение столь точного значения, как 8,7 Вт/(м<sup>2</sup>•К), весьма затруднительно.

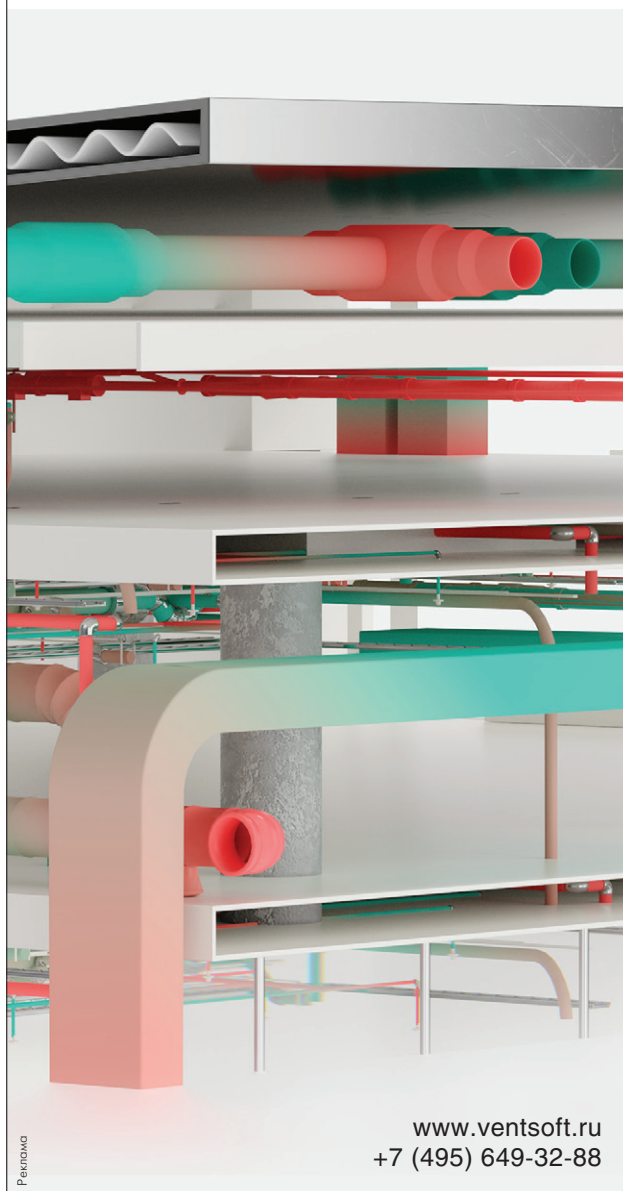
<sup>5</sup> СНиП 2.04.05–91\*. Отопление, вентиляция и кондиционирование (утв. Госстроем СССР 28 ноября 1991 года) (ред. от 25 марта 2003 года).

<sup>6</sup> СП 50.13330.2012. Свод правил. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02–2003 (утв. Приказом Минрегиона России от 30 июня 2012 года № 265) (ред. от 14 декабря 2018 года).



# MagiCAD

ВМ-решение для  
моделирования и расчета  
внутренних инженерных  
систем зданий



[www.ventsoft.ru](http://www.ventsoft.ru)  
+7 (495) 649-32-88



## В современном мире для оценки влияния различных внешних и внутренних факторов на здание нужна его полноценная математическая модель, которая позволит провести инженерную оптимизацию его показателей эффективности. Созданы ли такие модели?

Подобная модель была разработана в лаборатории Беркли [9] (Калифорния, США) и получила название DOE-2 [8]. В России разработкой подобной математической модели здания занимались профессор Ю. А. Табунщиков и профессор М. М. Бродач [7].

В разработку подобных моделей было вложено десятки лет работы коллективов специалистов, модели были апробированы на построенных зданиях и уточнены эмпирически.

Техническое описание модели имеет большой объем [12], а в случае DOE-2 авторы создали программное расчетное ядро, которое в настоящее время называется EnergyPlus [10] (см. \*)); его создание и поддержка спон-

сируются Департаментом энергетики США. Результаты, полученные при расчетах с применением этого приложения, приравниваются к расчетам по стандарту.

## В чем вы видите пользу от перехода на использование технологий энергомоделирования?

Разумеется, мне сложно рассказать в рамках интервью обо всех вопросах практического освоения технологии энергомоделирования (BEM). Очевидно, что массовое появление цифровых информационных моделей здания в значительной мере позволяет расширить границы инженерного анализа.

Используя детальную энергетическую модель здания, можно в серии последовательных расчетов, изменяя параметры геометрии здания, его положения на площадке, используя различные варианты инженерного оборудования, найти их оптимальные значения. Эта информация позволит обосновать инвестиции в здание, более точно определить срок его окупаемости или оценить его инвестиционную

## \*) ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗДАНИЙ. ПРИКЛАДНЫЕ ВОПРОСЫ

Для расчета с применением EnergyPlus необходимо иметь полноценную цифровую информационную модель, содержащую информацию обо всех конструкциях здания, о положении здания на площадке относительно сторон света, а также детальную информацию обо всех процессах и инженерных системах в здании.

Как обычно в сфере приложений инженерных расчетов, пользовательский интерфейс программы весьма утилитарен. Описание геометрии, помещений, зон, инженерных систем производится в текстовом файле в формате IDF, структуру которого можно найти в описании [13].

Также будет необходимо задать информацию о климате в точке расположения здания. Для этого нужно сгенерировать специальный файл в формате EPW.

После выполнения расчетов (Simulate) мы получаем группу отчетов об энергопотреблении здания за год и различные детальные параметры, относящиеся к тепловому балансу здания.

Но даже немного изучив документацию и правила ввода и подготовки информации, вы едва ли захотите делать все вручную. Чего будет стоить детальное описание геометрии здания и всех граничных условий!

Для помощи в подготовке исходных данных применяются специальные приложения, которые могут превратить геометрию из различных САПР в формат ввода данных EnergyPlus. На рынке доступно много подобных приложений. Часть из них коммерческие: IES VE, Equa, Riuska, DesignBuilder и т. д. Есть и бесплатные, часть из них с открытым кодом: eQuest, OpenStudio [11] и пр.

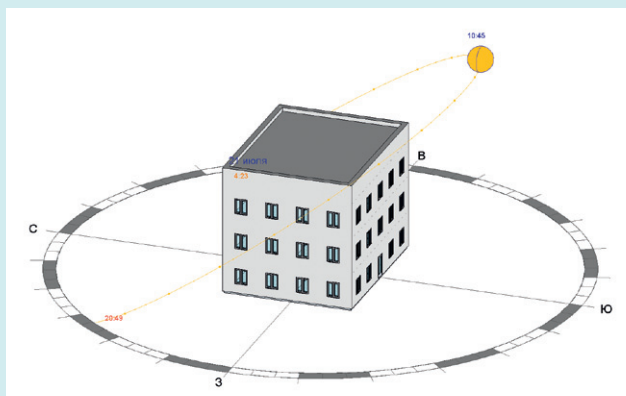


Рис. 1. Цифровая модель здания в Autodesk Revit

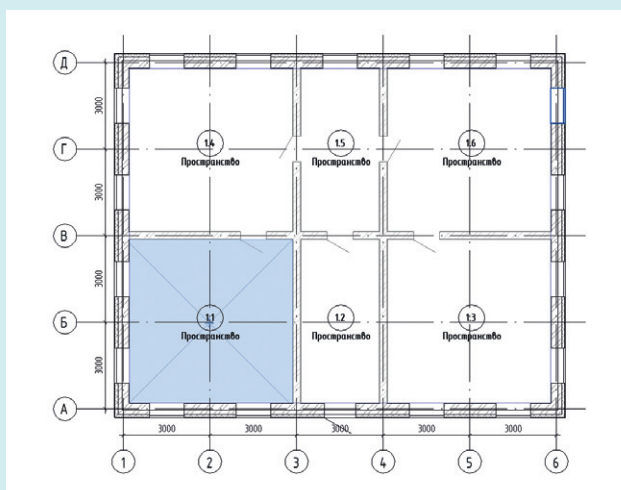


Рис. 2. Разделение здания на пространства и зоны

Геометрию здания можно передавать в эти программы в различных открытых форматах: IFC, gbXML и прочих. Для своих тестов геометрию здания я создавал в Autodesk Revit 2022 (рис. 1). В приложении можно создать детальную геометрию здания, задать все необходимые свойства строительных конструкций – например, структуру стен, теплофизические свойства материалов.

Для моделирования необходимо задать ориентацию здания по сторонам света. На рис. 1 показана возможность расчета освещенности и затенения в любое время года и суток.

После того как были созданы конструкции здания, необходимо определить все помещения или пространства внутри (рис. 2). Для каждого пространства задается информация о характере его использования в жизненном цикле здания: назначение, количество поступающего и удаляемого воздуха, количество людей, тепловыделение от оборудования, данные об освещении и т. д.

Важное отличие от привычных нам расчетов по средним значениям за отопительный сезон – необходимость задания детального графика использования энергетических ресурсов по времени (рис. 3).

Все это необходимо для расчета энергопотребления, в результате чего мы получим сумму всех источников тепла и холода за весь период

привлекательность. Также немаловажно иметь возможность уменьшить негативное влияние здания и его энергосистем на природу.

Такого рода технологии инженерного анализа и оптимизации позволят проектным и строительным компаниям увеличить ценность цифровых информационных моделей, на которые приходится тратить немалые средства. В свою очередь, владение такого рода инженерными навыками позволит компаниям не только значительно повысить свою значимость в современных условиях российского рынка, но и постепенно выходить на мировой уровень предоставления инженерных услуг.

### Литература

1. ЦНИПИАСС. <https://ru.wikipedia.org/wiki/ЦНИПИАСС>.
2. Chuck Eastman, Paul Teicholz, Rafael Sacks, Kathleen Liston. BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors 1st Edition, Wiley; 1st edition, 2008.
3. Криницкий Е. В. Что такое «Информационная модель здания» (BIM) // Инженерно-строительный журнал. 2010. №

2. [https://engstroy.spbstu.ru/userfiles/files/2010/2\(12\)/krinicky\\_BIM.pdf](https://engstroy.spbstu.ru/userfiles/files/2010/2(12)/krinicky_BIM.pdf).

4. Ассоциация buildingSMART. <https://www.buildingsmart.org/>.

5. Industry Foundation Classes. <https://www.buildingsmart.org/standards/bsi-standards/industry-foundation-classes/>.

6. John Messner, Chimay Anumba, et al. BIM Project Execution Planning Guide – Version 2.2. <https://psu.pb.unizin.org/bimprojectexecutionplanningv2x2/>.

7. Табунщиков Ю. А., Бродач М. М. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий. М.: АВОК-ПРЕСС, 2002.

8. DOE-2. <https://doe2.com/>.

9. Berkley Laboratory. <https://www.lbl.gov/>.

10. EnergyPlus. <https://energyplus.net/>.

11. OpenStudio. <https://openstudio.net/>.

12. EnergyPlus™ Version 9.6.0 Documentation. Engineering Reference. [https://energyplus.net/assets/nrel\\_custom/pdfs/pdfs\\_v9.6.0/EngineeringReference.pdf](https://energyplus.net/assets/nrel_custom/pdfs/pdfs_v9.6.0/EngineeringReference.pdf).

13. Описание ввода/вывода EnergyPlus. [https://energyplus.net/assets/nrel\\_custom/pdfs/pdfs\\_v9.6.0/InputOutputReference.pdf](https://energyplus.net/assets/nrel_custom/pdfs/pdfs_v9.6.0/InputOutputReference.pdf). ■

года. Суммирование будет проводиться за каждый час года. По сути, для каждого пространства за каждый час решается уравнение теплового баланса, где учитывается теплопередача через ограждения, окна, двери, перекрытия. Внутри пространства действуют источники энергии, зависящие от времени года и суток; расход воздуха и его параметры также могут быть переменными по времени.

Наружные условия с определенной вероятностью тоже меняются в течение каждого часа года. Меняется температура и влажность наружного воздуха, поток солнечной радиации ввиду разного относительного положения солнца. В расчетах можно учитывать распределение потоков воздуха в окружающей застройке (CFD-моделирование), затенение от соседних зданий (отбрасываемые тени меняют форму в течение дня и года).

Также важно отметить, что остывание или нагрев строительных конструкций, их теплоемкость тоже обязаны быть учтены в расчете. Не стоит забывать и о радиационном теплообмене.

Уже из этого краткого резюме можно сделать вывод: без специального ПО, вручную, произвести такого рода вычисления практически невозможно. В этом случае придется прибегать к значительным упрощениям математической модели, что повлечет снижение ценности подобных расчетов.

Следующим шагом для выгрузки информации в программы расчета создается так называемая энергетическая модель здания (рис. 4), где можно увидеть все границы пространств, правильность их сопряжения,

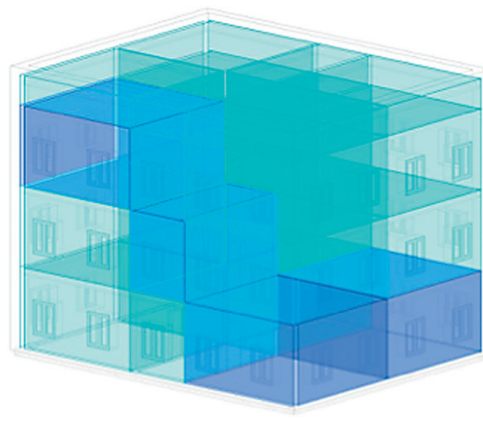


Рис. 4. Модель для расчета энергопотребления здания

проверить задание всех энергетических параметров передаваемых в расчет объектов.

На выходе из приложения имеем файл, содержащий модель в формате gbXML, и специальный файл сценария для приложения OpenStudio в формате OSW. Далее (опустим некоторые излишние подробности) в OpenStudio подготавливается файл данных уже для расчетного ядра EnergyPlus. На выходе, после моделирования, мы будем иметь детальную информацию о количестве потребленной за год энергии с учетом всех процессов, происходящих в здании, и при заданных режимах работы инженерных систем.

Полученные данные позволяют с достаточной точностью определить класс энергопотребления здания, достаточность теплоизоляции, влияние на здание характера работы инженерных систем. Также возможно оценить воздействие различных факторов на здание при его расположении в существующей застройке.

В принципе, количество потребленной за год энергии должно быть близко к реально измеренному счетчиками в процессе эксплуатации, что, собственно, и показывает зарубежный опыт.

**Такого рода расчеты необходимы для получения классов эффективности зданий в соответствии с международными практиками LEED и BREEAM.**

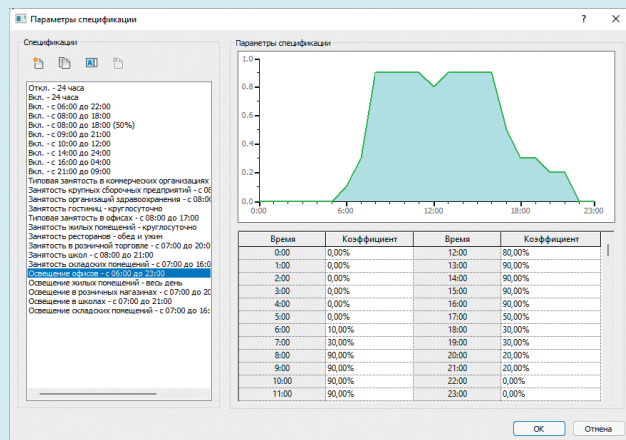


Рис. 3. График использования энергоресурсов