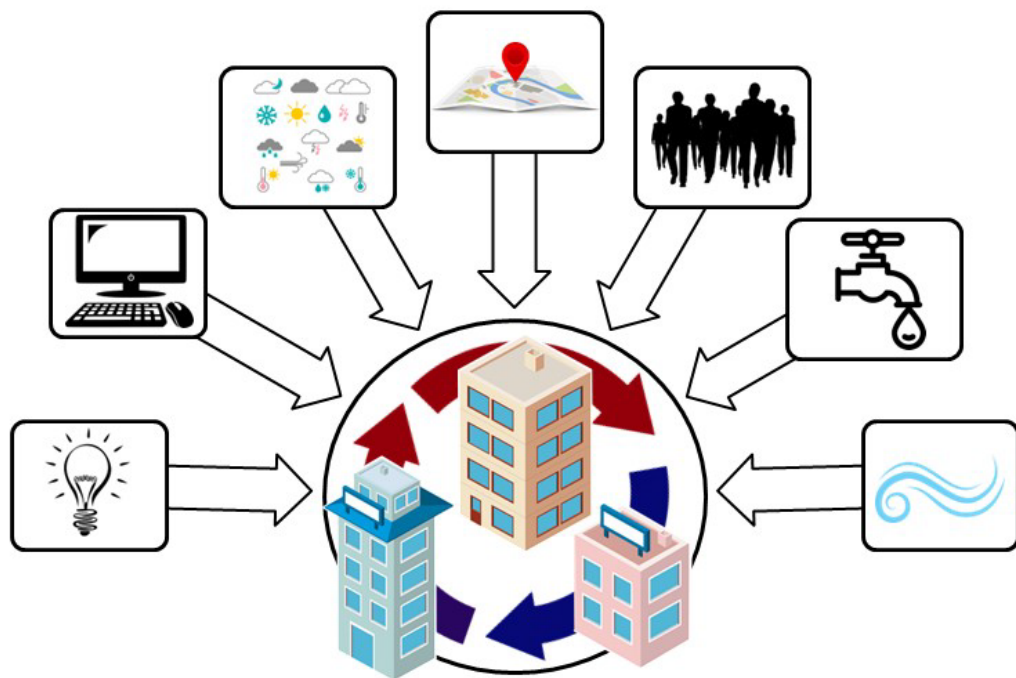


ІІТМО

В.А. Никитина, А.Б. Сулин

ЭНЕРГОМОДЕЛИРОВАНИЕ В ПРОГРАММЕ OPENSTUDIO



Источник: Собственная вёрстка

**Санкт-Петербург
2025**

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

В.А. Никитина, А.Б. Сулин
ЭНЕРГОМОДЕЛИРОВАНИЕ В ПРОГРАММЕ
OPENSTUDIO

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

РЕКОМЕНДОВАНО К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ В УНИВЕРСИТЕТЕ ИТМО
по направлению подготовки 15.04.02, 16.04.03
в качестве Учебно-методического пособия для реализации основных
профессиональных образовательных программ высшего образования
магистратуры

ИТМО

Санкт-Петербург
2025

Никитина В.А., Сулин А.Б., Энергомоделирование в программе OpenStudio— СПб: Университет ИТМО, 2025. – 89 с.

Рецензент(ы):

Никитин Андрей Алексеевич, кандидат технических наук, доцент, доцент (квалификационная категория "ординарный доцент") образовательного центра "Энергоэффективные инженерные системы", Университета ИТМО.

Пособие содержит теоретические и практические основы работы в программе OpenStudio. Рассмотрена методика энергомоделирования здания. Представлены общие сведения о инженерных системах и теплообмене в здании. В практической части представлено задание по созданию модели в OpenStudio.

ИТМО

ИТМО (Санкт-Петербург) — национальный исследовательский университет, научно-образовательная корпорация. Альма-матер победителей международных соревнований по программированию. Приоритетные направления: IT и искусственный интеллект, фотоника, робототехника, квантовые коммуникации, трансляционная медицина, Life Sciences, Art&Science, Science Communication.

Лидер федеральной программы «Приоритет-2030», в рамках которой реализуется программа «Университет открытого кода». С 2022 ИТМО работает в рамках новой модели развития — научно-образовательной корпорации. В ее основе академическая свобода, поддержка начинаний студентов и сотрудников, распределенная система управления, приверженность открытому коду, бизнес-подходы к организации работы. Образование в университете основано на выборе индивидуальной траектории для каждого студента.

ИТМО пять лет подряд — в сотне лучших в области Automation & Control (кибернетика) Шанхайского рейтинга. По версии SuperJob занимает первое место в Петербурге и второе в России по уровню зарплат выпускников в сфере IT. Университет в топе международных рейтингов среди российских вузов. Входит в топ-5 российских университетов по качеству приема на бюджетные места. Рекордсмен по поступлению олимпиадников в Петербурге. С 2019 года ИТМО самостоятельно присуждает ученые степени кандидата и доктора наук.

© Университет ИТМО, 2025

© Никитина В.А., Сулин А.Б., 2025

Содержание

Список использованных сокращений	5
Введение.....	6
1. Теоретические основы энергомоделирования	7
1.1 История развития	7
1.2 Отличия BEM от BIM моделирования	11
1.3 Программа для энергомоделирования.....	13
2. Основные этапы разработки модели.....	17
2.1 Общие вопросы моделирования.....	17
2.2 Стадии разработки модели.....	20
2.3 Структура здания	21
2.4 Инженерные сети здания.....	26
3. Особенности моделирования в программе OpenStudio	35
3.1 Описание OpenStudio.....	35
3.2 Особенности интерфейса программы OpenStudio.....	35
3.4 Правила разработки моделей.....	40
3.5 Работа с погодными файлами.....	41
3.6 Работа с ошибками при симуляции процесса моделирования в программе	45
4. Особенности работы с выгрузкой данных из программы OpenStudio	47
4.1 Выбор вида выгружаемых данных и работа с библиотекой BCL	47
4.2 Работа с программой Timestep.....	50
5. Разработка энергомоделей	52
5.1 Создание материалов и конструкций.....	52
5.2 Создание 3D модели здания.....	57
5.3 Создание графиков и расписания работы систем.....	62
5.4 Добавление нагрузок в модель	65
5.5 Добавление информации о помещениях и термо зонах	68
5.7 Интеграция инженерных систем в модель здания	73
6. Варианты заданий для самостоятельной работы.....	80
6.1 Задание №1 – Создание энергомодели здания.....	80

6.2 Задание №2 Создание инженерных систем.....	83
7. Требования к оформлению отчётных материалов	85
8. Контрольные вопросы	86
Список литературы	87

Список использованных сокращений

RFM – Response Factor Methods, методы коэффициента отклика
ASHRAE – American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, Американское общество инженеров по отоплению, холодильной технике и кондиционированию воздуха
ASHAE - American Society of Heating and Air-Conditioning Engineers, Американского общества инженеров по отоплению и кондиционированию воздуха
ASRE - American Society of Refrigerating Engineers, Американского общества инженеров по холодильному оборудованию
ОВКВ - отопление, вентиляция, кондиционирование воздуха
HVAC – heating, ventilation and air conditioning
VAV – variable air volume
CAV – controlled air volume
PTAC – Packaged Terminal Air Conditioner
CFD – Computational Fluid Dynamics
NSB - National Bureau of Standards, Национальное бюро стандартов
NBSLD - National Bureau of Standards Load Determination, Национальное бюро стандартов по определению нагрузки
APEC - Automated Procedures For Engineering Consultants
HCC - Heating and Cooling Peak Load Calculation, Расчет пиковой нагрузки при нагреве и охлаждении
BEM - Building Energy Modeling, моделирование энергопотребления здания
GATC - General American Transportation Corporation
NECAP - NASA Energy-Cost Analysis Program, Программа НАСА по анализу энергетических затрат
DOD - Министерство обороны США
CERL - Исследовательская лаборатория строительной инженерии армии США
BLAST - Анализ строительных нагрузок и системная термодинамика
ERDA - Управление энергетических исследований и разработок
SEC - Калифорнийская энергетическая комиссия
TRNSYS - The Transient Energy System Simulation Tool
DOE - Department of Energy, Министерство энергетики
BIM - Building Information Modelling, Информационное моделирование зданий
ТИМ - Технология информационного моделирования
BCL – Building Component Library

Введение

Энергомоделирование является важным этапом при проектировании или модернизации здания, поскольку именно годовой динамический теплофизический и энергетический расчёт позволяет рассмотреть все преимущества и недостатки выбранного решения. Здание по своей сути является оболочкой с различными процессами внутри, поэтому оно является системой, которая подчиняется широкому спектру правил. В энергомоделировании создаётся цифровой двойник или модель существующего или запланированного здания, это позволяет детализировать процессы и анализировать ключевые показатели эффективности объекта без лишних затрат. Модель является основой энергомоделирования, которое позволяет сравнивать затраты и эксплуатационные характеристики проекта при относительно небольших усилиях. В годовом расчёте учитываются погодные данные, относящиеся к конкретному региону нахождения сооружения, жизнедеятельность людей, потребление электроэнергии, водоснабжение, газовое оборудование, системы поддержания микроклимата, геометрия и материалы объекта, требования и нормы для конкретного проекта, окружающая внешняя обстановка, состоящая из других зданий и сооружений. Из этого складываются теплопритоки и теплопотери здания. Энергомоделирование также позволяет проводить исследования работы различных систем и оборудования и создавать их вариации для выбора наиболее оптимального решения. Использование комбинации из программных продуктов позволяет провести наиболее гибкий и качественный расчёт, поэтому для энергомоделирования можно использовать, например OpenStudio, Timestep и Excel. Это позволит составить полноценный отчёт о проделанной работе. OpenStudio будет задействован как инструмент для энергетического и теплофизического расчёта, Timestep для вывода данных в необходимом формате, а Excel для компоновки всей полученной информации и её визуализации.

1. Теоретические основы энергомоделирования

1.1 История развития

Учитывая, что подавляющее большинство программ для энергомоделирования разработаны в Соединённых Штатах Америки, важно обратиться к истокам таких программных обеспечений, рассмотреть связь с академическими кругами, организациями и правительством, чтобы понимать нынешнее состояние и существующие барьеры.

Истоки моделирования закладывались ещё в 1925 году, когда Несси и Нисоль использовали методы коэффициента отклика (Response Factor Methods (RFM's)) для расчёта теплового потока. Но только в начале 1960-х годов Миталас и Стивенсон опубликовали статьи, которые поднимали вопрос и рассматривали передачу тепла через стены с помощью метода RFM [1].

В 1959 году появилось объединение ASHRAE (American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers – Американское общество инженеров по отоплению, холодильной технике и кондиционированию воздуха), которое было основано благодаря слиянию Американского общества инженеров по отоплению и кондиционированию воздуха (American Society of Heating and Air-Conditioning Engineers (ASHAE)) и Американского общества инженеров по холодильному оборудованию (American Society of Refrigerating Engineers (ASRE)). С тех пор ASHRAE является ключевым звеном для разработки и распространения методов энергетического моделирования зданий и сооружений.

Инженерные компании, занимающиеся разработкой систем ОВКВ, в 1960-х годах расчёты динамического теплового потока в зданиях для определения пиковых нагрузок на инженерные сети проводили вручную. Компанией Carrier было опубликовано руководство по проектированию систем. В конце 1960-х Брэдли Пиви, учёный из Национального бюро стандартов (NSB), располагая передовыми компьютерами и спонсируемый Управлением гражданской обороны, разработал методы определения теплопроводности в подземных убежищах при радиоактивных осадках [2]. Тамами Кусуда, основываясь на работе Пиви, разработал компьютерную программу для прогнозирования тепловых характеристик, и она получила название Национальное бюро стандартов по определению нагрузки (NBSLD) [3]. NBSLD была основана на RFM и могла моделировать только одно помещение. Программа объединила в себе алгоритмы расчёта теплопроводности здания, солнечных теплопритоков, лучистого излучения и конвекции между стенами здания и воздухом в комнате. Это был первый значительный шаг к моделированию энергопотребления целого здания. Фрэнк Пауэлл и Дуглас Берч подтвердили точность модели Кусуды при помощи множества измерений, которые были выполнены на бревенчатом доме, доме на колёсах, здании с

каменными стенами, различных домах с вентиляцией, с термостатами, а также для большого офисного здания [3, 10].

В 1967 году компания APEC (Automated Procedures For Engineering Consultants) разработала программу APEC HCC (Heating and Cooling Peak Load Calculation, Расчет пиковой нагрузки при нагреве и охлаждении). Позже APEC сформировала группу ASHRAE, нацеленную на энергомоделирование, которая в основном использовала программу NBSLD для работы с алгоритмами энергетического расчёта [2].

В 1970 году Кусуда представил свой первый доклад о моделировании энергопотребления здания (Building Energy Modeling, BEM) под названием «Use of Computers for Environmental Engineering Related to Buildings» на первой международной конференции по моделированию характеристик зданий в Мэриленде [4]. Конференция была спонсирована NBS, ASHRAE и APEC.

В 1971 году почтовое отделение США поручило General American Transportation Corporation (GATC) разработать компьютерную программу для анализа энергопотребления в зданиях почтовых отделений. Это стало первой общедоступной программой BEM, которая получила название «Post Office Program» («Программа почтового отделения») [5].

В 1975 году ASHRAE приняла первый стандарт ASHRAE 90-75, который был посвящён энергосбережению зданий. Также Национальное управление по авиации и исследованию космического пространства НАСА разработало Программу НАСА по анализу энергетических затрат (NECAP), основанную на «Программе почтового отделения». Примерно в то же время Министерство обороны США (DOD) также заинтересовалось моделированием энергопотребления зданий, в первую очередь для улучшения конструкций убежищ от радиоактивных осадков. Исследовательская лаборатория строительной инженерии армии США (CERL) создала программу «Анализ строительных нагрузок и системная термодинамика» (BLAST). Первоначально он мог моделировать некоторые базовые системы зданий, а затем и несколько зон [3]. К 1977 г. Управление энергетических исследований и разработок (ERDA) и Калифорнийская энергетическая комиссия (CEC) модернизировали NECAP и переименовали его в CAL-ERDA [1]. В 1978 г. CEC приняла CAL-ERDA в качестве официальной программы BEM Калифорнии, ERDA стала DOE, а CAL-ERDA стала DOE-1. В следующем году DOE изменило DOE-1 на DOE-2.

Параллельно в начале 1970-х годов Лаборатория солнечной энергии Университета Висконсин-Мэдисон и Лаборатория приложений солнечной энергии Университета Колорадо начали совместный проект по изучению новых технологий солнечной энергии. Солнечное отделение ERDA (теперь DOE), профинансировало этот проект, который включал строительство модельного дома в Колорадо. В качестве дипломной работы Сэнди Кляйн из Университета Висконсин-Мэдисон разработал программу на Фортране для прогнозирования

энергопотребления модельного здания. Эта программа стала известна как The Transient Energy System Simulation Tool (TRNSYS) [6]. В 1975 году была выпущена первая общедоступная версия TRNSYS, версия 6.

1980-е годы стали эпохой обновлений существующих программ. Министерство энергетики США обновило DOE-2 до DOE-2.1a в 1981 году и последовательно поддерживало дальнейшее развитие программы до середины 1990-х годов. Министерство обороны обновило BLAST до BLAST 1.2, а затем до BLAST 2.0. Калифорнийская энергетическая комиссия увидела необходимость в разработке инструмента BEM, который оценивал бы соответствие энергетическому кодексу на основе производительности с помощью «наборов правил», встроенных в сами инструменты. Это привело к разработке и выпуску COMPLY 24 в 1985 году, графического интерфейса двигателей DOE-2.1, адаптированного для соответствия Title-24. В 1981 году Carrier Corporation выпустила программу для ПК под названием Commercial Load Estimating v1.0. За этим последовал HAP v1.0, унифицированный инструмент для оценки пиковых нагрузок, проектирования систем и почасового анализа энергопотребления, выпущенный в 1987 году.

eQUEST v1.2 была выпущена 27 января 2000 году и разрабатывается по сегодняшний день. В это время Министерство энергетики сосредоточило свои усилия по развитию на своей новой программе под названием EnergyPlus. Программное обеспечение EnergyPlus берет свое начало от программы iBLAST, а также использует функции, взятые из DOE-2.1E, с существенными изменениями в методах решения и множеством дополнений к моделированию.

В 1997 году, заметив отсутствие интеграции и связи между новыми моделями BIM и устоявшимися моделями BEM, Green Building Studio, Inc. начала разработку Green Building XML. Первая версия XML-схемы Green Building появилась в июне 2000 года.

В 1998 году USGBC выпустила пилотную версию LEED, известную как LEED 1.0. Вскоре последовал стандарт LEED 2.0, выпущенный на рынок в марте 2000 года. Внедрение стандарта ASHRAE Standard 90.1, Приложение G — Метод оценки эффективности, обеспечило более нормативный спрос на моделирование энергопотребления зданий. Приложение G, впервые представленное в 2004 г. в качестве информативного языка и введенное в 2007 г. в качестве нормативного языка, представляет собой метод оценки эффективности здания для нежилых сооружений, превосходящий нормы ASHRAE Standard 90.1, и требует использования программного обеспечения для моделирования.

Компания Autodesk приобрела Revit Technologies в 2002 году, внедрив свою компанию в индустрию информационного моделирования зданий. А в 2008 году компания Autodesk приобрела Green Building Studio. Green Building Studio — это веб-инструмент Autodesk для моделирования энергопотребления, который использует формат gbXML и работает под управлением DOE-2.2. Теперь

Autodesk предлагает Revit Architecture 2010, Revit Conceptual Energy Analysis и Autodesk Project Vasari. Conceptual Energy Analysis и Project Vasari — первые инструменты BIM, которые напрямую экспортируются в DOE-2 и EnergyPlus40.

На рисунке 1.1 и 1.2 графически показана эволюция моделирования энергопотребления зданий [5].

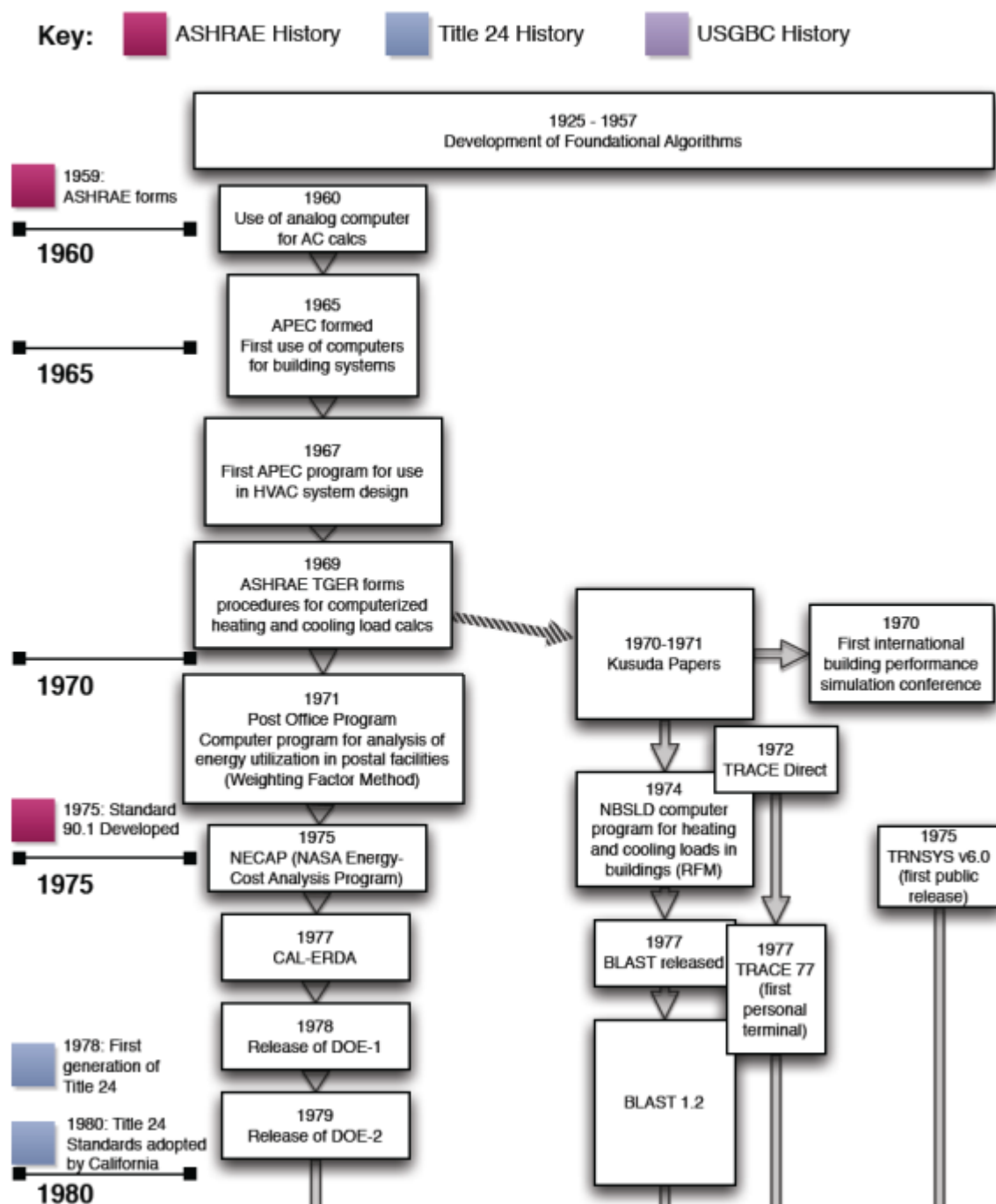


Рисунок 1.1 Хронология развития энергетического моделирования [5]

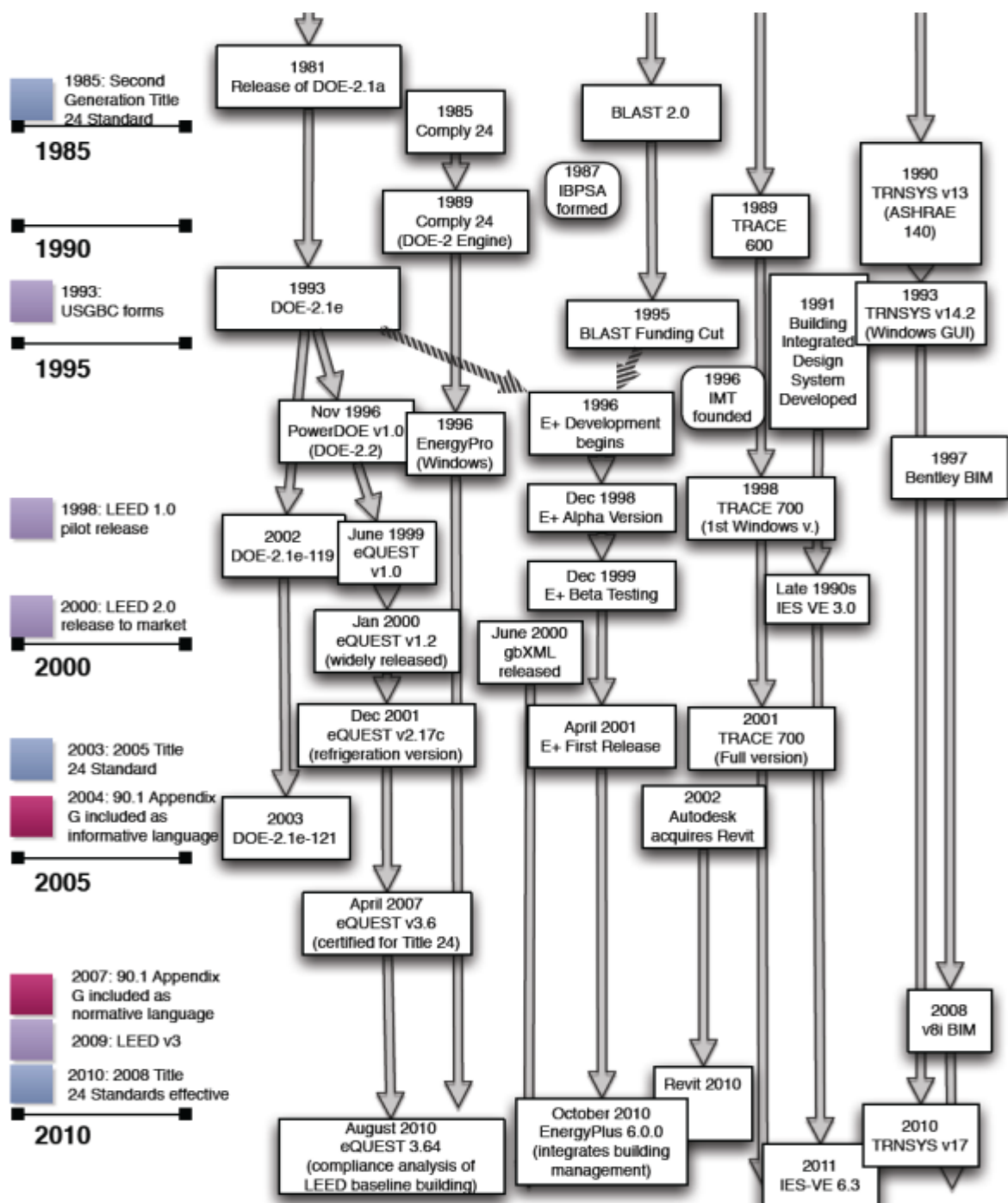


Рисунок 1.2 Хронология развития энергетического моделирования [5]

1.2 Отличия ВЕМ от ВІМ моделирования

Существуют 3 типа моделирования под названиями ВІМ, ВЕМ и CFD, но рассмотреть необходимо ВЕМ и ВІМ, так как зачастую именно их и путают.

ВІМ расшифровывается как:

- Building Information Modelling - Информационное моделирование зданий;
- Building Information Model - Информационная модель здания;
- Building Information Management - Управление информацией о здании.

BIM – это целый процесс обработки и реализации информации о зданиях, которые находятся либо на стадии строительства, либо уже введенные в эксплуатацию. Это необходимо для управления и структурирования данных о проекте, мобильности при совместной работе и применения созданной информации в различных целях на протяжении всего срока эксплуатации здания.

В России для BIM ввели термин ТИМ, который расшифровывается как технология информационного моделирования.

BEM расшифровывается как:

- Building Energy Modelling - Энергетическое моделирование зданий;
- Building Energy Model - Энергетическая модель здания;
- Building Energy Management - Энергоменеджмент зданий.

BEM – это создание модели энергопотребления здания в зависимости от условий среды и эксплуатации. Для наглядности ниже представлена схема взаимосвязи здания с внутренними и внешними нагрузками (Рисунок 1.3).

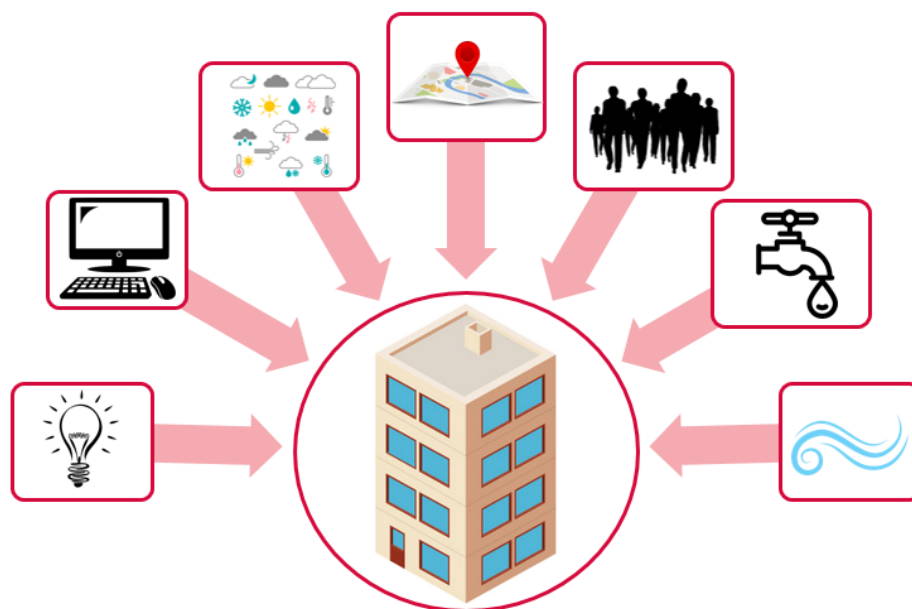


Рисунок 1.3 Нагрузки, оказывающие влияние на здание.

Самое значимое отличие BIM от BEM заключается в том, что BIM предоставляет целостное информационное моделирование жизненного цикла здания, а BEM моделирует энергопотребление и энергетические характеристики.

Тем не менее, использование этих технологии в связке является преимуществом, так как позволяет рассчитать и учесть все нюансы на

предпроектном этапе. При моделировании можно на раннем этапе выявить риски, сэкономить ресурсы и в итоге оптимизировать все процессы. Имея данные по энергопотреблению, можно установить прочную связь между дизайном проекта и его производительностью.

1.3 Программа для энергомоделирования

Данное методическое пособие помогает разобраться в использовании программы OpenStudio и сопутствующих дополнений. Программа находится в открытом доступе с бесплатной лицензией. Обновления появляются регулярно. При необходимости можно создавать свои настройки программы. OpenStudio — это кроссплатформенная коллекция программных инструментов для поддержки моделирования энергопотребления всего здания с использованием EnergyPlus и расширенного анализа дневного света с использованием Radiance. OpenStudio — это проект с открытым исходным кодом, призванный способствовать развитию сообщества, расширению и внедрению в частном секторе.

При умении работать с языками программирования C++, Ruby, Python, можно вносить изменения в программу и модели. Если такового навыка не имеется, то всегда можно загрузить готовый код в программу, который, как правило, можно найти на открытом ресурсе GitHub.

Программа позволяет проводить анализ здания на энергетическом уровне, то есть выяснять все слабые и сильные стороны проекта. Создаётся 3D модель здания или помещения, вводятся графики и режимы работы здания и систем. Задаётся информация об ограждающих конструкциях, внутренних нагрузках. Создаётся инженерная сеть здания. Добавляется погодный файл, который содержит информацию о погодных условиях конкретного города, в котором заключены данные о температуре воздуха, влажности, скорости ветра, солнечной радиации с шагом в час. Программа обрабатывает введённые данные при помощи общедоступных формул и выводит отчёт в выбранном виде. Это позволяет получить зависимости и проанализировать работу различных инженерных систем и здания в целом.

При работе со строительными конструкциями и материалами можно выделить следующие плюсы.

- Всем типам конструкций (наружные стены, окна, полы и т. д.) в здании можно задать материалы по умолчанию;
- Широкая настройка свойств остекления;
- Встроенная библиотека (строительных конструкций, нагрузок, связанных расписаний, оборудования, способов анализа процессов);
- Настройка количества людей, освещения, розеточных нагрузок, газовых нагрузок, паровых нагрузок, внутренней массы, оборудования для

использования воды, требований к вентиляции и инфильтрации (нагрузки по площади помещений или фактическое количество);

- Возможно задать нагрузки в одном месте или применить их ко всему зданию.

Просмотр и редактирование созданной модели производится в редакторе с сеткой, которая позволяет визуально оценивать размеры за счёт настройки масштаба рабочего поля.

Системы ОВК:

- Графическая визуализация систем, зон и их соединений;
- Удобство и простота редактора схем;
- Библиотека элементов для создания систем HVAC:
 - Компоненты системы водоснабжения:
 - Бойлеры (все виды топлива);
 - Центральное отопление и охлаждение;
 - Заданная температура источника нагрева/охлаждения;
 - Градирни;
 - Одно- и двухскоростные охладители жидкости, и испарительные охладители жидкости;
 - Чиллеры (электрические, абсорбционные, не прямые);
 - Вертикальный и горизонтальный наземный теплообменник;
 - Насосы с постоянной и переменной скоростью;
 - Жидкостные теплообменники;
 - Управление системой водоснабжения;
 - Солнечные коллекторы;
 - Трубы (потеря тепла внутри помещения, потеря тепла снаружи или адиабатические);
 - Хранилища для льда и охлажденной воды;
 - Компоненты воздушной системы:
 - Двухканальные системы;
 - Системы переключения байпаса;
 - Забор наружного воздуха с экономайзерами и управлением заслонкой;
 - Теплообменники;
 - Односкоростные, многоскоростные и регулируемые нагревательные катушки DX (тепловые насосы);
 - Водовоздушные тепловые насосы;
 - Вентиляторы с переменной и постоянной скоростью;
 - Паровые увлажнители (с электропитанием), используемые с зональными увлажнителями;
 - Прямые и не прямые испарительные охладители;

- Терминалы VAV-Reheat и CAV-Reheat (газовые, электрические и водяные калориферы);
- VAV терминалы без подогрева;
- Серийные и параллельные вентиляторы с подогревом (все виды топлива);
- Диффузоры;
- Управление воздушной системой:
 - Контроллеры вентиляции;
 - Элементы управления ночного цикла (вся система и / или терминальные вентиляторы);
 - Управление системой VAV в одной зоне;
 - Оптимальный стартовый контроль;
 - Системы отопления и охлаждения на уровне зоны;

Агрегаты отопительные (все виды топлива):

- Вентиляторы;
- Вентиляторы с рекуперацией энергии;
- Осушители;
- Низкотемпературный лучистый обогрев (электрическая, переменная и постоянная подача воды);
- Низкотемпературное лучистое охлаждение (переменная и постоянная подача воды);
- РТАС (DX охлаждение + вентилятор + все отопительные топлива);
- Водяной тепловой насос;
- Воздушный тепловой насос;
- Вытяжные вентиляторы;
- Четырехтрубные фанкойлы (могут поставляться через систему DOAS);
- Плитусы электрические и водогрейные;
- Высокотемпературные лучистые обогреватели (газовые и электрические);
- Зональная передача воздуха (смешивание воздуха в зоне);
- Системы с переменным расходом хладагента;

Охлаждение в коммерческих целях:

- Холодильные системы;
- Каскадные холодильные системы;
- Заполненные жидкостью системы вторичного охлаждения;
- Морозильные камеры;
- Компрессоры;
- Конденсаторы с воздушным, водяным и испарительным охлаждением;
- Жидкостные теплообменники и механические переохладители;

- Восстановление тепла в бытовых системах горячего водоснабжения (пароохладитель);
- Рекуперация тепла в унитарные воздушные системы (пароохладитель);

Бытовые водные системы:

- Нагреватели горячей воды (все виды топлива, включая тепловой насос);
- Оборудование, которое использует теплую воду (душ, смесители и т.д.);
- Оборудование, которое использует только холодную воду;
- Рециркуляция, без насоса или проточных водонагревателей.

2. Основные этапы разработки модели

2.1 Общие вопросы моделирования

Основная задача, которая стоит перед проектировщиками – это создание комфортной среды обитания для человека, обеспечиваемой архитектурными и инженерными системами здания. Чтобы рассчитать, что нужно сделать для обеспечения требуемого комфорта, необходимо учесть множество процессов, которые этому препятствуют или способствуют. Краткая схема моделирования представлена на рисунке 2.1.

В расчет включены все основные факторы и механизмы взаимодействия, которые имеют место в реальности. По сути, в ходе проектирования создается некая математическая модель здания, отражающая его работу в реальных условиях. Такая модель называется моделью энергопотребления здания, BuildingEnergyModel, она включает в себя архитектурную модель, связывая ее с инженерными системами. Эта связь описана в математических алгоритмах, на которых построена программа расчета. У инженеров нет необходимости вводить эти алгоритмы, но тем более ответственным является ввод начальных данных.

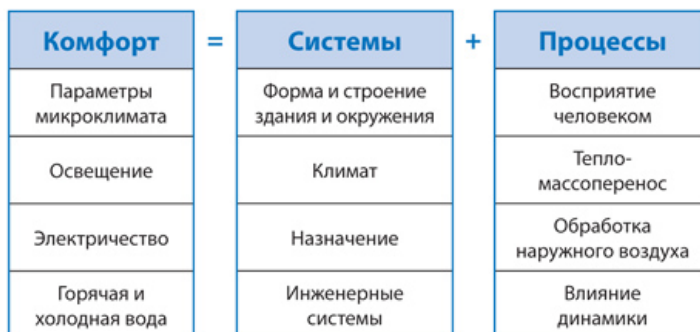


Рисунок 2.1 - Этапы моделирования

Для того, чтобы модель была пригодна к моделированию энергопотребления, необходимо внести в неё некоторые упрощения, поскольку несмотря на мощность компьютеров и программ, невозможно обработать все детали архитектуры в рамках уравнений физических процессов тепломассопереноса. Поэтому существуют основные правила упрощения архитектуры.

1. Необходимо определить, какие ограждающие конструкции относятся к проектируемому зданию, а какие нет;
2. Все конструкции обозначаются набором упрощённых плоскостей без детализации материалов. Используется только отражательная способность поверхностей;

3. Различные колонны, балки, мелкие вентиляционные шахты и прочее не проектируются в модели и соответственно не участвуют в расчётах. В исключения входят только элементы, которые составляют значительную часть от общей площади, в таком случае они изображаются стенами;
4. Ограждающие конструкции или поверхности делятся на внутренние, внешние и затеняющие;
5. Конструкции привязываются либо к наземному, либо подземному типу;
6. Все поверхности должны замыкаться и не образовывать пустых проёмов. Появление щелей при нестыковке поверхностей может вызывать ошибки в программе.

К основным компонентам модели относятся:

1. Погодные данные – это массив параметров окружающей среды, таких как температура, влажность, давление, скорость ветра, значение солнечной радиации. Эти данные используются даже в ручных расчетах, и часть из них содержится в нормативной документации. В мировой практике используются массивы почасовых значений каждого параметра. Они представлены в виде отдельных файлов, которые являются исходными данными для программ энергомоделирования. В ходе расчета явным образом учитывается детальная динамика внешних условий, что значительно приближает результаты расчета к реальности. Без почасовых погодных данных моделирование невозможно;
2. Геометрия здания и окружения – не менее очевидный и важный компонент в общей модели энергопотребления. Необходимо отметить, что геометрическая модель, участвующая в ВЕМ, может отличаться от исходной архитектурной. Дело в том, что в ходе расчетов теплопереноса все программы моделирования используют одномерное приближение. Это обязывает все компоненты геометрии быть плоскими многоугольниками – любые кривые линии и поверхности исключены. С одной стороны, это зачастую обязывает тратить время на переделку геометрии под требования расчетных программ. С другой стороны, простота геометрической модели позволяет её создавать даже начинающим инженерам. В геометрическую модель входят только элементы, участвующие в процессах тепломассопереноса: внешние и внутренние ограждающие конструкции, элементы внутренней тепловой инерции, затеняющие элементы здания и окружения. Все они, за исключением затеняющих, описываются физическими параметрами материалов, из которых состоят. Обязательными являются базовые

параметры: плотность, толщина слоя, теплопроводность, теплоемкость и коэффициенты отражения видимого и ИК-излучения. Эти параметры можно вводить как в архитектурных программах и передавать их в универсальных форматах, так и в самих расчетных программах, например, когда требуется отследить изменения в потреблении энергии в зависимости от изменения ограждающих конструкций, ориентации здания;

3. «Расписания» – это почасовые значения параметров модели, заменяющие стационарные величины, например, расчетную температуру в помещении. Ни одно здание не функционирует стационарно. Меняется количество людей, включается и выключается свет в зависимости от условий освещенности и присутствия людей, включаются и выключаются кондиционеры в зависимости от теплопритоков от освещения, людей и солнца и т.д. Расчетные величины и внутренние нагрузки здания моделируются не отдельными значениями, а, так же, как и внешние условия, в виде почасовых профилей, по-английски *schedules* – «расписания». Это – самый мощный инструмент гибкой настройки модели, возможности ввести и отследить реальную динамику энергопотребления и изменения параметров. Различают два вида «расписаний»: задающие внутренние нагрузки (количество людей, потребление электричества системами освещения и оборудованием, потребление воды) и задающие внутренние параметры (микроклимат в помещениях, параметры работы инженерных систем и др.). Для большинства общественных и административных зданий, а также для жилых существуют целые библиотеки «расписаний» первого типа. Эти библиотеки собраны в стандартах ASHRAE и CIBSE на основе многолетних наблюдений. Они позволяют смоделировать внутренние нагрузки типовых помещений, приближая модель энергопотребления к реальному положению вещей;

4. Модели систем и оборудования – это часть математических алгоритмов, заложенных в ВЕМ-программы. Ввиду большой сложности инженерных систем по сравнению с той же архитектурной составляющей, в большинстве программ предусмотрено два уровня их детализации: шаблонный и поэлементный. Шаблоны – это готовые «среднестатистические» системы, которые характеризуются лишь основными параметрами. Например, система вентиляции, совмещенная с фанкойлами, характеризуется только расходом наружного воздуха, температурой приточного воздуха и давлением, которое создает вентилятор. Полный расход с учетом рециркуляции, потребление тепла и холода,

электрической мощности программа рассчитывает на основе встроенной модели такой системы и требуемых от нее мощностей. Как и с «расписаниями», многие расчетные программы имеют встроенные шаблоны типовых систем вентиляции, холодоснабжения, отопления и др. И так же эти шаблоны опираются на американские и английские стандарты, регламентирующие, что называется типовой системой и какова должна быть ее эффективность. Поэлементный уровень детализации предусматривает «сборку» всех систем из основных компонентов. При этом каждый компонент моделируется отдельным набором параметров и характеристик. Это более сложный и трудоемкий путь моделирования, необходимый лишь когда не удастся воспользоваться шаблоном или когда требуется детальная проработка и настройка модели. Но при этом он дает максимум информации о работе инженерных систем и функционировании здания в целом.

На уровне шаблонов могут быть описаны не только инженерные системы, но и здания целиком. Так, возможно оценить энергопотребление здания, ограничившись только геометрией, без параметров ограждающих конструкций, погодными данными и типом здания. Программы, имеющие соответствующий функционал, применяют к данному зданию шаблоны материалов, внутренних параметров, нагрузок и инженерных систем. Количественный результат при этом будет не слишком точным, но даже такая грубая модель позволит отследить качественные изменения при смене ориентации, компоновки и внутреннего устройства здания за считанные минуты. В этом проявляется главное преимущество моделирования по сравнению с ручными расчетами – целостность и взаимосвязь составляющих.

2.2 Стадии разработки модели

Первостепенно необходимо определить, из чего состоит здание, на основании его назначения. Выбираются материалы и задаются их характеристики. Из материалов собираются конструкции, которые в дальнейшем будут наложены на геометрию объекта.

Вторым этапом создаётся модель здания. Она может быть начерчена вручную или выведена по готовому плану, который также можно наложить на карту города, чтобы точнее определить размеры, а также учесть возможное затенение соседними зданиями. В геометрию объекта входят также окна, двери, оконные откосы. Здание разбивается на тепловые зоны, которые в дальнейшем будут регулировать внутреннее воздушное пространство.

Следующим этапом вводятся внутренние нагрузки здания: люди, оборудование, освещение, водоснабжение. Под них задаются графики работы и мощности.

Добавление погодного файла влияет на динамический расчёт модели, на поведение здания в течении года.

Одним из последних этапов выступает добавление инженерных систем.

По итогу остаётся только ввести дополнительные настройки симуляции и выбрать подходящий тип отображения данных.

2.3 Структура здания

Структура здания — это классифицирование его пространства. Помещения в здании в соответствии с их назначением разделяют на группы – рабочие, обслуживающие, вспомогательные и коммуникационные. Рабочими являются помещения, предназначенные для основной функции здания, например, обучения (классы, кабинеты в школе), к обслуживающим относятся помещения, способствующие полноценному осуществлению основной функции (например, в школе - библиотека, буфеты, столовые, лаборантские при кабинетах, санитарные помещения и пр.), к вспомогательным - бойлерные, электрощитовые, вентиляционные камеры, к коммуникационным - вестибюли, холлы, коридоры, лестничные клетки и т.п.

Конструкции делятся на силовые и несиловые. К силовым относят следующие виды нагрузок и воздействий:

- постоянные нагрузки - от собственной массы конструкций здания и давления грунта основания на его подземную часть;
- длительно действующие временные нагрузки - от технологического оборудования, перегородок, длительно хранимых грузов (книгохранилища и т.п.), воздействия неравномерных деформаций грунтов основания и т.п.;
- кратковременные нагрузки и воздействия - от массы подвижного оборудования, людей, мебели, снега, ветра и т.п.;
- особые воздействия - от сейсмических явлений, просадочности лессового или протаявшего мерзлого фунтового основания здания, воздействия деформаций земной поверхности в районах влияния горных выработок и т.п.;
- воздействия, возникающие при чрезвычайных ситуациях - взрывы, пожары и пр.

К несиловым относят воздействия:

- переменных температур наружного воздуха, вызывающих линейные (температурные) деформации - изменения размеров наружных конструкций здания или температурные усилия в них при

стесненности проявления температурных деформаций вследствие жесткого закрепления конструкций;

- атмосферной и фунтовой влаги на материал конструкций, приводящие к изменениям физических параметров, а иногда и структуры материалов вследствие их атмосферной коррозии, а также воздействие парообразной влаги воздуха помещений на материал наружных ограждений, при фазовых переходах влаги в их толще;
- солнечной радиации, влияющей на световой и температурный режим помещений и вызывающей изменение физико-технических свойств поверхностных слоев конструкций (старение пластмасс, плавление битумных материалов и т.п.).

В соответствии с характером воспринимаемых воздействий конструкции зданий различают несущие (воспринимающие силовые воздействия) - фундаменты, несущие стены, каркас, перекрытия, и ограждающие - изолирующие пространство здания от неблагоприятных (атмосферные осадки, отрицательные температуры воздуха, шум и пр.) воздействий внешней (или внутренней) среды - наружные стены, крыши, перегородки и пр.

Оболочка здания делится на:

- Основание;
- Фундаменты;
- Стены;
- Перекрытия;
- Крыши;
- Перегородки.

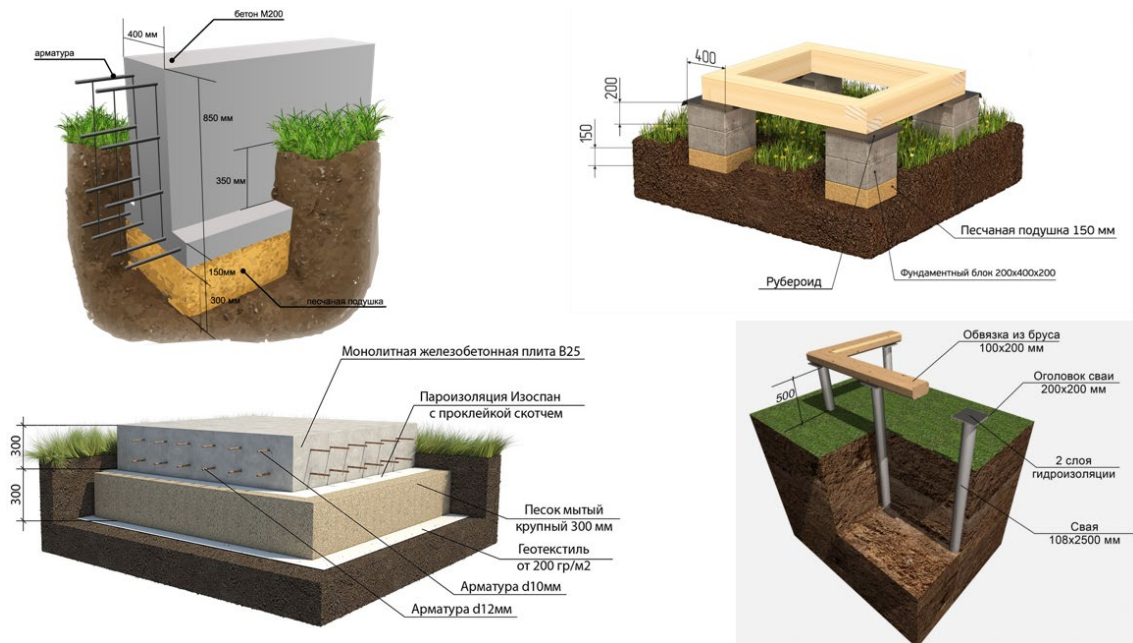
Основание - толща грунта, воспринимающая непосредственно все нагрузки и воздействия от здания.

Фундаменты (Рисунок 2.2) - подземная часть вертикальных несущих конструкций здания (стен, колонн), воспринимающая все приходящиеся на здание силовые нагрузки и воздействия и передающая их основанию. Конструкции фундаментов различны: стены (ленточные фундаменты), отдельные столбы и подушки (столбчатые фундаменты), сваи, сплошная железобетонная плита под зданием. Нижняя горизонтальная плоскость фундаментной конструкции называется подошвой фундамента, а расстояние от поверхности земли до подошвы фундамента - глубиной заложения фундамента.

Классификация фундаментов:

- Столбчатые (отдельные) фундаменты – отдельные, не связанные между собой опоры под стены или колонны здания, имеющие сравнительно небольшую глубину заложения;
- Ленточные фундаменты – сплошные линейные фундаменты под несущие стены здания;

- Плитный фундамент – сплошная фундаментная плита, как правило из монолитного железобетона, сразу под все сооружение или под секцию сооружения;
- Свайные фундаменты – ленточные, столбчатые или плитные фундаменты, опертые на сваи.



Ист.: https://baustoff-zpbi.ru/poleznye-stati/typy-fundamentov-dlya-stroitelstva-domov.html?utm_medium=organic&utm_source=yandexsmartcamera

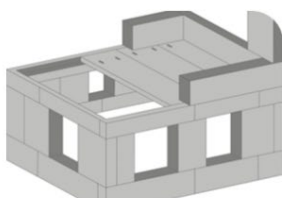
Рисунок 2.2 - Типы фундамента

Стены (Рисунок 2.3) – разделяются по назначению, типу воспринимаемых нагрузок, конструктивному решению, материалу, способу возведения. По назначению стены подразделяются на наружные и внутренние. По конструктивному решению стены могут быть монолитными, мелко- и крупноблочными, панельными и щитовыми, каркасными, сборными, комбинированными. По восприятию нагрузок: несущие, самонесущие и не несущие. По материалу: каменные, бетонные, деревянные, из синтетических материалов. По способу возведения: сборные и монолитные.

Перекрытия – это горизонтальные несущие и ограждающие конструкции. Они разделяют здания на этажи, воспринимают вертикальные и горизонтальные нагрузки и воздействия и передают их поэтажно на вертикальные несущие конструкции. Различают междуэтажные, цокольные и чердачные перекрытия, Основная ограждающая функция междуэтажных перекрытий - защита разделяемых помещений от шума, цокольного и чердачного - от охлаждения.



Каркасные



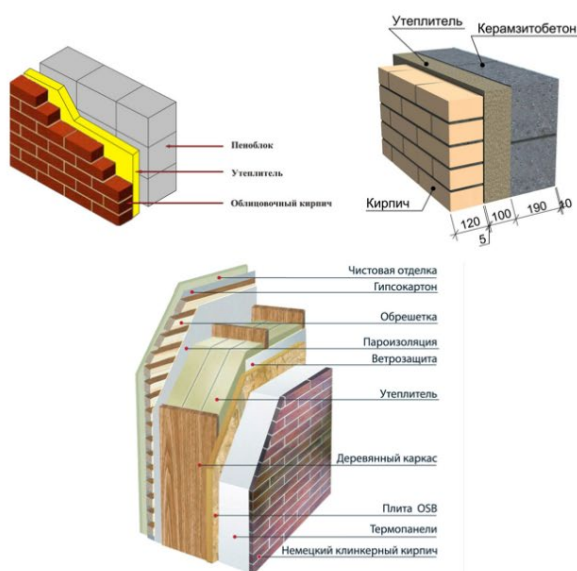
Крупноблочные



Монолитные



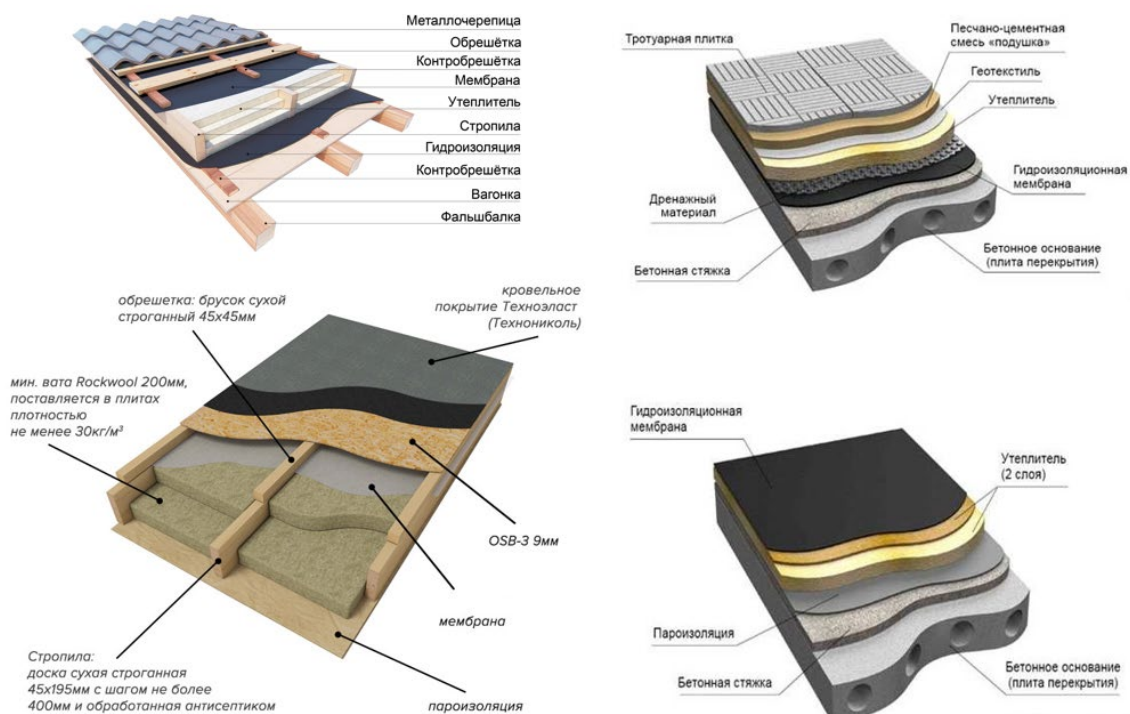
Панельные



Ист.: <https://idei.club/raznoe/26440-karkasnyj-dom-stena-v-razreze.html>

Рисунок 2.3 - Типы внешних стен

Крыши (покрытия) (Рисунок 2.4) - верхняя часть здания, предназначенная для защиты от атмосферных воздействий, образованная несущими (стропила, кровельные лотковые панели с поддерживающими их вертикальными конструкциями - стойками, подкосами, фризowymi панелями) и ограждающими гидроизоляционными (кровельными) элементами.



Ист.:

https://dpkgroup.ru/obresetka-krysi-pod-metallocerepicu-teoria-i-praktika-ot-vybora-doski-do-processa-montaza-kak-pravilno-sdelat/?utm_medium=organic&utm_source=yandexsmartcamera

Рисунок 2.4 - Типы кровельного покрытия

По конструктивному исполнению крыши можно разделить на два вида:

- Чердачные крыши – с перекрытием на уровне верхней части стен, которое отделяет пространство под кровлей от помещений, расположенных внизу. Это классический вариант для холодного климата, поскольку перекрытие можно утеплить, чтобы снизить теплопотери дома. Кроме того, пространство под кровлей подходит для использования в качестве дополнительного хозяйственного помещения или превращения его в жилое (для этого требуется утеплить кровельную систему).
- Бесчердачные (совмещенные) крыши – дополнительное потолочное перекрытие отсутствует, потолком нижнего этажа служит сама кровельная конструкция, плоская или скатная. Больше подходит для теплого климата, так как в суровых климатических условиях сложнее предотвратить потери тепла через такую крышу.

Также крыши подразделяются на виды по форме (Рисунок 2.5):

- Вальмовая (подходит для домов большой площади. Конструкция выдерживает большие нагрузки);
- Шатровая (Разновидность вальмовой кровли. Подходит для домов квадратной формы);
- Односкатная (Простая и экономичная форма. Требует минимальных затрат при строительстве);
- Двускатная (Стандартный вариант формы);
- Полувальмовая (Архитектурное решение для двускатной крыши. Усложненная конструкция);
- Многощипцовая (Подходит для квадратных и многоугольных домов);
- Сводчатая (Применяется как правило для хозяйственных и промышленных зданий прямоугольной формы);
- Бубновая кровля (Состоит из четырёх сторон в форме ромба. Подходит для квадратных домов)

Перегородки – это не несущие вертикальные конструкции. Они разделяют помещения здания, защищают их от шума и опираются на перекрытия.



Иср.: https://salsaekb.ru/chto-znachit-pokataya-krysha?utm_medium=organic&utm_source=yandexsmartcamera

Рисунок 2.5 - Формы кровельного покрытия

2.4 Инженерные сети здания

В здании необходимо поддерживать комфортные условия для людей и работоспособность технологических процессов, в зависимости от его назначения. Для этого существуют инженерные системы: вентиляция, отопление, кондиционирование, а также водоснабжение. Такие системы являются потребителями теплоты, то есть системами теплотребления. Система электроснабжения направлена на освещение и различные электроприводы. Также в здание необходим подвод таких ресурсов, как вода, газ и различные виды топлива, то есть системы водоснабжения и водоотведения, и газоснабжения.

Классификация инженерных систем зданий и сооружений:

- Вентиляция и кондиционирование;
- Водоснабжение и водоотведение;
- Газоснабжение;
- Наружное освещение;
- Теплоснабжение;
- Электроснабжение.

Системы кондиционирования воздуха – это комплекс технических средств, который направлен на создание и регулирование в закрытых помещениях таких параметров, как температура, влажность, скорость движения воздуха и степень чистоты. Системы кондиционирования воздуха (СКВ) состоят из технических средств забора воздуха, фильтров, теплообменников, увлажнителей и осушителей воздуха, вентиляторы осуществляют перемещение и распределение воздушной массы. Также СКВ включают в себя автоматику, контроллеры, средства холода и теплоснабжения.

Системы кондиционирования воздуха классифицируются по:

- Основному назначению (объекту применения) — комфортные и технологические:
 - Комфортные системы кондиционирования воздуха предназначены для создания и автоматического поддержания температуры, относительной влажности, чистоты и скорости движения воздуха, отвечающих оптимальным санитарно-гигиеническим требованиям для жилых, общественных и административно-бытовых зданий или помещений;
 - Технологические системы кондиционирования воздуха предназначены для обеспечения параметров воздуха, в максимальной степени отвечающих требованиям производства. Технологическое кондиционирование в помещениях, где находятся люди, осуществляется с учетом санитарно-технических требований к состоянию воздушной среды.
- Принципу расположения кондиционера по отношению к обслуживаемому помещению — центральные и местные:
 - Центральные системы кондиционирования воздуха могут обслуживать сразу несколько помещений или одно большое помещение и располагаются вне обслуживаемых зон. К преимуществам таких систем относится возможность подавления шума и вибраций, обслуживания и ремонта в одном месте, так как оборудование сосредоточено в подсобном помещении или на техническом этаже, а также такие системы позволяют эффективно поддерживать заданные параметры микроклимата в помещении. Но при этом центральные системы кондиционирования чаще всего невозможно установить в существующие здания в связи с крупными

габаритами оборудования и проведением сложных монтажно-строительных работ по установке кондиционеров, прокладке воздуховодов и трубопроводов;

- Местные системы кондиционирования воздуха устанавливаются непосредственно в обслуживаемые помещения. К преимуществам таких систем относится простота установки и монтажа, поэтому их можно применять как в строящихся, так и в существующих зданиях различного направления.

- Наличию собственного (т.е. входящего в конструкцию кондиционера) источника теплоты и холода — т.е. автономные и неавтономные:

- Автономные системы кондиционирования воздуха оснащены встроенными компрессионными холодильными машинами, такие системы охлаждают и осушают воздух при помощи движения вентилятором рециркуляционной воздушной массы через поверхностные воздухоохладители – испарители холодильных машин. Подогрев воздуха осуществляется в переходный и холодный период года при помощи электрических воздухонагревателей или при реверсивном работы холодильной машины;

- Неавтономные системы кондиционирования воздуха делятся на воздушные и водовоздушные. При использовании воздушных систем в помещение подаётся просто воздух, это относится к центральным кондиционерам. Водовоздушные подают в обслуживаемое помещение тёплый и холодный воздух, температура которого регулируется при помощи подведённых воздуха и воды с требуемой температурой, такие системы относятся, например к центральным кондиционерам с местными доводчиками и системам чиллер-фанкойл.

- Принципу действия — прямоточные, рециркуляционные и комбинированные:

- В прямоточных системах используется только наружный воздух, параметры которого регулируются при помощи кондиционера для дальнейшей подачи в помещение;
- Рециркуляционные системы используют 100% воздух из помещения;
- Комбинированные системы допускают использование наружного воздуха до 40%, в таком случае используется 60% воздуха из помещения.

- Способу регулирования выходных параметров кондиционированного воздуха — с качественным (одноканальным) и количественным (двухканальным) регулированием:

- При качественном регулировании параметров обработанный воздух перемещается по одному каналу и далее распределяется по помещениям;
- При количественном регулировании параметров охлаждённый и подогретый воздух разделяется по двум каналам для изменения соотношения расходов разнотемпературных потоков. Такой тип регулирования позволяет отказаться от теплообменников в обслуживаемых помещениях, появляется возможность совместного использования с системой отопления. Но двухканальные системы сложно регулировать, и тепловая изоляция параллельных воздухопроводов затратна.
- Степени обеспечения метеорологических условий в обслуживаемом помещении — I-го, II-го и III-го класса:
 - I-й класс обеспечивает требуемые параметры для технологического процесса в соответствии с нормативными документами;
 - II-й класс обеспечивает оптимальные санитарно-гигиенические нормы;
 - III-й класс обеспечивает допустимые нормы.
- Количеству обслуживаемых помещений (локальных зон) — одноканальные и многоканальные:
 - Одноканальные центральные системы кондиционирования воздуха направлены на равномерное распределение теплоты и влаговыведений в крупных обслуживаемых помещениях.
 - Многоканальные центральные системы кондиционирования воздуха направлены на обслуживание больших помещений при неравномерном распределении оборудования, либо для обслуживания нескольких небольших помещений.
- Давлению, развиваемому вентиляторами кондиционеров: низкого, среднего и высокого давления.

Бытовые кондиционеры достигают мощности в 8 кВт, к ним относятся оконные, напольные и сплит-системы. Полупромышленные кондиционеры производятся мощностью от 8 до 20 кВт – кассетные, напольно-потолочные, канальные и колонные. Промышленные наделены мощностью более 20 кВт, к ним относятся такие кондиционеры как центральный, прецизионный, крышный, VRV и VRF системы, чиллер-фанкойл.

Система вентиляции представляет собой совокупность элементов для обработки, подачи и удаления воздуха, позволяет создавать воздухообмен в помещении. При технологических процессах, которые могут сопровождаться выделением в воздух помещений вредных веществ для человека, используется приточно-вытяжная система вентиляции, концентрация вредных веществ в воздухе рабочей зоны не должна превышать предельно допустимую

концентрацию. Предельно допустимая концентрация обусловлена максимально возможным количеством вредного вещества в единице объема воздуха мг/м^3 , которое, в свою очередь, не оказывает влияния на состояние здоровья людей, которые работают в предоставленных условиях. Система вентиляции также требуется, когда от технологического оборудования поступает ощутимое количество конвективной и лучистой теплоты, или для очистки воздуха при выделении теплоты, влаги, пыли и углекислого газа от людей, осуществляющих работу в помещении. Воздух из помещения необходимо удалять, когда изменение химического состава и физических свойств воздуха оказывает негативное влияние на состояние людей в помещении.

Системы вентиляции классифицируются по:

- способу создания давления для перемещения воздуха (с естественным и искусственным побуждением);
- назначению (приточные и вытяжные);
- зоне обслуживания (местные, общеобменные, комбинированные);
- конструктивному исполнению (канальные и бесканальные);
- характеру обработки воздуха (прямоточные и рециркуляционные).

В промышленных зданиях создают управляемый естественный воздухообмен, который называется аэрацией (Рисунок 2.6). Для этого здание оборудуется специальной конструкцией под названием «фонарь», которая имеет автоматические или механические створки. Наружные стены здания также оснащают такими створками. При их частичном или полном открытии регулируется воздухообмен. Благодаря такому способу вентиляции не расходуется электроэнергия на работу вентиляторов. Но аэрация не позволяет очистить приточный и вытяжной воздух.

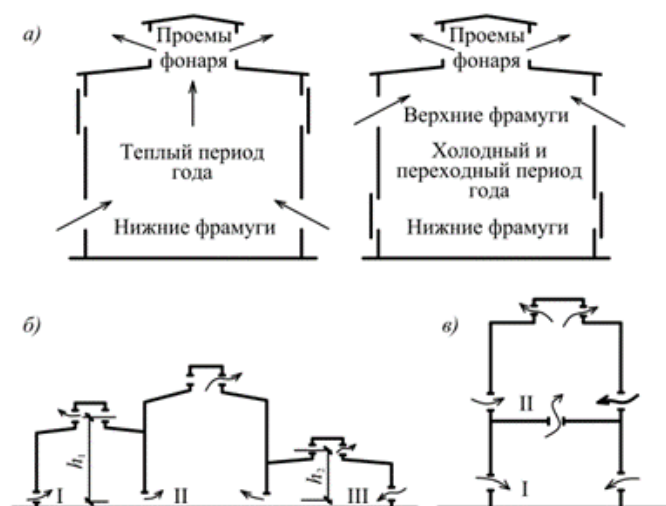


Рисунок 2.6 - Схемы организации естественного воздухообмена (аэрации):
 а – в однопролетном здании в холодный, переходный и теплый периоды; б – в трехпролетном разновысотном здании в теплый период года; в – в 2-х этажном здании с аэрационным проемом в перекрытии [10]

Чаще всего используют механическую систему вентиляции в связи с тем, что на неё не оказывают влияние внешние метеорологические условия и такую систему можно легко регулировать. Также механическая система имеет значительный радиус действия. Такие системы состоят из воздухозаборного устройства, приточной камеры (Рисунок 2.8), сети воздуховодов и воздухораспределителей (Рисунок 2.7).

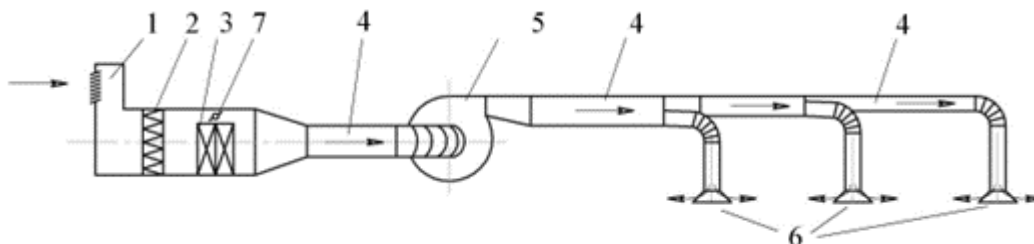


Рисунок 2.7 - Схема приточной вентиляционной системы: 1 – воздухозаборное устройство; 2 – фильтр; 3 – воздухонагреватель; 4 – воздуховоды; 5 – вентилятор; 6 – воздухораспределитель; 7 – воздушный клапан с ручным или электрическим приводом [10]

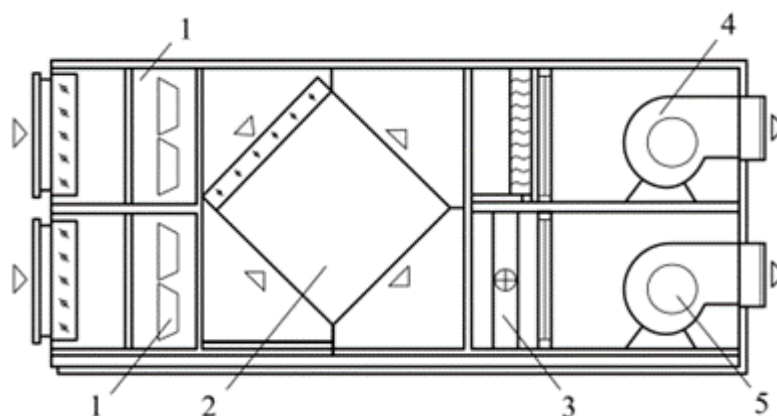


Рисунок 2.8 - Пример приточно-вытяжной камеры: Схема приточной вентиляционной системы: 1 – воздухозаборное устройство; 2 – фильтр; 3 – воздухонагреватель; 4 – воздуховоды; 5 – вентилятор; 6 – воздухораспределитель; 7 – воздушный клапан с ручным или электрическим приводом [10]

Система водоснабжения – это комплекс инженерных сооружений, который обеспечивает водой потребителей. Системы водоснабжения классифицируются по:

- Способу распределения воды:
 - Централизованное водоснабжение обеспечивает крупные комплексы объектов коммунального и производственного назначения;

- Локальное водоснабжение обеспечивает водой отдельные здания или группу зданий;
- Групповое водоснабжение обеспечивает водой районы, в которые входят населённые пункты и промышленные комплексы.
- Кратности использования воды:
 - В прямоточных системах вода используется однократно;
 - В оборотных системах вода используется многократно.
- Назначению:
 - Хозяйственно-питьевые;
 - Производственные;
 - Противопожарные;
 - Комбинированные.
- Способу подачи воды:
 - Механизированные;
 - Самотечные.
- Виду источника:
 - Поверхностный источник (реки, озёра, водохранилища, пруды);
 - Подземный источник (скважина);
 - Смешанные.
- Виду обслуживаемого объекта:
 - Городские;
 - Промышленные;
 - Сельскохозяйственные;
 - Железнодорожные.

Когда вода после использования изменила свой химический состав или физические свойства, она получает название сточная жидкость и удаляется системой водоотведения. Система водоотведения (канализация) – это комплекс оборудования, сетей и сооружений, которые предназначены для организованного сбора и удаления по трубопроводам за пределы населённых пунктов или промышленных предприятий сточных вод, также используются для очистки и обезвреживания перед утилизацией или сбросом в водоём. Сточные воды в зависимости от своего происхождения и состава разделяют на бытовые, производственные и атмосферные:

- Бытовые сточные воды являются производными от душевых, кухонь, больниц и прочего. В основном содержат органические загрязнения.
- Производственные сточные воды образуются при технологических процессах.
- Атмосферные сточные воды образуются при осадках. В основном содержат минеральные примеси.

Городские газопроводы классифицируются по:

- Виду газа (природный, сжиженный углеводородный, искусственный, смешанный);
- Давлению газа (низкое, среднее, высокое) согласно СНиП 2.04.08–87 «Газоснабжение»;
 - газопроводы высокого давления I категории — при рабочем давлении газа свыше 0,6 МПа (6 кгс/см²) и газовоздушных смесей и до 1,6 МПа (16 кгс/см²) для сжиженных углеводородных газов (СУГ);
 - газопроводы высокого давления II категории — при рабочем давлении газа свыше 0,3 МПа (3 кгс/см²) до 0,6 МПа (6 кгс/см²);
 - газопроводы среднего давления — при рабочем давлении газа свыше 0,005 МПа (0,05 кгс/см²) до 0,3 МПа (3 кгс/см²);
 - газопроводы низкого давления — при рабочем давлении газа до 0,005 МПа (0,05 кгс/см²) включительно.
- Расположению (выше уровня земли, ниже уровня земли);
- Назначению в системе газоснабжения (городские магистральные, распределительные, вводные газопроводы (ввод в здание), импульсные, продувочные);
- Расположению в планировке города или населённого пункта (наружные и внутренние);
- Принципу построения (закольцованные, тупиковые, смешанные);
- Материалу труб (металлические и неметаллические).

Искусственное освещение делится на внутреннее и наружное.

Внутреннее освещение классифицируется по виду потребителя:

- Жилые здания;
- Здания общественного назначения;
- Офисные;
- Промышленные;

Наружное освещение делится на:

- Утилитарное (улицы, дороги, внутриквартальное, садово-парковое, транспортные развязки, спортивные сооружения, площади, сигнализация, тоннели, пешеходные переходы);
- Иллюминационное;
- Рекламное;
- Архитектурное (фасады зданий и сооружений, памятники, малые архитектурные формы, элементы городского ландшафта).

Теплоснабжение или система отопления состоит из элементов, назначением которых является получение, перенос и передача необходимого количества теплоты в отапливаемые помещения.

Системы отопления классифицируются по:

- Взаимному расположению основных элементов:
 - Центральные системы предназначены для отопления нескольких помещений одним теплогенератором (котельная, ТЭЦ);
 - Местные системы представляют из себя единое устройство, которые скомпоновано из теплогенератора, теплопроводов и отопительного прибора. Такое устройство расположено в обогреваемом помещении;
- Виду теплоносителя:
 - Водяные;
 - Паровые;
 - Воздушные;
 - Комбинированные;
- Способу циркуляции теплоносителя:
 - С естественной циркуляцией за счёт разности плотностей горячего и холодного теплоносителя;
 - С искусственной циркуляцией за счёт работы насоса;
- Параметрам теплоносителя:
 - Водяные низкотемпературные до 100°C ;
 - Водяные высокотемпературные выше 100°C ;
 - Паровые системы низкого давления ($p = 0,1 \dots 0,17 \text{ МПа}$);
 - Паровые системы высокого давления ($p = 0,17 \dots 0,3 \text{ МПа}$);
 - Вакуум-паровые системы ($p < 0,1 \text{ МПа}$).

3. Особенности моделирования в программе OpenStudio

3.1 Описание OpenStudio

Программа OpenStudio – это набор инструментов для энергомоделирования здания с поддержкой программ EnergyPlus и Radiance, расширенного анализа дневного света. В общем понимании OpenStudio представляет собой оболочку для программного кода EnergyPlus, совмещённого с программой Radiance. Программа OpenStudio является проектом с открытым кодом для развития использования энергомоделирования повсеместно и с любыми исходными ресурсами. При умении работать с языками программирования C++, Ruby, Python и C# можно вносить изменения в программу и модели. Если такового навыка не имеется, то всегда можно загрузить готовый код в программу, который, как правило, можно найти на открытом ресурсе GitHub.

Официальный сайт OpenStudio располагает различной документацией для работы в программе, а также установочными файлами.

3.2 Особенности интерфейса программы OpenStudio

Основные аспекты интерфейса программы (Рисунок 3.1), которые, как правило, по своей сути идентичны в различных разделах:

1. My Model – вкладка содержащая информацию о добавленных элементах в модель;
2. Library – встроенная библиотека программы с различными компонентами, графиками и настройками, которые меняются в зависимости от открытого раздела в программе;
3. Edit – вкладка для редактирования настроек элементов модели.
4. Кнопка добавления нового элемента;
5. Кнопка дублирования элемента;
6. Кнопка удаления элемента;
7. Поле «Drag From Library» обозначает, что в обозначенную область можно перетащить любой элемент из вкладок Библиотека (2) или Содержимое модели (1).

Программа (Рисунок 3.1) состоит из следующих разделов:

 – Локализация (Site) – Добавление погодного файла, стоимости процессов (Подразделы – Погодный файл и настройка дней (Weather File & Design Days); Стоимость жизненного цикла (Life Cycle Costs); Счета за коммунальные услуги (Utility Bills));

-  – Графики\Расписания (Schedules) – Создание графиков, прикреплённых к нагрузкам (Подразделы – Наборы графиков (Schedule Sets); Создание графиков (Schedules));
-  – Конструкции (Constructions) – Создание материалов и составных конструкций (Подразделы – Наборы конструкций (Construction Sets); Создание конструкций (Constructions); Создание материалов (Materials));
-  – Нагрузки (Loads) – Добавление внутренних нагрузок;
-  – Типы пространств (Space Types) – Уточнение характера использования пространств;
-  – Геометрия (Geometry) – Создание 3D модели здания (Подразделы – Обзорное пространство в формате 3D (3D View); Рабочее пространство для создания геометрии модели в формате 2D (Editor));
-  – Объект (Building) – Назначение параметров по умолчанию для объекта, добавление характеристик внешней нагрузки (Подразделы – Общие характеристики здания (Building); Настройки этажей (Stories); Добавление затеняющих объектов (Shading); Добавление оборудования снаружи здания (Exterior Equipment));
-  – Пространства (Spaces) – Настройки пространств объекта (Подразделы – Настройка пространств (Properties); Настройка нагрузок (Loads); Настройка основных поверхностей (Surfaces); Настройка дополнительных поверхностей (окна\двери) (Subsurfaces); Настройка внутренних перегородок (Interior Partitions); Настройка затенения (Shading));
-  – Термо-зоны (Thermal Zones) – Разделение объекта на термо-зоны и добавление оборудования;
-  – Инженерные сети (HVAC) – Создание инженерных сетей здания;
-  – Выходные данные (Variables) – Включение и выключение переменных для отображения в отчёте;
-  – Настройки симуляции (Simulation Settings) – Настройка параметров моделирования;
-  – Метрики (Measures) – Добавление дополнительных настроек симуляции процесса и вида отчётных данных из библиотеки программы или из внешнего директива;
-  – Запуск симуляции (Run Simulations) – Экран проведения симуляции

работы модели, выявление программы на наличие ошибок;

 – Отчёт (Reports) – Вывод различных видов отчёта по итогам симуляции.

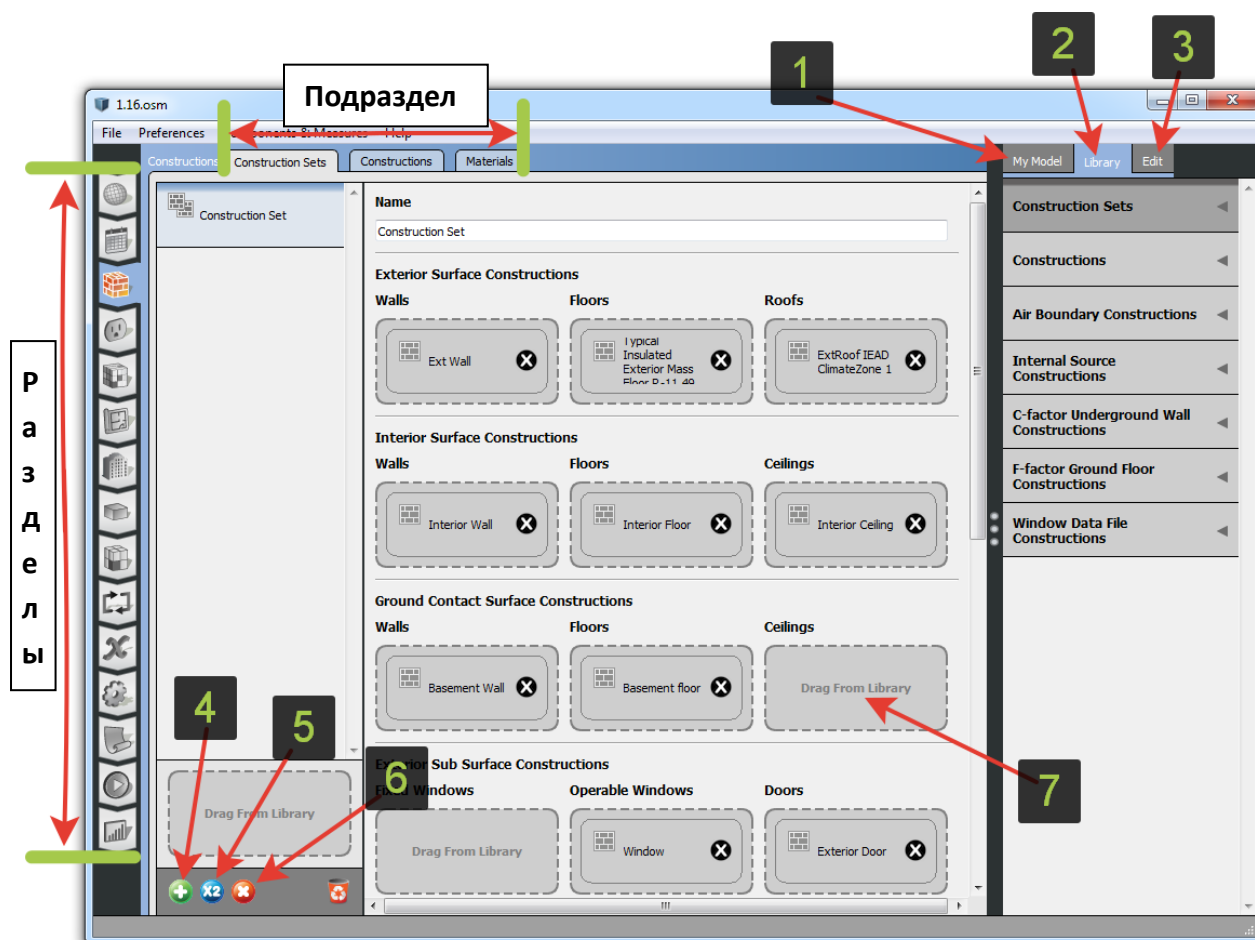


Рисунок 3.1 - Общий вид интерфейса программы

В любых разделах, где присутствует слово Set в названии, можно создавать наборы (Например: Наборы расписаний, Наборы конструкций) (Рисунок 3.2, 3.3). В библиотеке программы можно найти готовые наборы и при необходимости редактировать их. Так же, при нажатии на соответствующую кнопку, можно создать свой набор. Наборы помогают оперативнее создавать и регулировать модель. Например, перейдя в раздел Объект, можно установить наборы конструкций и расписаний по умолчанию. Соответственно во всех остальных разделах появятся предустановленные элементы из наборов. Такой способ упрощает и ускоряет работу, так как пропадает необходимость установки каждого элемента по отдельности во всех разделах.

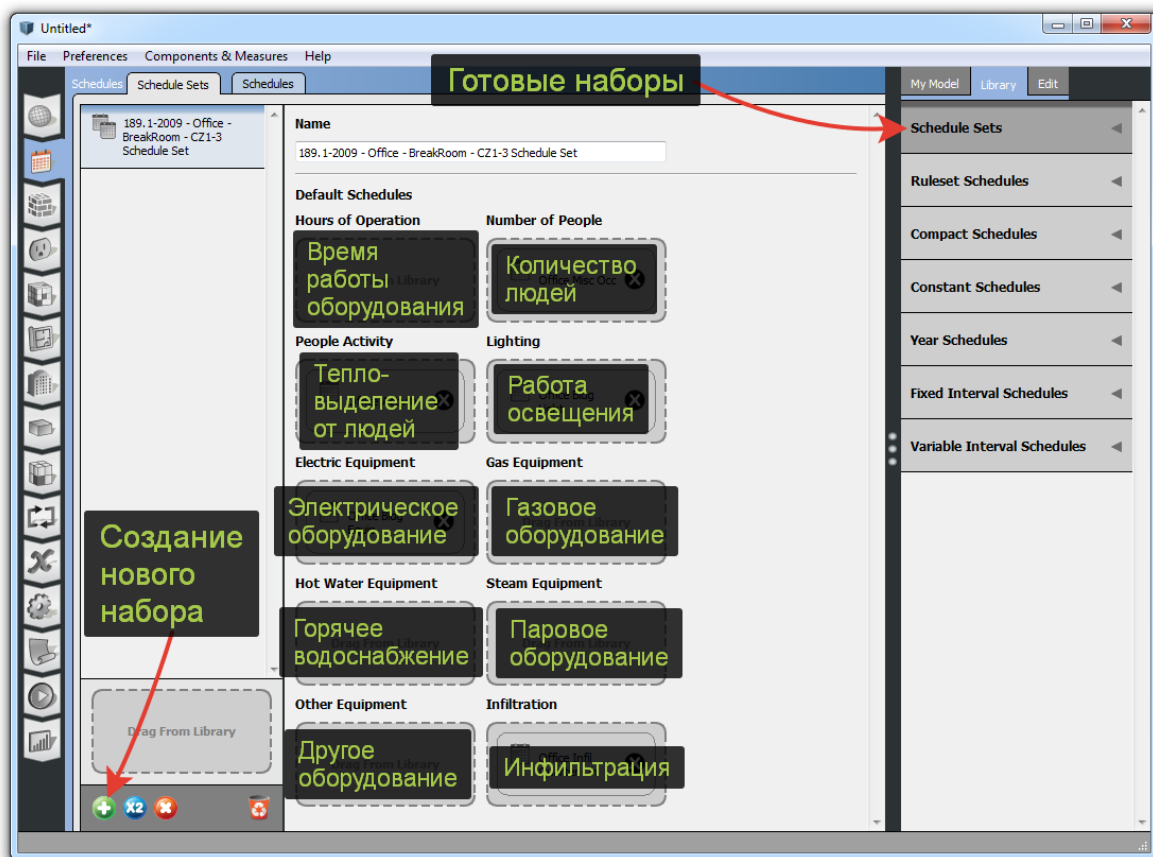


Рисунок 3.2 - Набор графиков

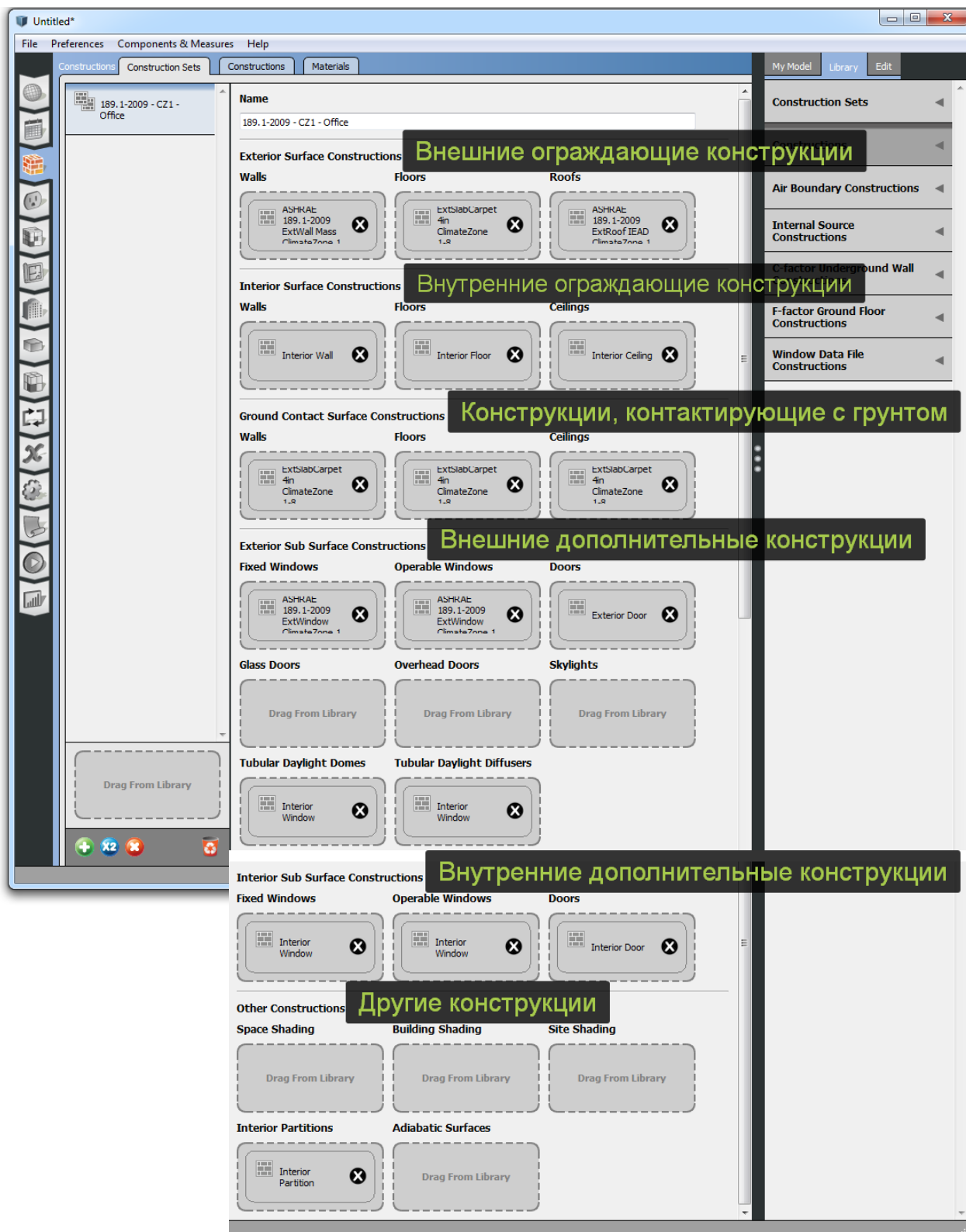


Рисунок 3.3 - Набор конструкций

3.4 Правила разработки моделей

Одно из самых важных правил, это сохранение каждого сделанного этапа. Например, после создания материалов и конструкций в программе необходимо сохранить модель как новый файл. Далее после создания геометрии модель также сохраняется как новый файл. Все версии нужно сохранять, так как это поможет в будущем:

- Не потерять достигнутые результаты, если программа выдаст неисправимую ошибку, при которой файл больше не откроется (Такие случаи бывают);
- Вернуться к предыдущей версии модели для идентификации ошибки при моделировании;
- Вернуться к версии модели, например, до добавления инженерных систем и создать альтернативные вариации с другими системами для дальнейшего сравнения разных видов сооружений.

Все файлы и компоненты в программе необходимо называть английскими буквами. При создании русскоязычных наименований могут возникать ошибки в работе программы и моделировании проекта.

Все версии модели лучше всего сохранять в один директив для быстрого поиска и давать одинаковое название на английском языке с добавлением нумерации (Например, Project 1.1.osm, Project 1.2.osm). Если к общему названию с номером добавить обозначение отличия конкретной версии модели от остальных, будет проще определить её отличие (Например, Project 1.1 Heating Baseboard.osm, Project 1.2 Heating Coil in HVAC.osm).

Если всё здание имеет стандартный набор конструкций, который создаётся в виде сета в разделе Constructions, то его можно задать как установочный во вкладке Facility (Рисунок 3.4).

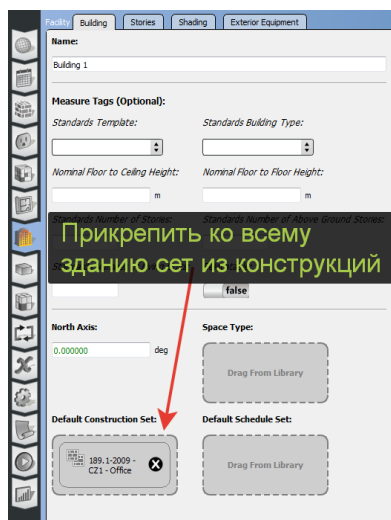


Рисунок 3.4 – Прикрепление набора конструкций

3.5 Работа с погодными файлами

Погодные файлы располагаются на официальном сайте программы EnergyPlus. Необходимый файл можно найти как при помощи предложенной карты, так и при помощи ввода ключевых слов в поисковую строку на сайте. Для работы в программе OpenStudio необходимо скачать 2 формата погодных файлов: “.erw” и “.ddy”.

Погодные файлы подгружаются в разделе локализации (Site) (Рисунок 3.5). Необходимо сначала подгрузить погодный файл, нажав на кнопку Set Weather File, после подгрузить файл с подстройкой дней, нажав на кнопку Import From DDY. При необходимости можно изменить год симуляции модели для корректного отображения графиков. Это связано с тем, что как правило погодные файлы с данными по погоде прошлых лет. Для некоторых регионов погодные файлы не менялись с 1990 годов.

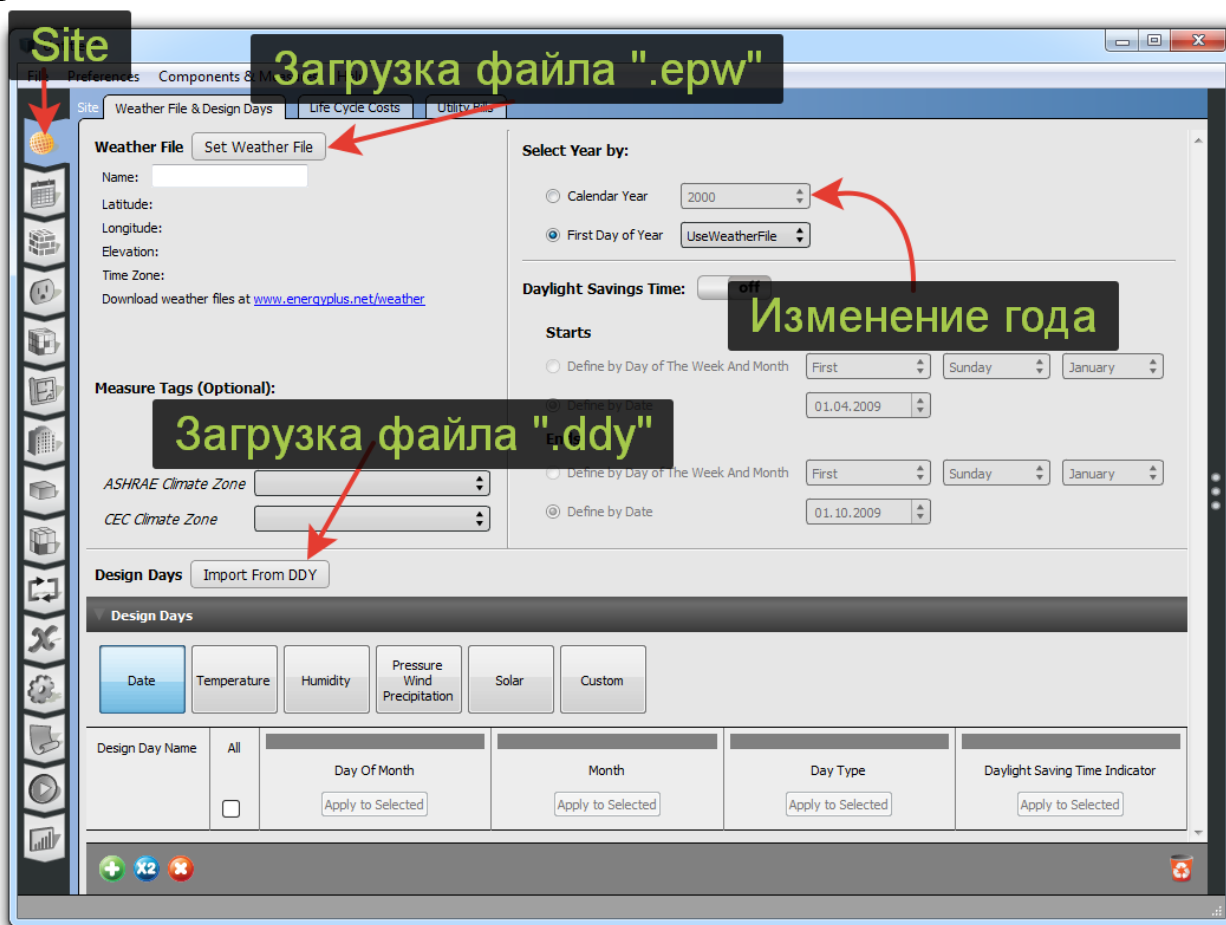


Рисунок 3.5 – Добавление данных о погоде

Некоторые виды расчётов требуют взаимодействие с погодным файлом напрямую. Для этого необходимо:

1. Открыть погодный файл формата “.erw” с помощью Excel (Рисунок 3.6).

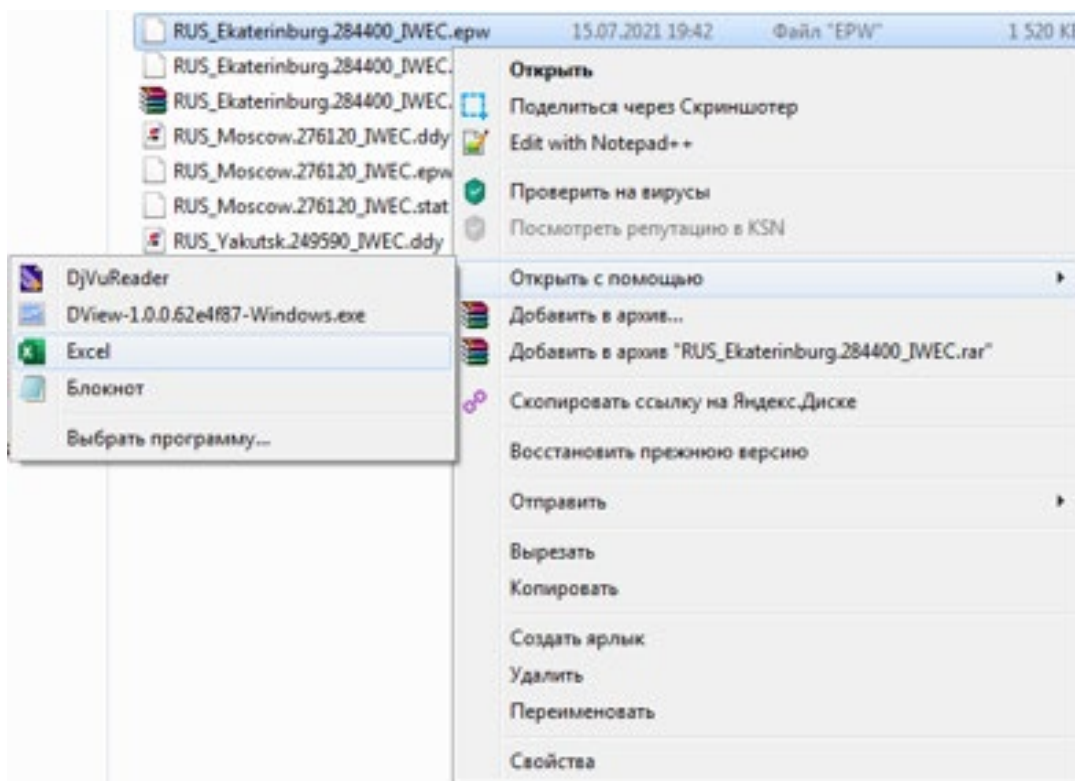


Рисунок 3.6 – Способ открытия погодного файла

2. Произвести форматирование файла. Для этого выделить первый столбец, где выведены все данные. Перейти в раздел «Данные» и нажать на «Текст по столбцам». После во всех ячейках заменить точки на запятые с помощью инструмента, в разделе «Редактирование», «Заменить...». И сохранить таблицу как новый файл в формате “.xlsx”.

3. Для удобства чтения нужно избавиться от лишних данных. Они располагаются на первых 8-ми строках, кроме выделенных зелёным (Рисунок 3.7).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	LOCATION	Ekaterinburg	RUS	IWEC Data	284400	56.8	60.63	5	237					
2	DESIGN CONDIT	1	Climate Design Data 2009 ASHR Heating		1	-30.2	-27.3	-33.1	0.2	-30	-30.1	0.2	-27	
3	TYPICAL/EXTRE	6	Summer - Week Extreme	01.06.2015	01.06.2021	Summer - Week	Typical	06.08.2022	01.06.2014	Winter - Week 1 Extreme	02.10.2022	01.02.2016		
4	GROUND TEMP	3	0.5			-5.81	-10.72	-12.06	-10.9	-4.27	01.03.2015	01.10.2014	15	
5	HOLIDAYS/DAYS	No	0	0	0									
6	COMMENTS 1	IWEC- WMO#284400 - Asia -- Original Source Data (c) 2001 American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), Inc., Atlanta, GA, USA, www.ashrae.org All rights reserved as												
7	COMMENTS 2	-- Ground temps produced with a standard soil diffusivity of 2,3225760E-03 [m**2/day]												
8	DATA PERIODS	1	1	Data	Sunday	1/ 1	01.12.1931							
9	1985	1	1	1	60	C9C9C9C9*079	-12.7	-13.6	92	98000	0	1415	211	
10	1985	1	1	2	60	C9C9C9C9*079	-14.3	-14.9	95	97800	0	1415	219	
11	1985	1	1	3	60	C9C9C9C9*079	-15.6	-16	96	97700	0	1415	213	

Рисунок 3.7 – Исходный погодный файл

4. Также необходимо удалить столбцы со значениями, которые изображены на рисунке 3.8, или похожими.

C9C9C9C9*0?9	999999999
C9C9C9C9*0?9	999999999
C9C9C9C9*0?9	999999999
C9C9C9C9*0?9	999999999
C9C9C9C9*0?9	999999999
C9C9C9C9*0?9	999999999
C9C9C9C9*0?9	999999999
B8C8E8B8*0?9	999999999
B8C8E8B8*0?9	999999999
B8C8E8B8*0?9	999999999
B8C8E8B8*0H9	999999999
A7A7E8E8*0G9	999999099
B8C8E8B8*0H9	999999999
B8C8E8B8*0H9	999999999
A7A7E8E8*0G9	999999099
	999999999
	999999999
	999999099
	999999999
	999999999

Рисунок 3.8 – Столбцы, подлежащие удалению

5. Названия столбцов должны быть расположены в той же последовательности, что и на рисунке 3.9, чтение слева направо, начало в верхней шапке таблицы. Значения под шапкой таблицы должны совпадать, как минимум, форматом значений с представленным примером.

LOCATION	50	IWEC Data	Latitude	Широта	0																			
Year	Month	Day	Hour	Minute	Dry Bulb Temperature (C)	Dew Point Temperature (C)	Relative Humidity (%)	Atmospheric Pressure (Pa)	Extraterrestrial Horizontal Radiation {Wh/m2}	Extraterrestrial Direct Normal Radiation {Wh/m2}	Horizontal Infrared Radiation Intensity from Sky {Wh/m2}	Global Horizontal Radiation {Wh/m2}	Direct Normal Radiation {Wh/m2}	Diffuse Horizontal Radiation {Wh/m2}	Прямое нормальное излучение {Втч/м2}	Рассеянное горизонтальное излучение {Втч/м2}								
																	Температура сухого термометра (C)	Температура точки росы (C)	Относительная влажность (%)	Атмосферное давление (Па)	Внеземное горизонтальное излучение {Втч/м2}	Внеземное прямое нормальное излучение {Втч/м2}	Интенсивность горизонтального инфракрасного излучения от неба {Втч/м2}	Глобальное горизонтальное излучение {Втч/м2}
			56.8	60.63																				
		в радианы	0.99135	1.05819																				
1985	1	1	1	60	-12.7	-13.6	92	98000	0	1415	211	0	0	0										
1985	1	1	2	60	-14.3	-14.9	95	97800	0	1415	219	0	0	0										
1985	1	1	3	60	-15.6	-16	96	97700	0	1415	213	0	0	0										
1985	1	1	4	60	-16.3	-16.7	96	97700	0	1415	210	0	0	0										
Общая горизонтальная освещенность {люкс}	Прямая нормальная освещенность {люкс}	Рассеянная горизонтальная освещенность {люкс}	Зенитная яркость (Cd/m2)	Направление ветра (градус)	Скорость ветра (м/с)	Общее покрытие неба (.1)	Непрозрачное покрытие неба (.1)	Видимость (км)	Высота потолка (м)	Наблюдение за текущей погодой	Осаждаемая вода (мм)	Оптическая толщина аэрозоля (.001)	Глубина снега (см)	Дней с момента последнего снега										
Global Horizontal Illuminance (lux)	Direct Normal Illuminance (lux)	Diffuse Horizontal Illuminance (lux)	Zenith Luminance (cd/m2)	Wind Direction (deg)	Wind Speed (m/s)	Total Sky Cover (.1)	Opaque Sky Cover (.1)	Visibility (km)	Ceiling Height (m)	Present Weather Observation	Precipitable Water (mm)	Aerosol Optical Depth (.001)	Snow Depth (cm)	Days Since Last Snow										
0	0	0	0	180	05.03.2022	10	7	4	4	77777	9	0	0.058	0	88									
0	0	0	0	230	5	10	10	4	4	3000	9	0	0.058	0	88									
0	0	0	0	230	5	10	10	4	4	3000	9	0	0.058	0	88									
0	0	0	0	230	5	10	10	4	4	3000	9	0	0.058	0	88									

Рисунок 3.9 – Шаблон для редактирования погодного файла

3.6 Работа с ошибками при симуляции процесса моделирования в программе

Если при моделировании процесса возникает ошибка и программа отказывается проводить дальнейшую симуляцию модели (Рисунок 3.10), необходимо открыть журнал ошибок через программу Блокнот (Тип файла «Журнал ошибок», Формат «.err»). Этот файл располагается в папке с системными и сохранёнными файлами созданной модели (Например: D:\Моделирование\Коттедж\1.16\run, где «Моделирование» и «Коттедж» созданные Вами папки, «1.16» название Вашей модели (создаётся автоматически программой при сохранении модели), «run» стандартное название системной папки в директиве модели).

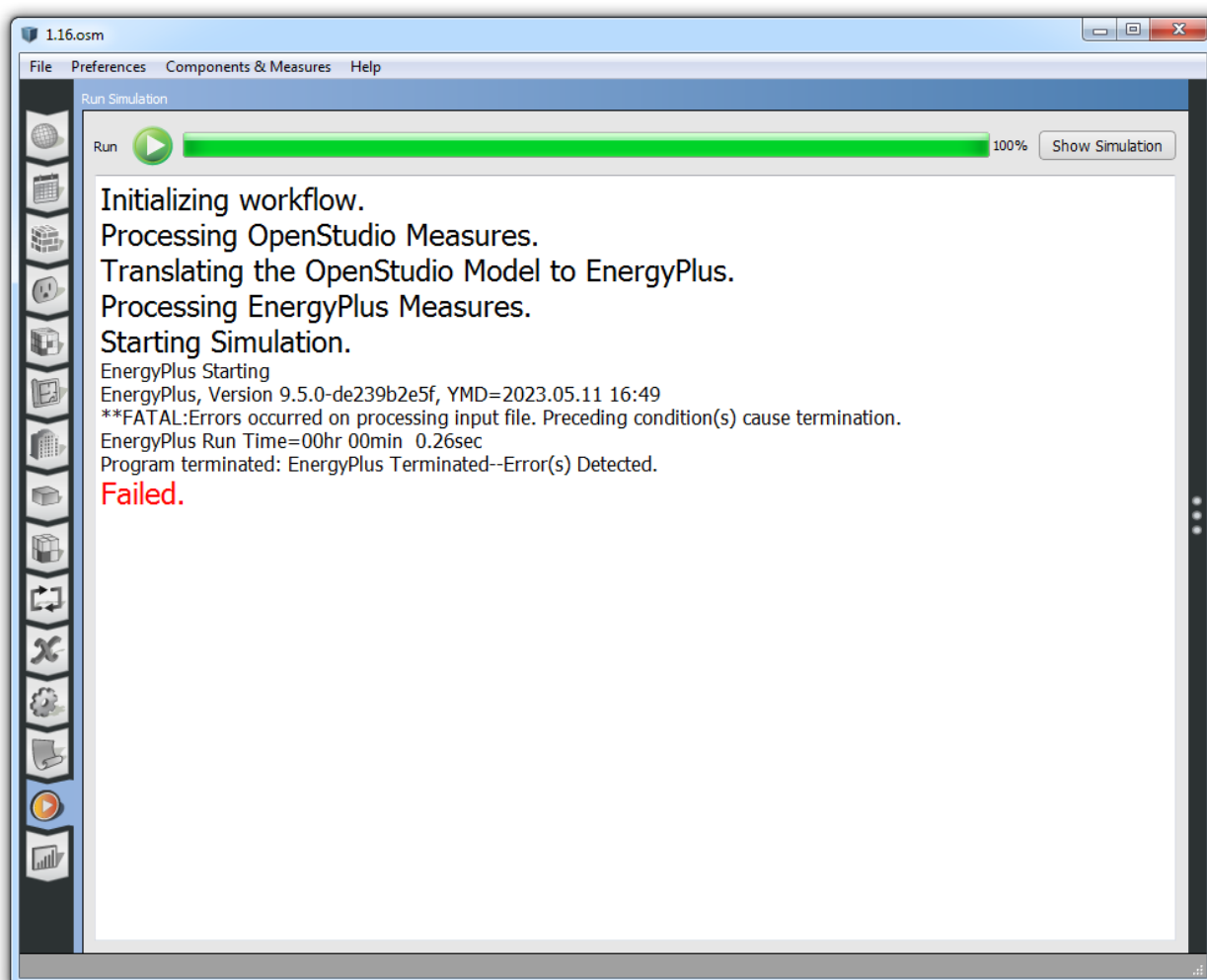


Рисунок 3.10 – Остановка симуляции при ошибках

В открытом журнале ошибок нужно найти основную ошибку, которая обозначена меткой «Severe». Такой тип ошибок не позволяет проводить дальнейшее моделирование до тех пор, пока проблема не будет устранена.

Также существует тип ошибки «Warning», но это является лишь предупреждением, которое не останавливает моделирование. Такие ошибки желательно устранять, если в комментариях к ним указано, что они существенно влияют на процесс моделирования.

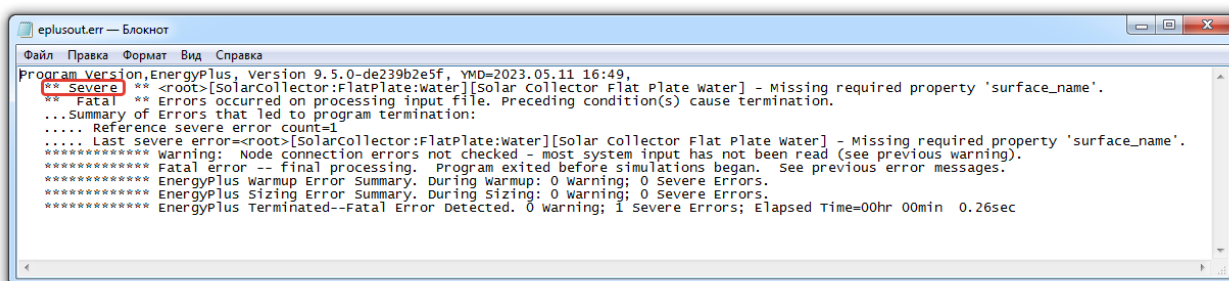


Рисунок 3.11 – Пример ошибок

Любые ошибки можно копировать и искать через поисковики в интернете. Найти готовый ответ или задать свой вопрос можно на сайте unmethours.com. Сайт себя так и презентует «Ресурс вопросов и ответов для сообщества по энергетическому моделированию зданий».

4. Особенности работы с выгрузкой данных из программы OpenStudio

4.1 Выбор вида выгружаемых данных и работа с библиотекой BCL

Выбор выгружаемых данных доступен во вкладке Measures, далее Метрики (Рисунок 4.1). Под цифрой 1 находятся имеющиеся настройки данных, которые можно применять в модели. Под цифрой 2 располагается функция открытия файлов с компьютера. Под цифрой 3 создание нового вида отчёта или настройки. Под цифрой 4 переход в библиотеку BCL.

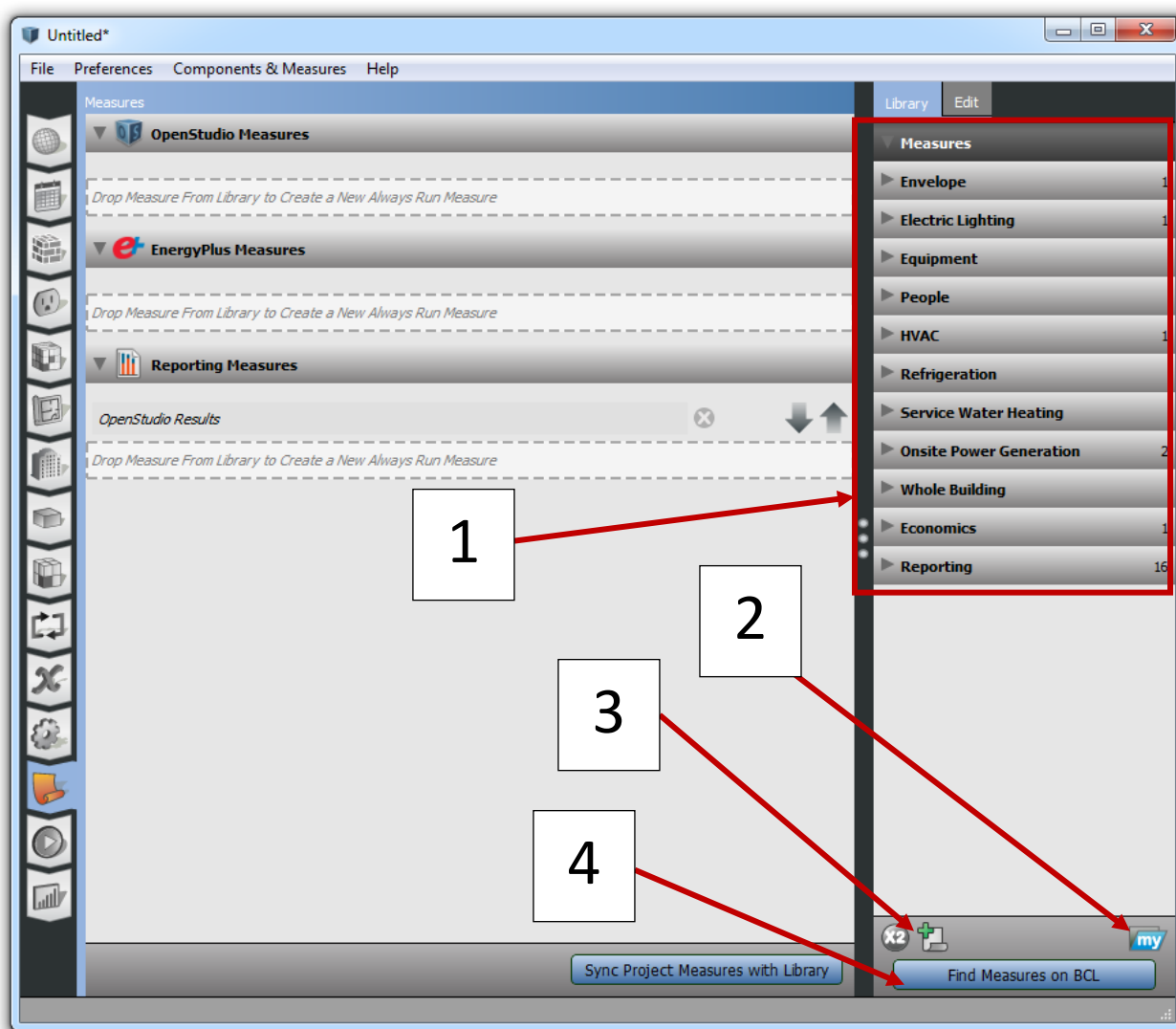


Рисунок 4.1 – Добавление метрик

При открытии библиотеки BCL можно выбрать различные метрики (Рисунок 4.2). Для этого необходимо выбрать категорию, поставить галочку справа от выбранной метрики и нажать на кнопку Download.

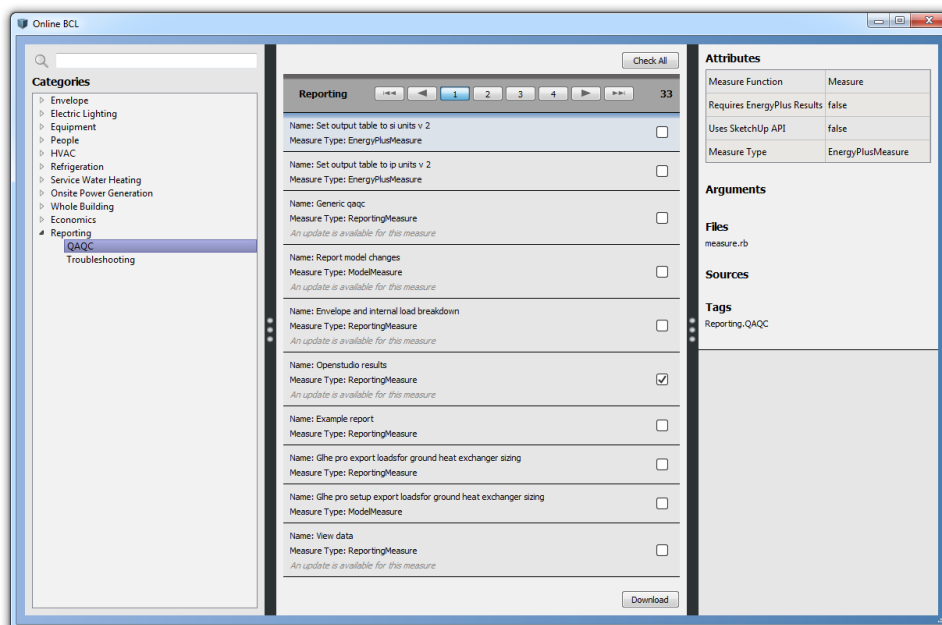


Рисунок 4.2 – Библиотека BCL

Скачанные метрики появятся в библиотеке программы в соответствующей категории (Рисунок 4.3). Для их использования в модели необходимо перетащить нужную метрику в поле “Drop” под заголовком “Reporting Measures”.

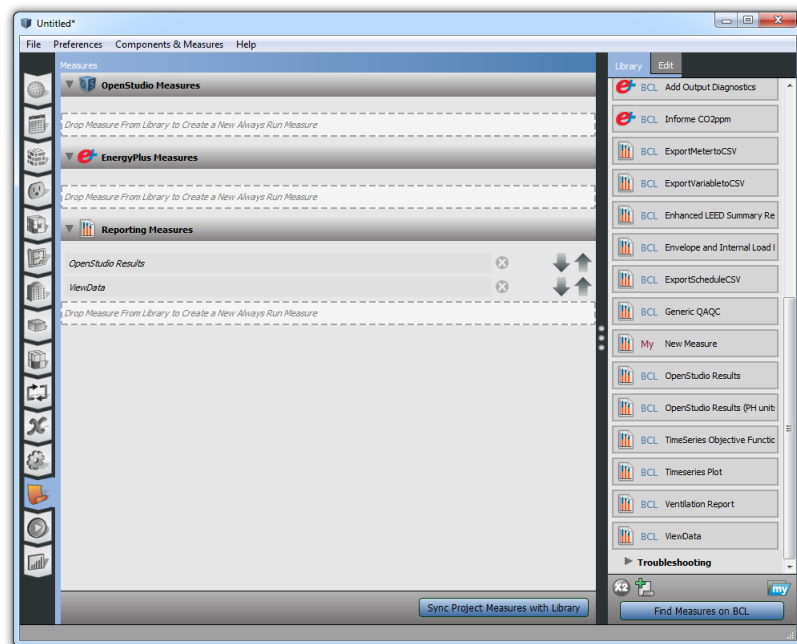


Рисунок 4.3 – Добавление метрик в модель

Настройки метрик можно редактировать, нажав на выбранную и перейти в окно редактирования (Рисунок 4.4).

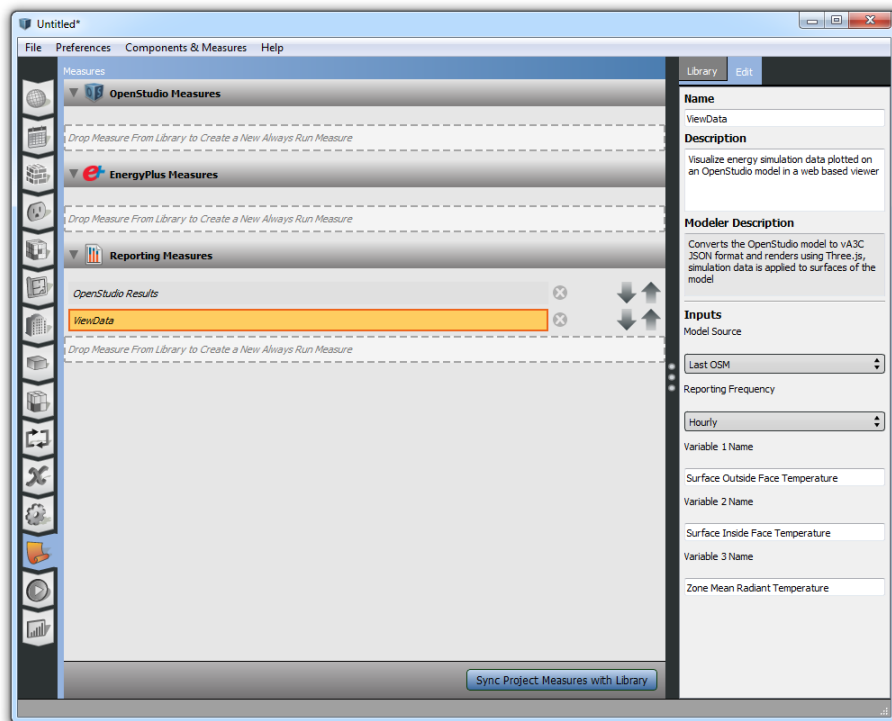


Рисунок 4.4 – Изменение данных в метрике

Для работы с данными вне программы OpenStudio необходимо заранее обозначить все интересующие данные в разделе Output Variables (Рисунок 4.5).

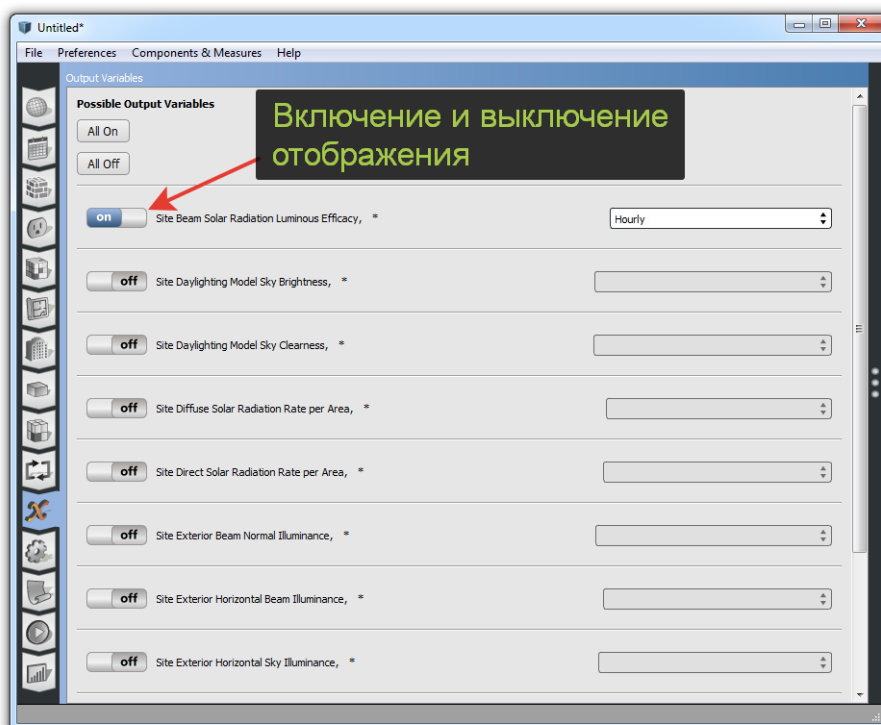


Рисунок 4.5 – Включение выходных переменных

4.2 Работа с программой Timestep

Программа Timestep выступает инструментом для открытия выходных файлов после проведения симуляции модели в программе OpenStudio. Отчётные файлы можно открыть в виде нескольких типов графиков. Основным и самым используемым является Multiline. В таком виде можно параллельно вывести несколько графиков, которые будут зависимы от времени.

На Рисунке 4.6 представлены этапы открытия файла с отчётными данными. После запуска программы необходимо найти расположение файлов созданной модели и найти файл формата SQL и открыть его.

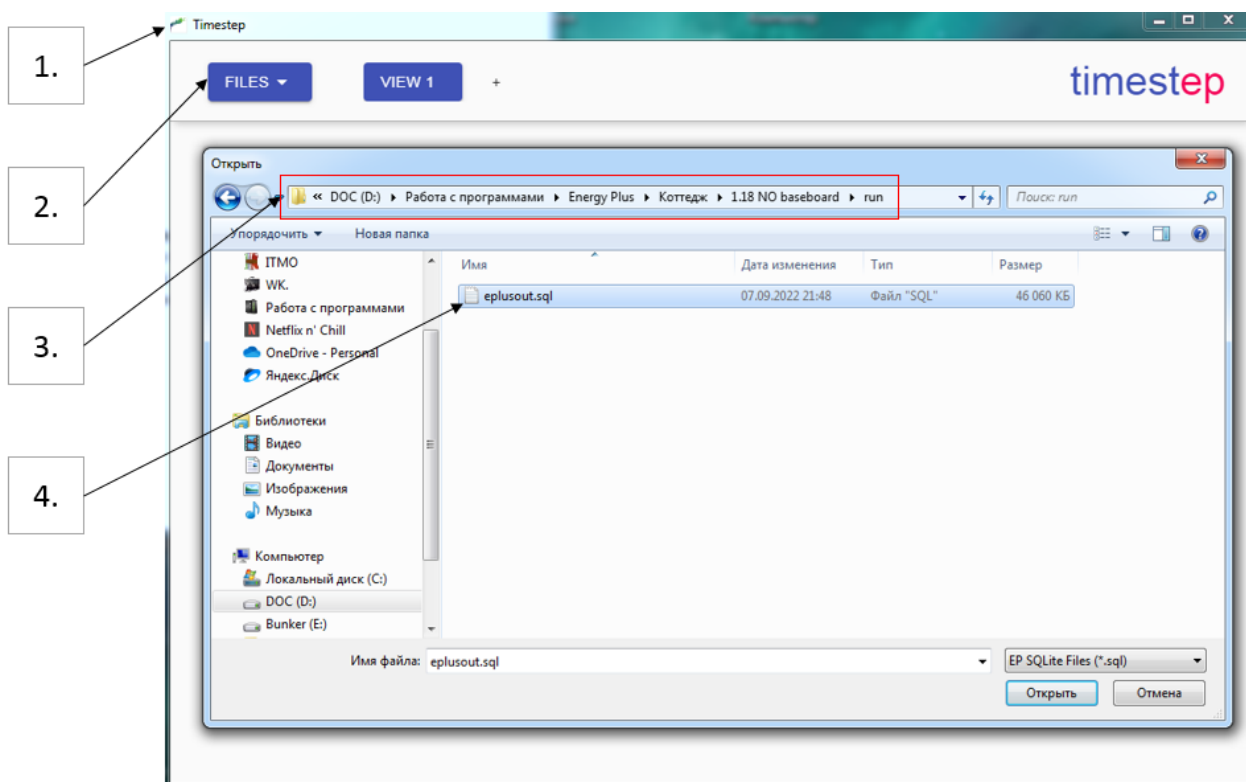


Рисунок 4.6 – Открытие смоделированного файла

После открытия требуемого файла нужно обозначить тип графика, а затем через поисковую строку выбирать необходимую информацию, вводя названия выходных значений вручную или выбирая из выпадающего списка (Рисунок 4.7).

На Рисунке 4.8 изображено окно программы при уже загруженных графиках. В настройке легенды можно удалить или сменить ось для данных по графику. В экспорте можно выгрузить данные в виде таблицы Excel, нажав на кнопку “Save to CSV”.

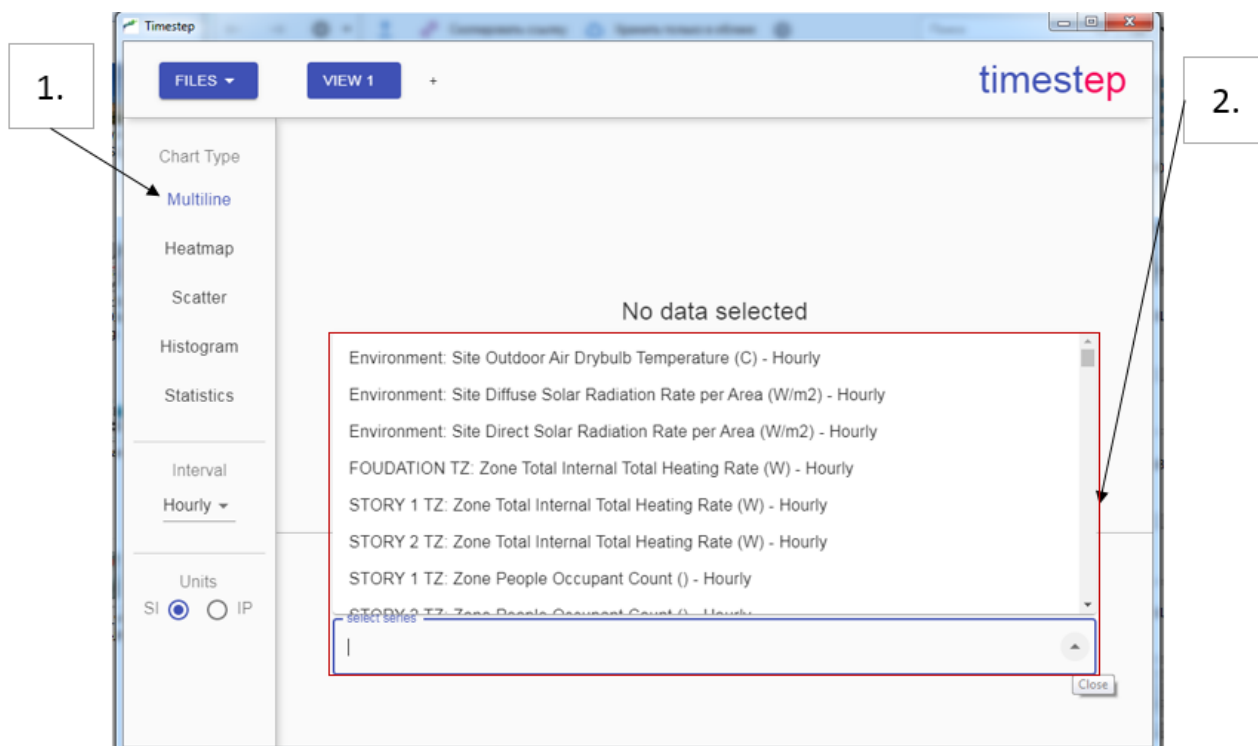


Рисунок 4.7 – Вывод данных



Рисунок 4.8 – Пример графика

5. Разработка энергомоделей

Самое простое определение здания — это искусственная конструкция, которая изолирует внутреннее пространство от внешней среды. К оболочке здания относится всё, что отделяет внутреннее пространство от внешней среды (например, стены, крыши, полы), все части, которые защищают от дождя, снега, ветра, экстремальных температур. Также оболочка повышает уровень безопасности и комфорта. При проектировании важно рассчитывать прочность для удержания внешнего воздействия окружающей среды и безопасность для предотвращения попадания нежелательных гостей в здание. Также предпочтительно, чтобы оболочка была и визуально привлекательной. Все эти аспекты очень важны, и каждому из них посвящено множество работ [9].

5.1 Создание материалов и конструкций

На Рисунке 5.1 представлен процесс создания материалов:

1. Необходимо выбрать тип материала:

- **Materials** – материал стандартный, жёсткой структуры, имеющий теплофизические свойства;
- **No Mass Materials** – подходит для дополнительных материалов, например, для ковра или любого другого тонкого покрытия;
- **Air Gap Materials** – Воздушные подушки между перекрытиями;
- **Simple Glazing System Window Materials** – Упрощённые вид стекла;
- **Glazing Window Materials** – Стёкла с широким выбором уточняющих характеристик;
- **Gas Window Materials** – Газ для закачки в пространство между стёклами (например в стеклопакетах);
- **Gas Mixture Window Materials** – Смесь газов;
- **Blind Window Materials** – Материал для закрытия остекления, для предотвращения попадания солнечных лучей (жалюзи, занавески);
- **Daylighting Redirection Device Window Materials** – Материалы для перенаправления дневного света;
- **Screen Window Materials** – Материал для сетки на окно;
- **Shade Window Materials** – Затемнение окна;
- **Air Wall Materials** – Воздух между перегородками;
- **Infrared Transparent Materials** – Теплопрозрачные материалы;
- **Roof Vegetation Materials** – «Зелёная» крыша;

- Refraction Extinction Method Glazing Window Materials – Материал для светоотражения и затухания света;
2. Создать новый материал (или выбрать готовый из библиотеки (2*));
 3. Назвать новый материал для удобного нахождения его в меню;
 4. Задать теплофизические характеристики.

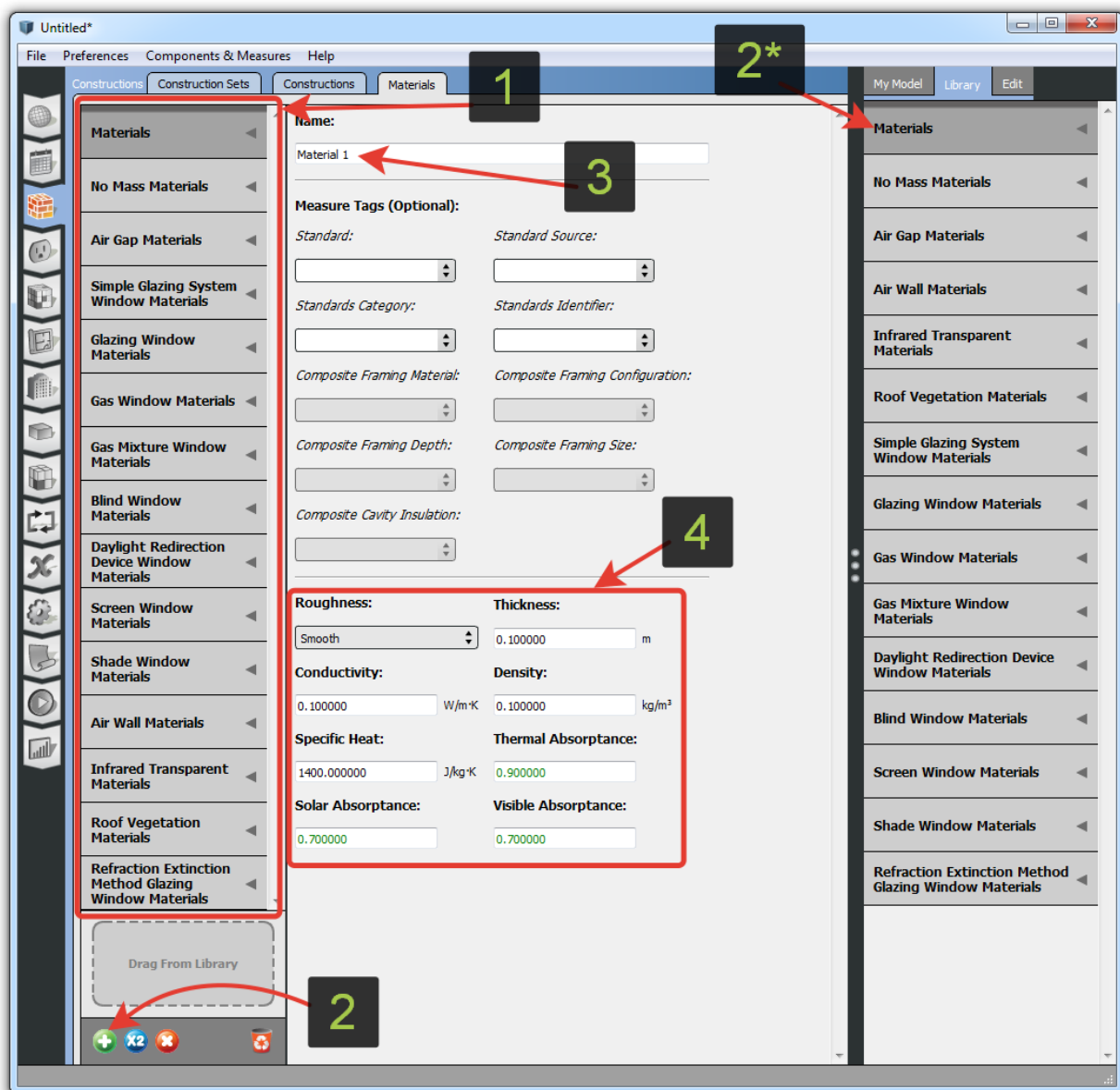


Рисунок 5.1 – Создание материалов

На Рисунке 5.2 представлен процесс создания конструкции:

1. Необходимо выбрать тип конструкции (Как правило это Constructions);
2. Создать новую конструкции;
3. Переименовать;

4. Открыть библиотеку программы или свои созданные материалы во вкладке My Model, и выбрать необходимый тип материала;
5. Перетащить выбранный материал в соответствующее поле, учитывая, что слои конструкции располагаются по порядку, начиная от внешнего слоя (Outside) (Например, если создаётся внешняя ограждающая конструкция, то внешний слой тот, который «находится» на улице. Если создаётся потолок, то внутренний слой «смотрит» в комнату, а внешний слой «находится» в перекрытии между этажами. То есть материалы всегда располагаются от внешнего пространства к внутреннему (Рисунок 5.3).)

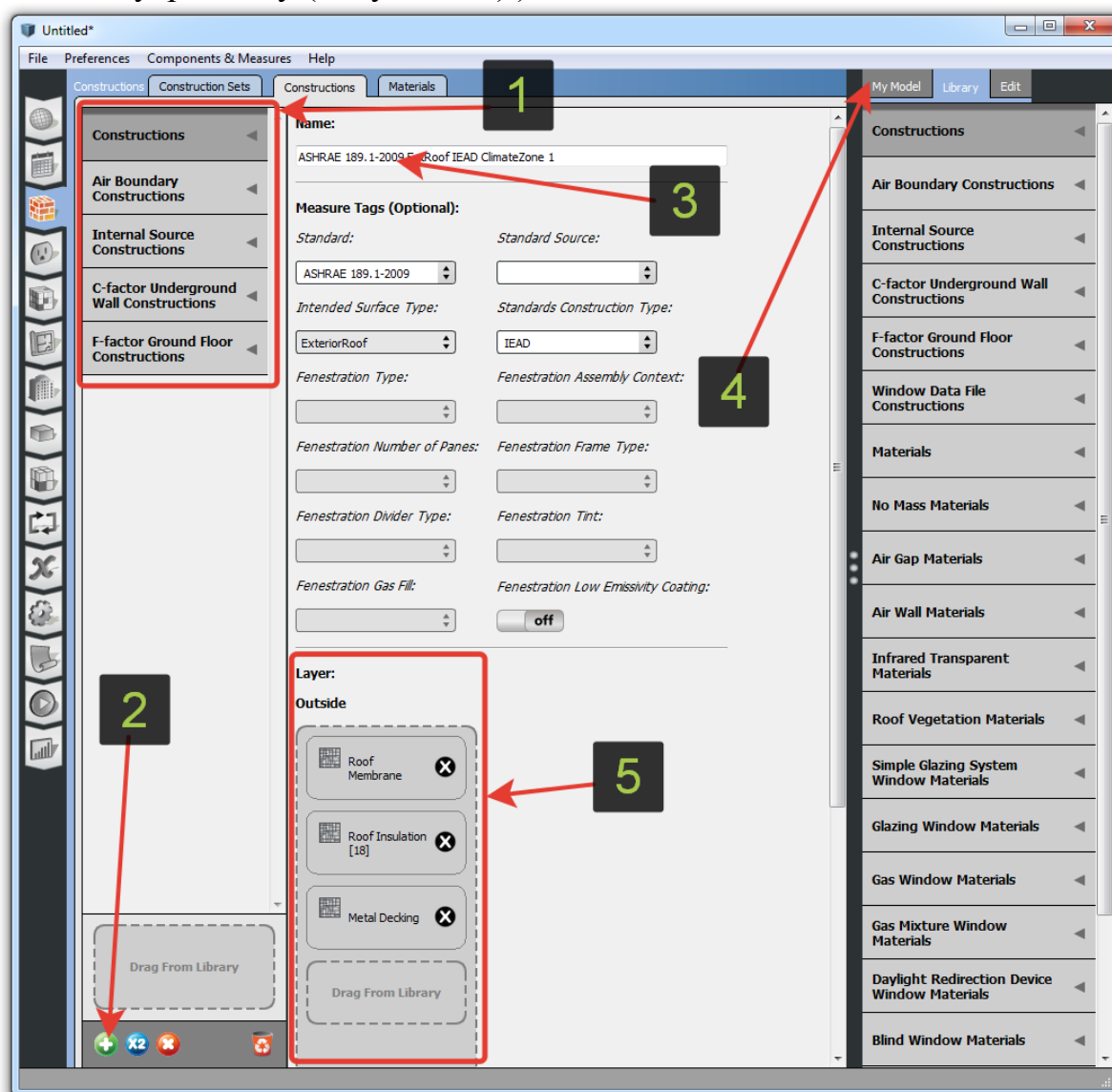


Рисунок 5.2 – Создание конструкций

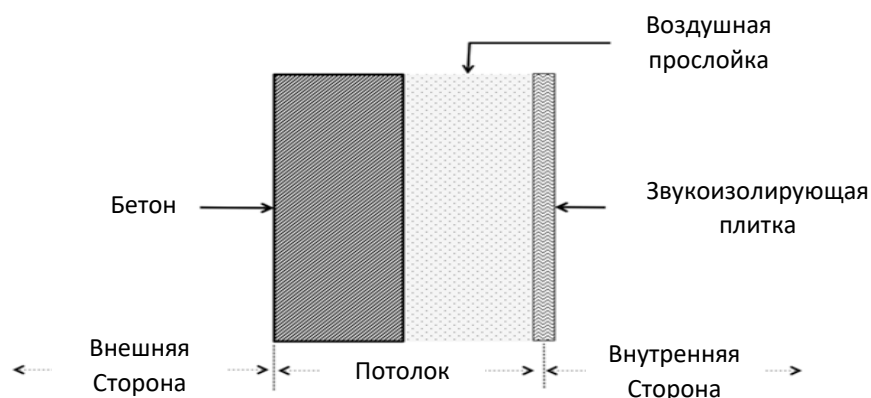


Рисунок 5.3 – Пример создания потолка

Каждая Поверхность имеет связанную Конструкцию. На Рисунке 5.3 представлена схема расположения слоёв конструкции потолка, у которого есть внешняя и внутренняя сторона. Во время моделирования вычисляется температура с обеих сторон каждого слоя Материала, а также учитываются свойства материала и характеристики теплопередачи [9].

Внутренние поверхности между смежными пространствами представлены плоскостями, которые ссылаются друг на друга. По замыслу, каждая из этих смежных поверхностей имеет конструкции, которые отражают друг друга, то есть их слои материалов идентичны, но в обратном порядке. Если конструкция симметрична (например, слой гипсокартона, за которым следует стена с деревянным каркасом и еще один слой гипсокартона), то обе поверхности могут ссылаться на одну и ту же конструкцию. Эта концепция показана на Рисунке 5.4.

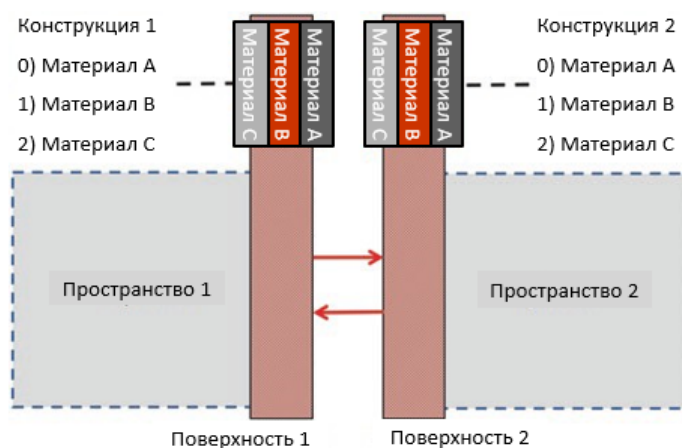


Рисунок 5.4 – Пример расположения поверхностей между смежными пространствами

В Таблице 5.1 представлен пример составления конструкций. Количество слоёв может быть увеличено в зависимости от структуры и назначения конструкции.

Таблица 5.1 - Составление конструкций

Название объекта		Внутренняя ограждающая конструкция	Стеклопакет	Дверь	Пол	Крыша	Внешняя ограждающая конструкция
Наружная часть	Слой 1	Внутренняя стена	Стекло	Оболочка двери	Изоляция	Кровля	Деревянная обшивка
	Слой 2	-	Воздух	Воздушная прослойка	Ламинат	Изоляция	Изоляция
Внутренняя часть	Слой 3	-	Стекло	Оболочка двери	-	Гипсокартон	Гипсокартон

Следующим этапом создаётся сет из созданных конструкций (Рисунок 5.5).

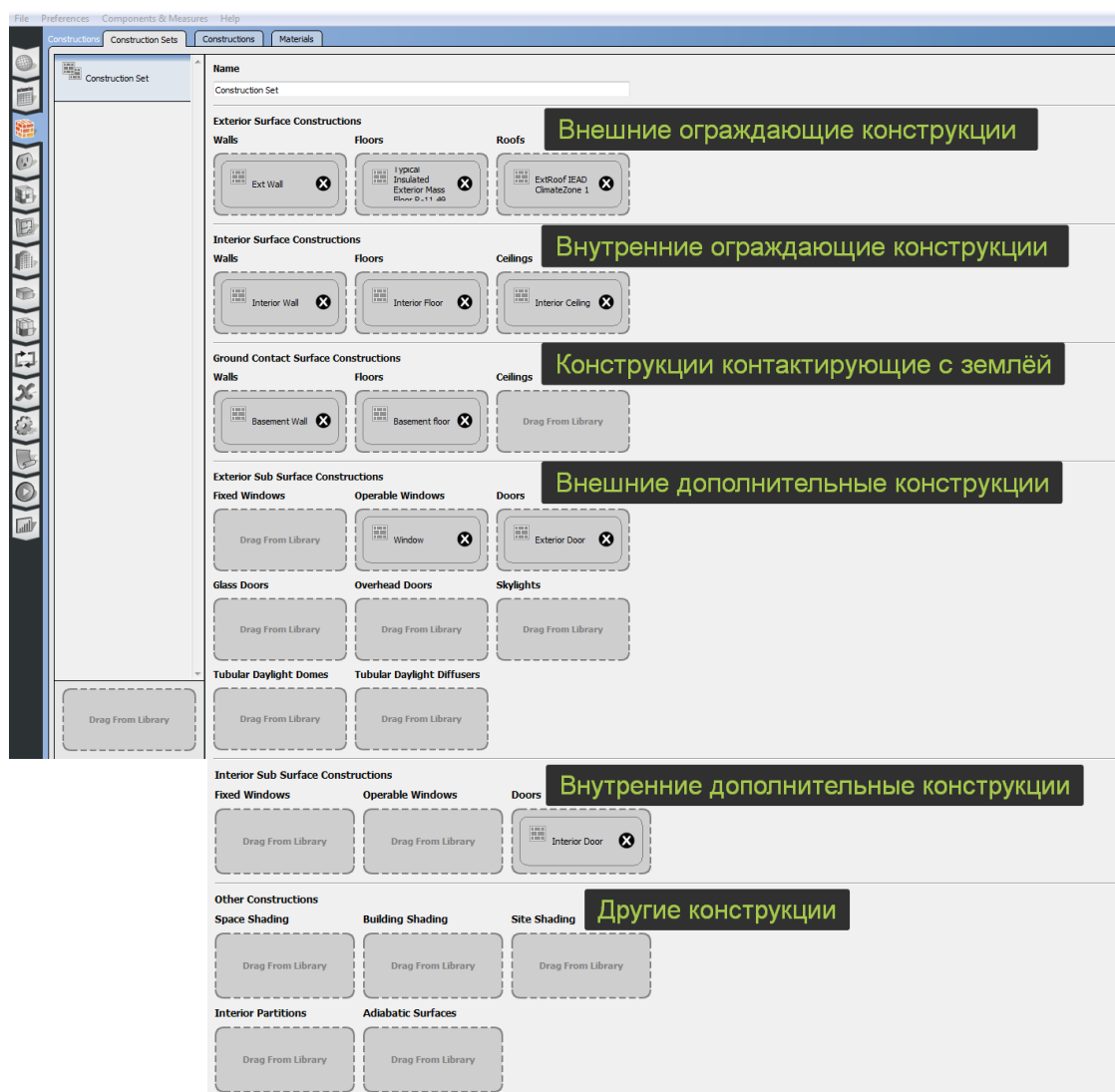


Рисунок 5.5 – Набор конструкций

5.2 Создание 3D модели здания

В подразделе редактора геометрии необходимо создать новую геометрию (Рисунок 5.6).

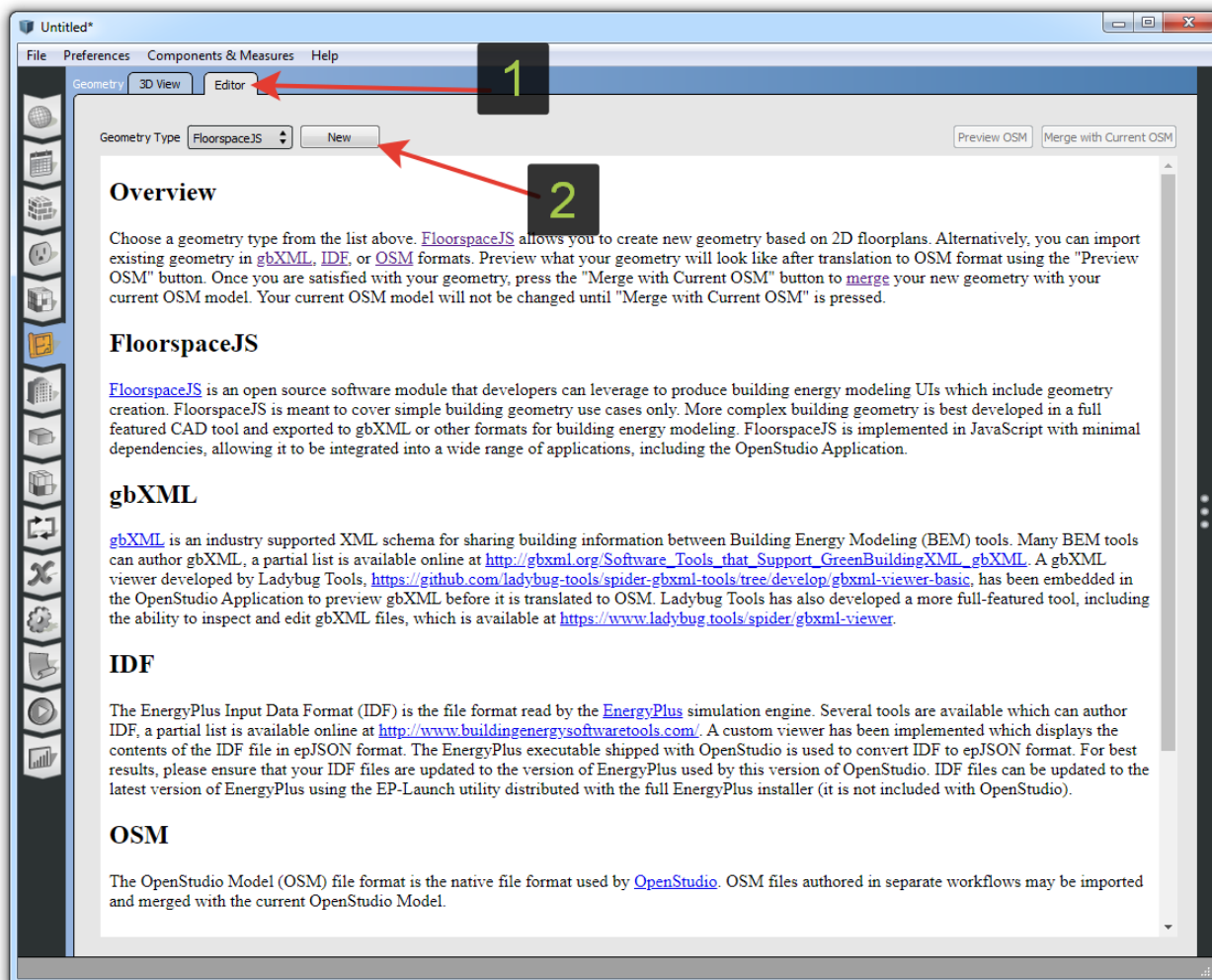


Рисунок 5.6 – Открытие редактора геометрии

После этого создать новый план этажа (1), как правило, используется обычный на сетке (Рисунок 5.7). Далее (2) загружается подложка в виде заранее подготовленного плана этажа, настраивается масштаб рабочего пространства (3). Загруженный план необходимо подогнать под масштаб, чтобы размеры модели соответствовали реальности (Рисунок 5.8). Также важно учитывать, что координаты 0,0 должны находиться в середине левого нижнего столба здания, как показано на примере (1). При создании ограждающих конструкций нужно следить за тем, чтобы линии геометрии располагались в середине стены плана (2). Если на плане есть изогнутые стены, которые не имеют сильного влияния на теплофизические процессы, то ими можно пренебречь и упростить конструкцию (3), это необходимо для того, чтобы модель не была перегружена лишними деталями, которые усложняют расчёты.

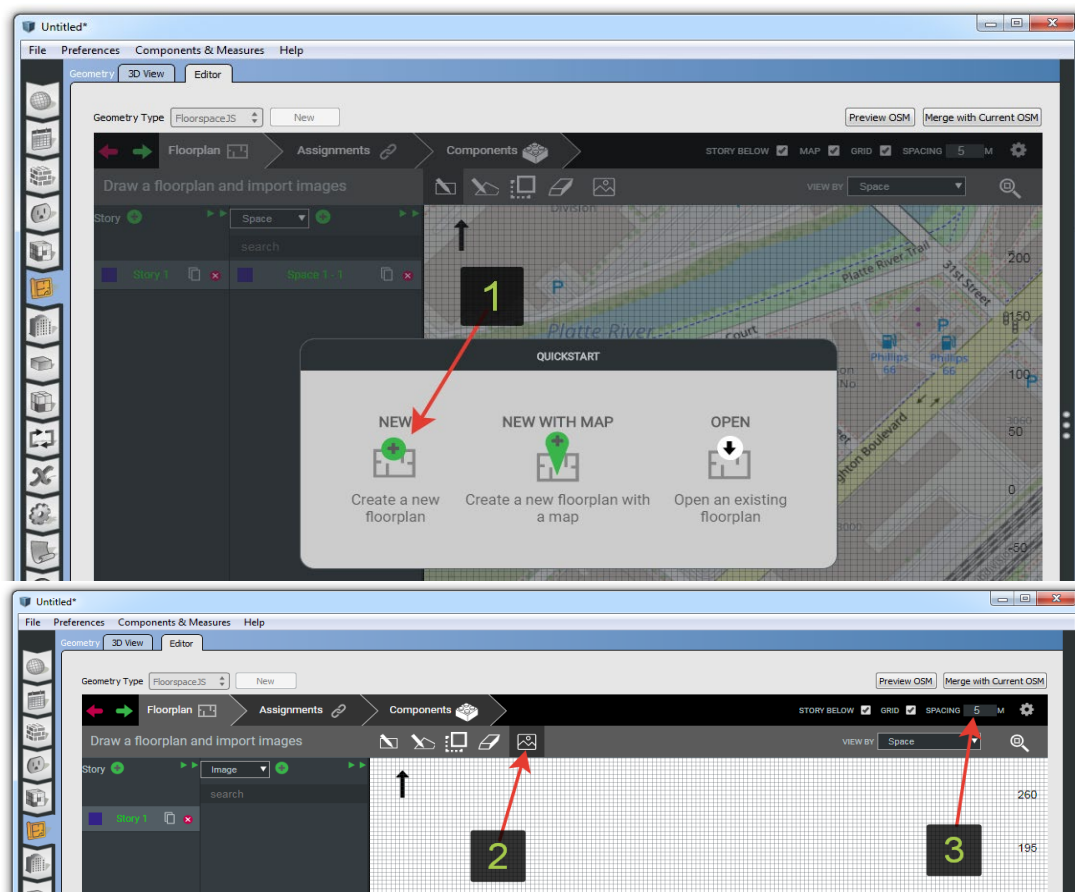


Рисунок 5.7 – Первый этап создания геометрии

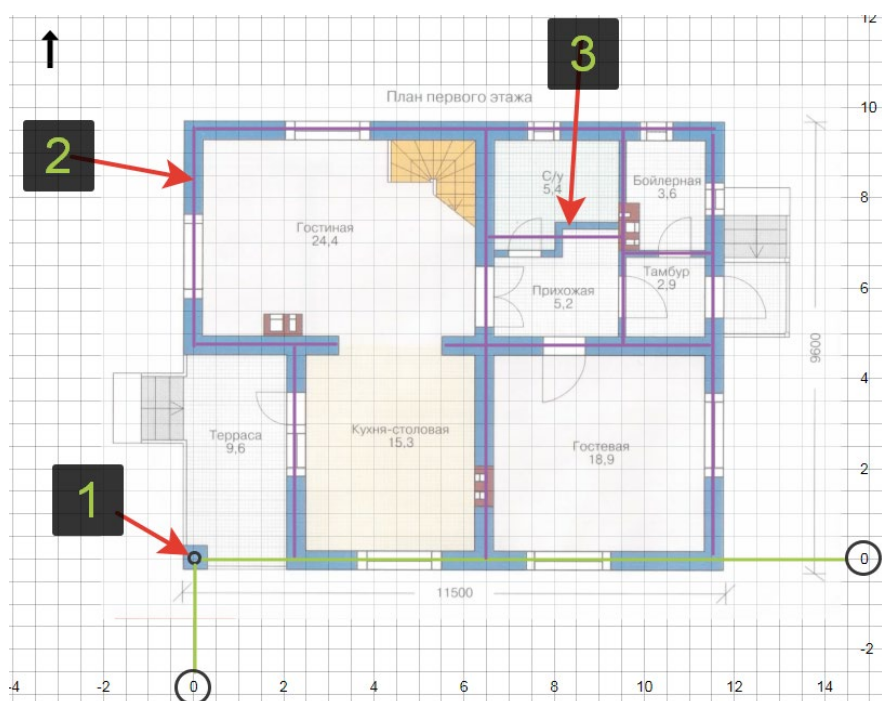


Рисунок 5.8 – Правила использования подложки

Первым этапом создаётся фундамент, если он есть в плане (Рисунок 5.9). Инструменты для создания геометрии отмечены на Рисунке 5.10.

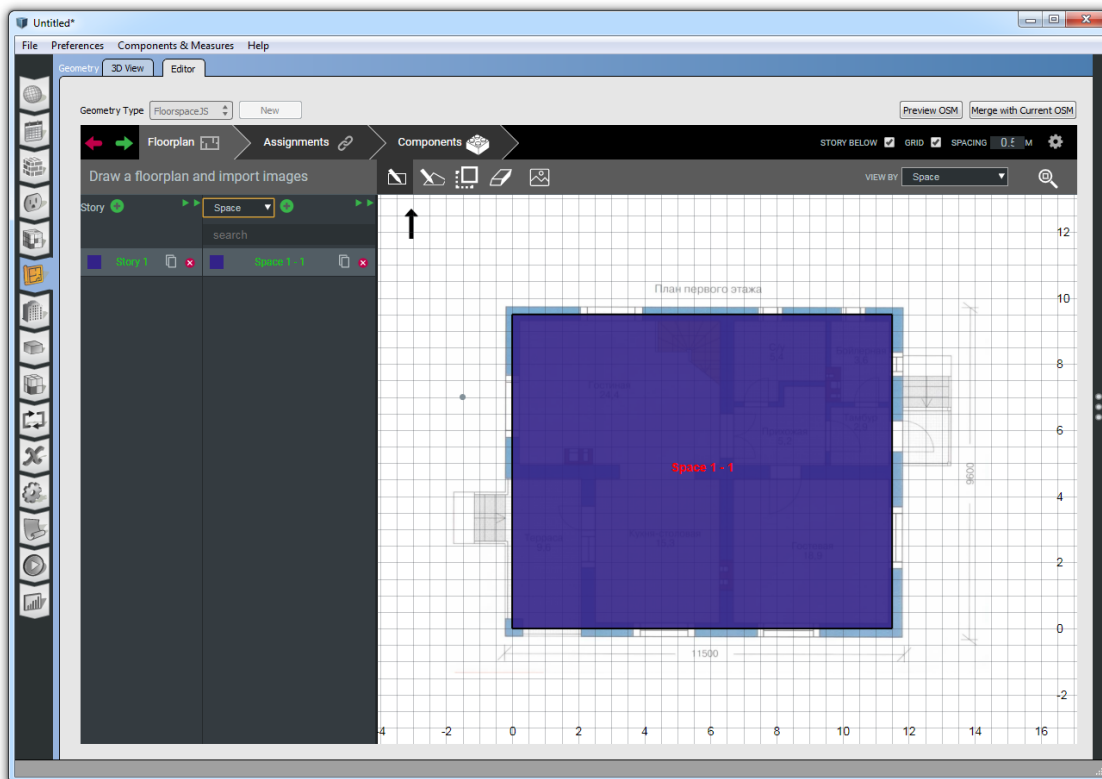


Рисунок 5.9 – Создание пространства

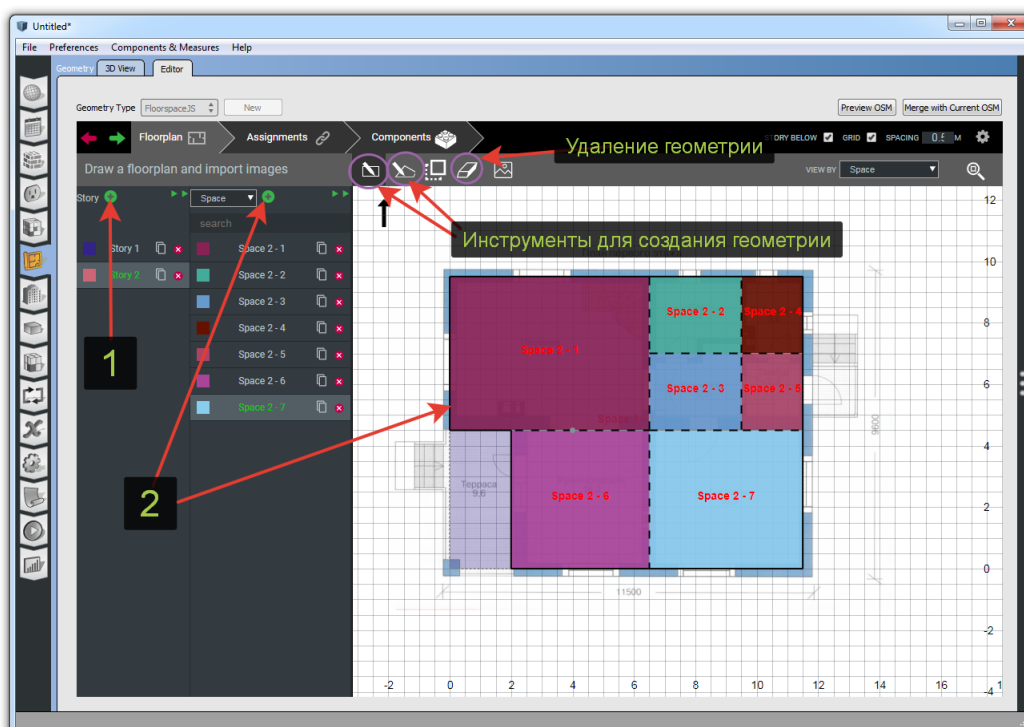


Рисунок 5.10 – Инструменты редактора

После создания фундамента нужно добавить новый этаж (1), в отличие от фундамента он разделён на разные пространства в виде гостиной, кухни и прочего (Рисунок 5.10). Для разделения на пространства необходимо создать новые пространства (2). Сначала создаётся пространство, потом выбирается инструмент для рисования и после этого на рабочее пространство наносится геометрия. Далее, Рисунок 5.11:

1. Переход во вкладку Assignments;
2. Создание термо зон и присвоение их к созданной геометрии;
3. Создание типа помещений.

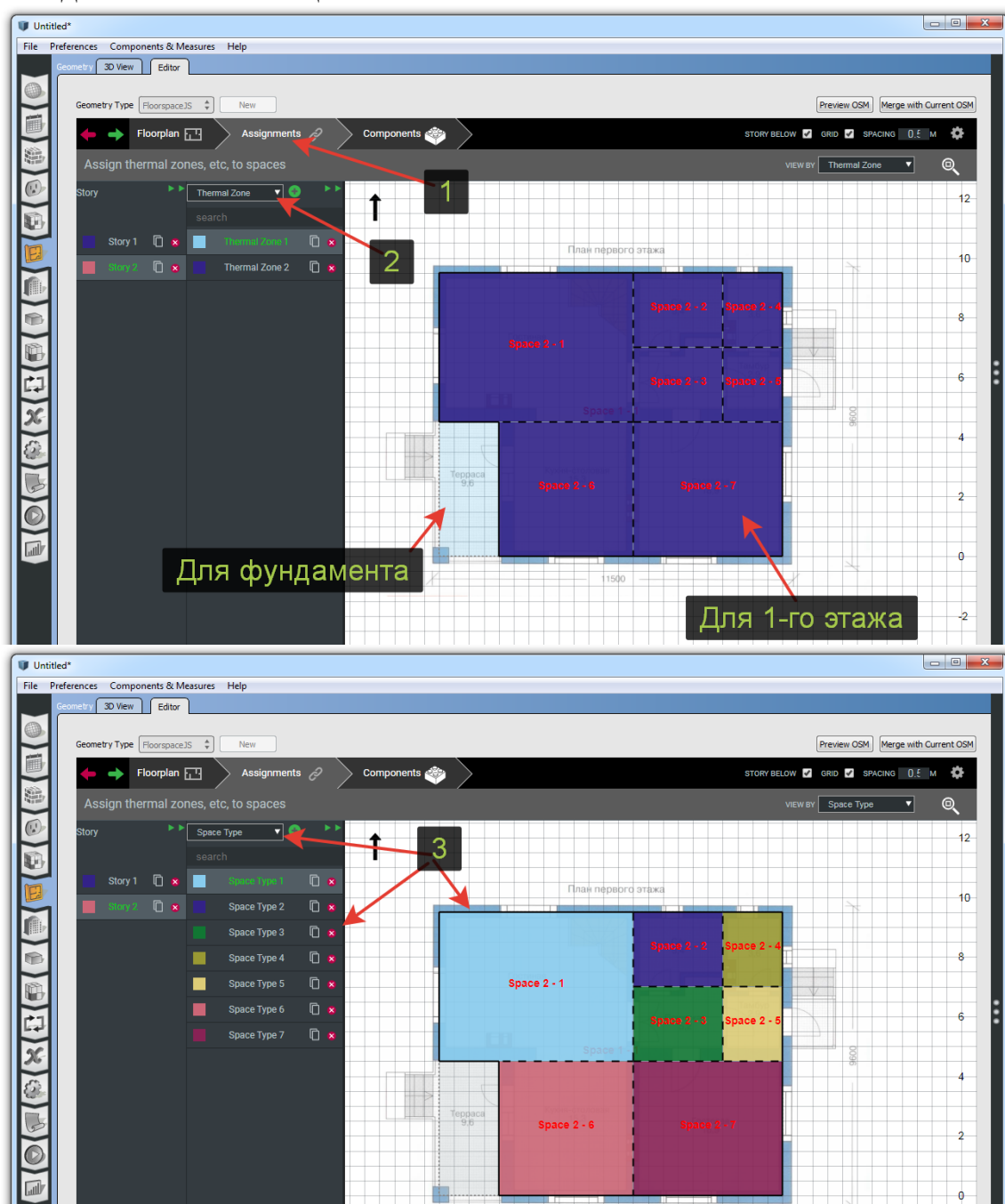


Рисунок 5.11 – Создание термо-зон и типов пространств

У созданных этажей необходимо проверять установленную высоту (2) (Рисунок 5.12).

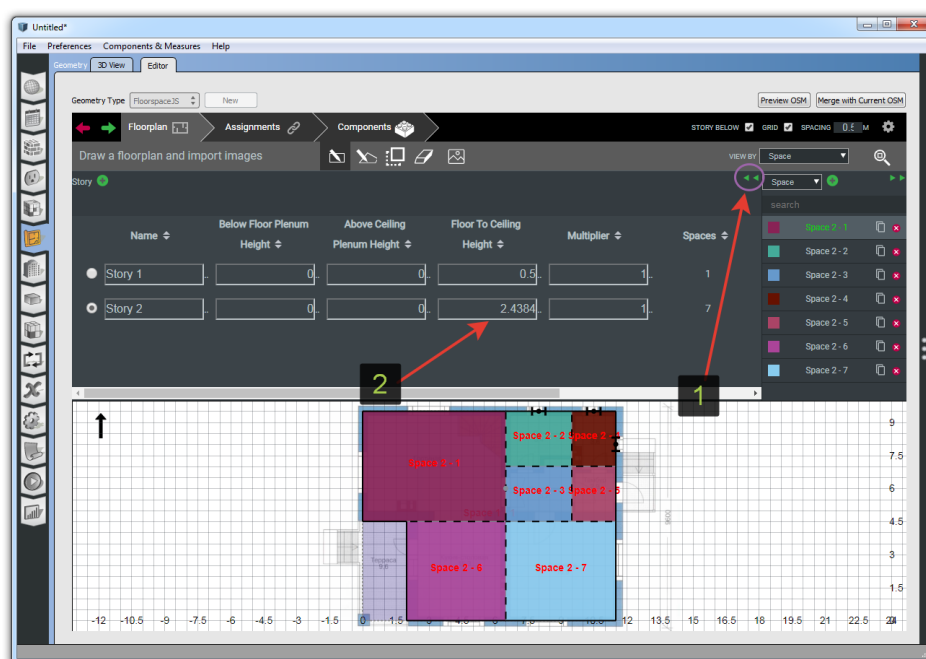


Рисунок 5.12 – Редактирование высоты

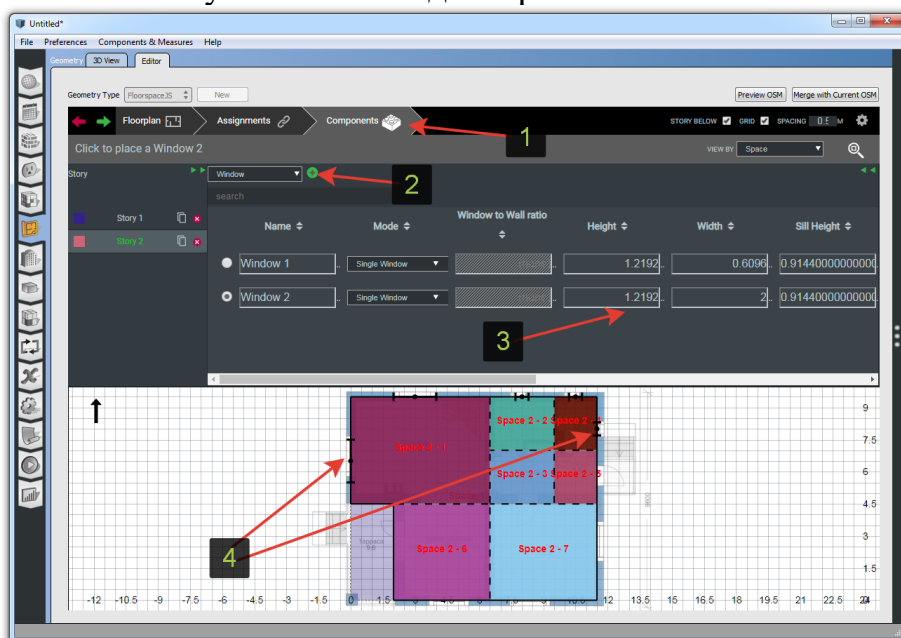


Рисунок 5.13 – Создание и редактирование окон

На Рисунке 5.13 представлено добавление окон (по такому же принципу создаются и двери):

1. Переход во вкладку Компоненты;
2. Добавление нового окна;
3. Изменение параметров добавленного элемента;

4. Прикрепление элементов к модели в соответствии с планом.

Для удобства дальнейшей работы нужно переименовать названия этажей, помещений и термо зон, чтобы их можно было легко определять в дальнейшей работе.

5.3 Создание графиков и расписания работы систем

В программе OpenStudio все процессы «жизнедеятельности» модели запускаются при помощи графиков. По сути, это один из самых важных контроллеров нагрузок и всех инженерных сетей.

Полезные советы по редактору графиков:

- Двойной щелчок по горизонтальным линиям разделяет их на несколько сегментов;
- Горизонтальные сегменты можно перетаскивать вверх и вниз или устанавливать на определенное значение, наведя на них курсор, введя число и нажав клавишу Enter;
- Двойной щелчок по вертикальным линиям удаляет сегменты;
- Вертикальные сегменты можно перетаскивать вперед и назад;
- Селекторы Hourly, 15 min и 1 min в нижней части окна обеспечивают более точное разрешение по оси времени.

Типы графиков:

- Dimensionless – Безразмерный;
- Fractional – Дробный – Используется для обозначения времени и мощности работы систем, оборудования и посещения людей;
- Integer – Целочисленный;
- Activity Level – Уровень активности – Устанавливает тепловыделение от людей в зависимости от их активности (Вт на человека);
- On Off – Включение и выключение;
- Capacity – Ёмкость (Вт);
- Clothing Insulation – Изоляция одежды (Clo);
- Control Mode – Режим управления;
- Delta Temperature – Дельта температуры (°C);
- Linear Power Density – Линейная плотность мощности (Вт/м);
- Mass Flow Rate – Массовый расход (кг/сек);
- Percent – Процент (%);
- Pressure – Давление (Па);
- Rotation Per Minute – Оборот в минуту (об/мин);
- Temperature – Температура (°C);

- Velocity – Скорость (м/сек);
- Volumetric Flow Rate – Объемный расход (м³/сек).

На Рисунке 5.14 показан процесс создания графика:

1. Нажать на кнопку создать;
2. В появившемся окне выбрать типа графика;
3. Нажать применить (Apply);
4. Переименовать график для его удобного нахождения в процессе работы;
5. Установить значения для графика, используя вышеописанные советы;
6. Проверить граничные условия;
7. Создать новое условие для графика (Это условие создаёт отдельные правила работы по графику для конкретных дней или отдельно взятого периода года (например, отопительный сезон или выходные дни));
8. Нажать добавить;
9. Перейти в созданное условие (В данном случае Priority 1);
10. В данной строке выставляются дни недели, которые накладываются на определённый период (11);
11. Установка конкретного периода в году;
12. Установка значений для графика;
13. В данной области можно визуально оценить установленный период.

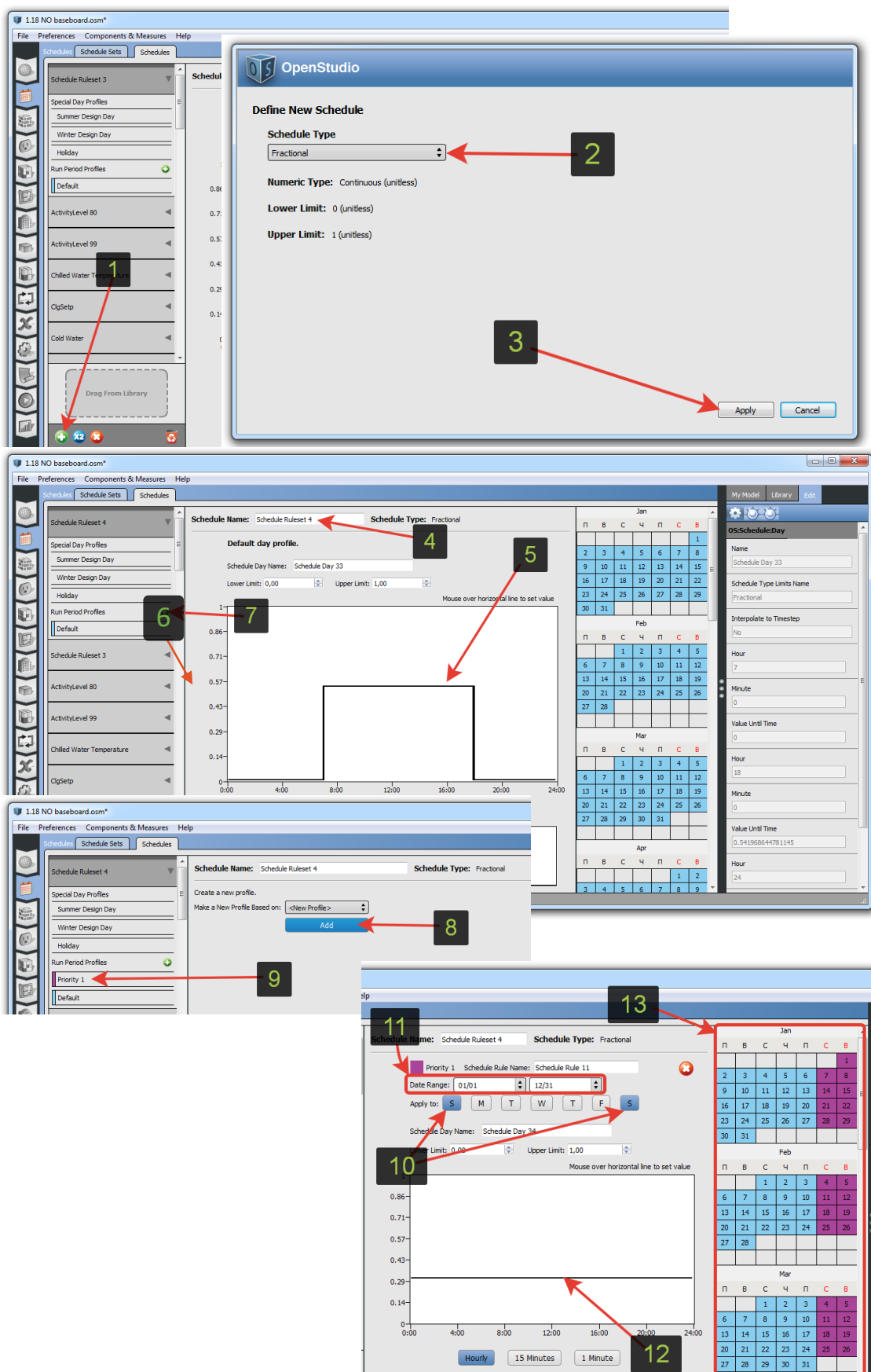


Рисунок 5.14 – Пример создания графика с приоритетами

5.4 Добавление нагрузок в модель

В разделе Loads (Нагрузки) можно добавить нагрузки от людей, освещения, отдельных светильников, оборудования (электрического, газового, парового), другого типа оборудования, нагрузка от внутренней массы и от водоснабжения (Рисунок 5.15). К освещению относится как основное оборудование, так и мелкое в виде дополнительных источников. К электрическому оборудованию относится любое офисное оборудование для работы, кухонные приборы и прочее, всё то, что работает от электричества. К газовым нагрузкам можно отнести духовки или варочные поверхности [9].

Независимо от того, какой тип нагрузки задан, впоследствии выбранные нагрузки умножаются на связанный дробный график. Это позволяет нам моделировать изменяющийся во времени характер потребления энергии с дополнительной гибкостью разделения величины нагрузок от того, как часто они используются.

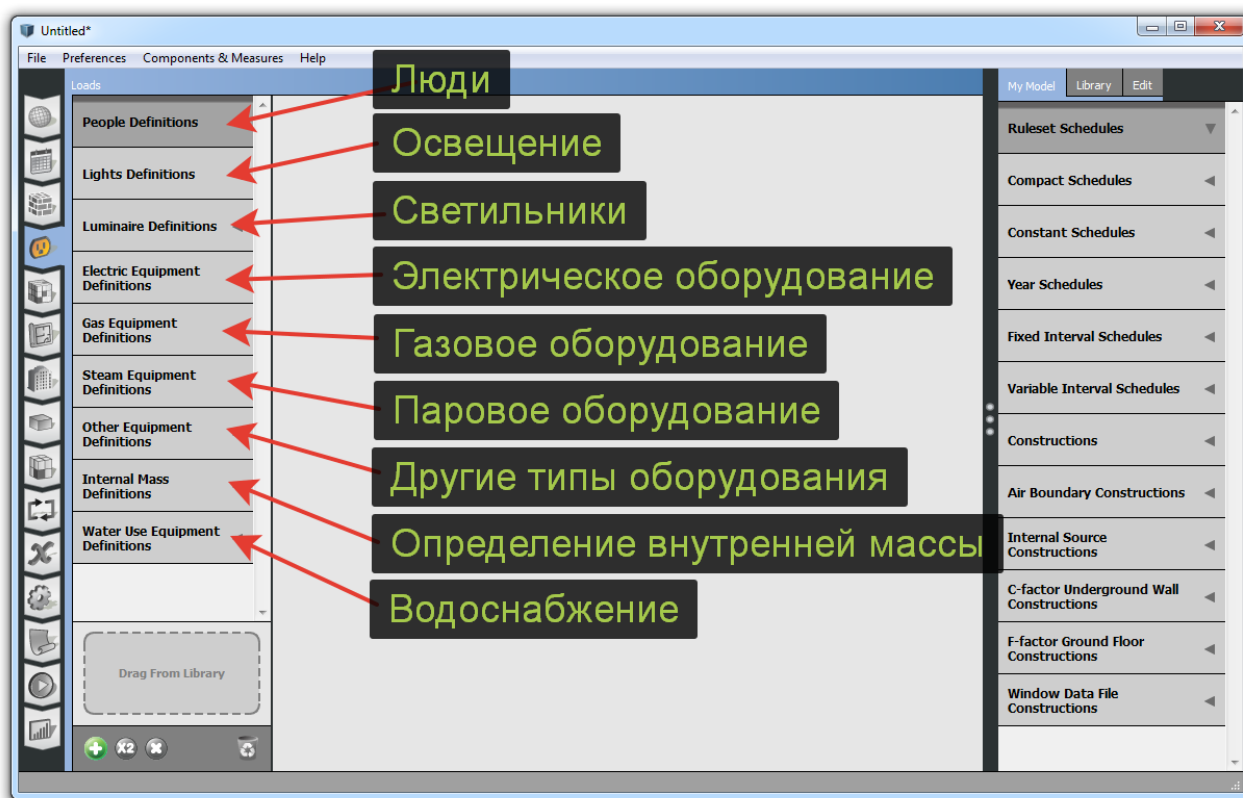


Рисунок 5.15 – Внутренние нагрузки

В программе есть 3 способа ввода нагрузки [9]:

- Номинальная мощность, потребляемая отдельным блоком (например, одним ноутбуком или телевизором) в пространстве;

- Номинальная мощность, потребляемая на единицу площади пола в пространстве
- Номинальная мощность, потребляемая на одного человека в пространстве.

Расчёт различных типов нагрузок проводится по-разному.

Для освещения и светильников существуют параметры (Рисунок 5.16) [9]:

- Fraction Radiant – часть энергии, излучаемой на поверхности в виде длинноволнового излучения;
- Fraction Visible – часть энергии, излучаемой на поверхности в виде коротковолнового излучения;
- Return Air Fraction – часть энергии, отбрасываемой в воздух, которая уходит из помещения;
- Fraction Convected – часть энергии, отброшенной в объем воздуха в пространстве;

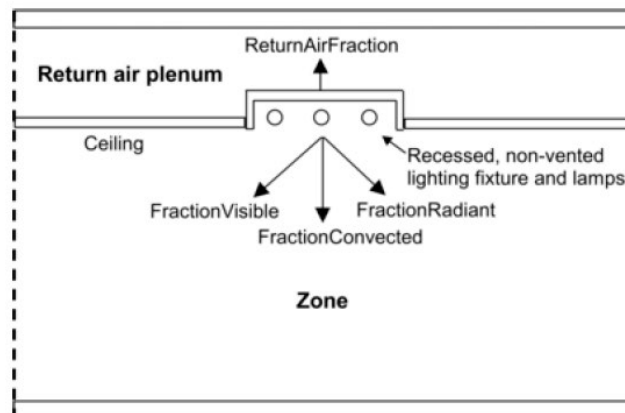


Рисунок 5.16 – Параметры освещения

Доля энергии, выброшенная в пространство, не вводится напрямую, а рассчитывается по формуле:

$$f_{convected} = 1 - f_{radiant} - f_{visible} - f_{return\ air}$$

Справочник EnergyPlus содержит типичные значения этих коэффициентов энергии для различных категорий освещения в разделе, посвященном источникам света [7].

Светильники (Luminaires) учитываются как единичные приборы и могут быть расположены в пространстве. Их можно использовать моделирования освещённости через Radiance [9].

Для электрического, газового, парового и других типов оборудования добавлены параметры [9]:

- Fraction Latent – часть энергии, добавленная к объему воздуха пространства в виде влаги;
- Fraction Radiant – часть энергии, излучаемой на поверхности пространства в виде длинноволнового излучения;
- Fraction Lost – часть энергии, не влияющая на тепловой баланс пространства за счет выполнения полезной механической работы или отбрасывания за пределы пространства;
- Fraction Convected – доля энергии, отводимой в объем воздуха пространства.

Доля энергии, выброшенная в пространство, не вводится напрямую, а рассчитывается по формуле:

$$f_{convected} = 1 - f_{latent} - f_{radiant} - f_{lost}$$

Для обозначения нагрузки от людей используется также Fraction Radiant. Но остальная часть тепловыделения разделяется на явные и скрытые. Расчёт проводится на основе типичной скорости метаболизма с учётом уровня отвода тепла. А тепловыделение в зависимости от деятельности человека задаётся при помощи графика Activity Level, который подключается к конкретному человеку или группе людей в разделе Spaces → Loads.

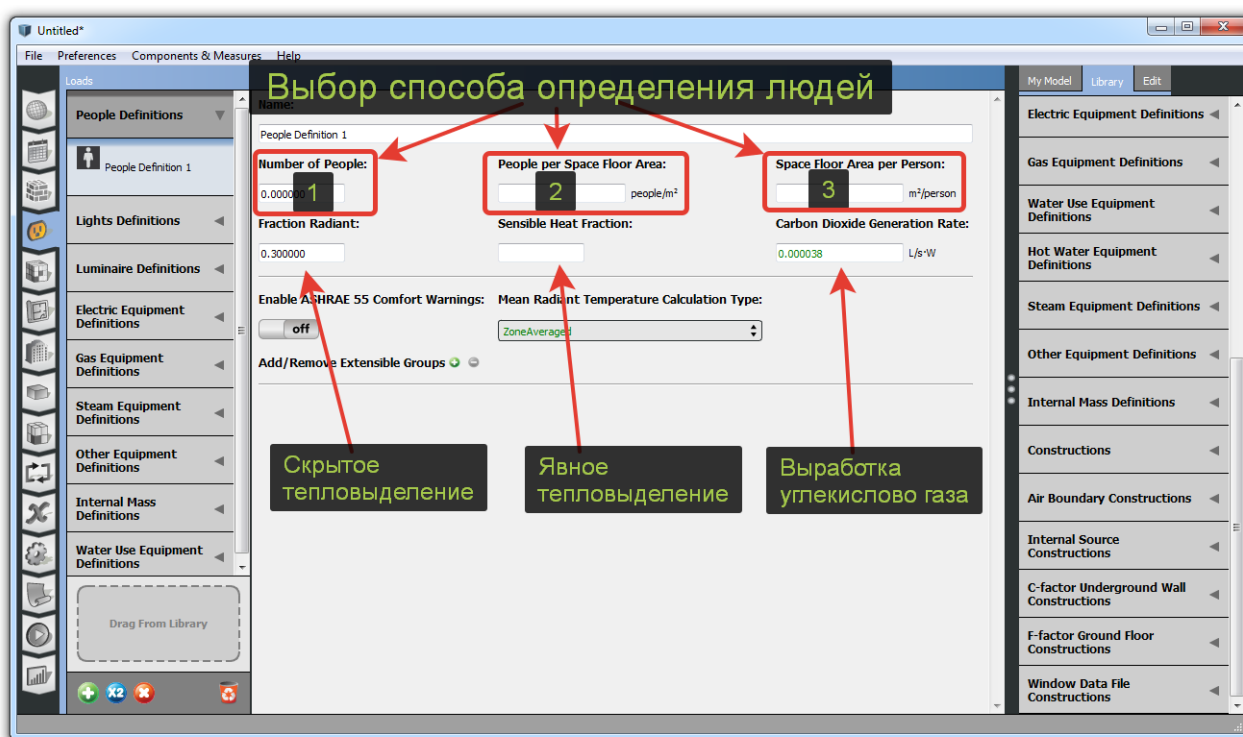


Рисунок 5.17 – Добавление людей

Водоснабжение обозначает использование воды в пространстве на бытовые нужды. Оборудование обозначается через пиковый расход ($\text{м}^3/\text{с}$) и контролируется графиком. В Target Temperature Schedule добавляется график с установленной температурой воды. Механизмами передачи тепла в пространство являются добавление явного тепла (Sensible Fraction Schedule), а также добавление скрытой влаги (Latent Fraction Schedule), предполагается, что любое оставшееся тепло конвекцией выводится из пространства в канализацию. Эти значения задаются графиком, а не фиксированным значением для гибкости расчётов.

Для программы всё добавляемое оборудование – это просто устройства, которые потребляют электричество и отдают тепло в пространство. Единственный способ, по которому OpenStudio различает блендер и электрический чайник, — это максимальная потребляемая мощность, график работы и механизмы передачи тепла в пространство. Как и освещение, оборудование может быть количественно определено по мощности на единицу, площади пола или на человека. Однако, в отличие от освещения, оборудование может потреблять разные виды топлива (например, электричество, газ, пар или другое). Каждый вид топлива учитывается отдельно в результатах моделирования.

5.5 Добавление информации о помещениях и термо зонах

Модели OpenStudio делятся на пространства, которые состоят из поверхностей и подповерхностей. В них вводятся внутренние нагрузки, а также же прикрепляются термо зоны с назначенными системами ОВКВ. На Рисунке 5.18 отображена упрощённая схема здания, на которое показан пример разделения на пространства и термо зоны. Пространства в термо зоне могут быть не смежными [9].



Рисунок 5.18 – Схема разделения здания

При моделировании производится расчёт теплового баланса для каждой термо зоны, при котором определяются граничные условия и способ передачи тепла. Нагрузки в пространствах также оказывают влияние на данный расчёт. В

алгоритме OpenStudio учитывается, что всё тепло, переданное в воздух внутри тепловой зоны, мгновенно распределяется равномерно. С помощью термостатов устанавливается постоянная или переменная температура. А системы ОВКВ подчиняются параметрам термостатов и обеспечивают требуемую температуру. Важно, чтобы мощности системы было достаточно для покрытия существующих нагрузок здания. Эти факторы необходимо учитывать при зонировании. Также важно учитывать расположение Пространств относительно фасада здания, изменение заданных значений отопления и охлаждения в Пространствах и многое другое [9].

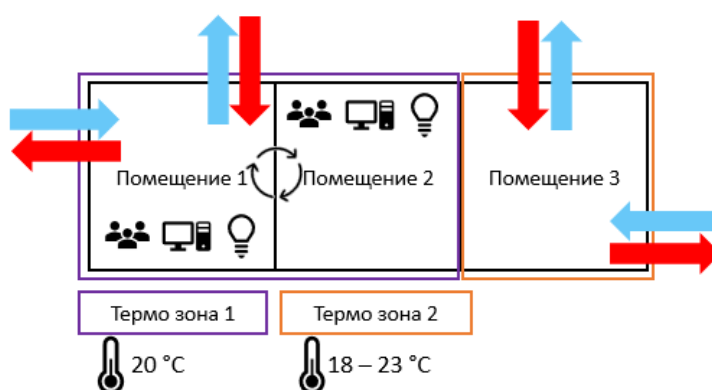


Рисунок 5.19 – Зонирование здания

При создании геометрии здания были добавлены помещения и термо-зоны, но их необходимо настроить. На Рисунке 5.20 представлены этапы заполнения информации о помещениях:

1. В подразделе Нагрузки добавляются созданные ранее внутренние нагрузки из вкладки My Model;
2. Добавление графиков из вкладки My Model;
3. Добавление тепловыделения от людей в зависимости от вида их активности из вкладки My Model;
4. Проверить, что все характеристики взаимосвязаны (Нагрузка в виде людей → График посещаемости людьми → График тепловыделения от людей);
5. В подразделе Поверхности проверить определённый тип поверхности (Surface=Face#/Surface#; Outdoors=Пустая ячейка в поле Объект);
6. Добавить к геометрии созданные конструкции (Если ранее был создан набор конструкций и добавлен в соответствующий раздел, то назначение конструкций к геометрии будет заполнено автоматически);
7. В подразделе Дополнительные поверхности добавить к геометрии дверей и окон созданные ранее конструкции (Если ранее был создан набор конструкций и добавлен в соответствующий раздел, то назначение конструкций к геометрии будет заполнено автоматически).

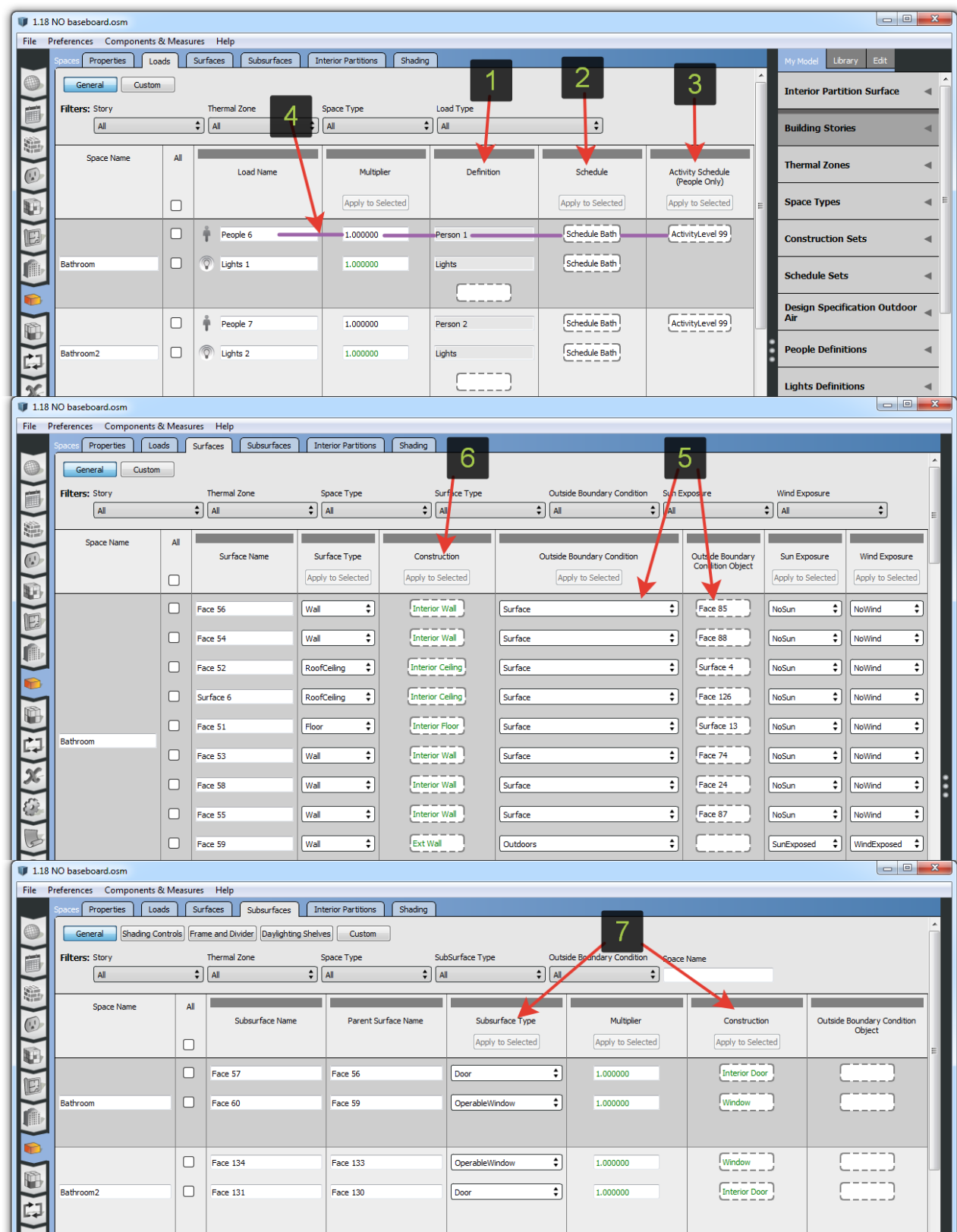


Рисунок 5.20 – Добавление данных в пространства

На Рисунке 5.21 обозначены основные моменты работы с разделом Термозоны:

1. Если поставить галочку, то включатся идеальные нагрузки в системе ОВиКВ (Такая функция позволяет не создавать системы вентиляции воздуха и не добавлять дополнительное оборудование для обработки воздуха, чтобы при моделировании рассчитать требуемые энергозатраты в зависимости от нагрузок на здание, теплового комфорта и метеорологических особенностей. А также это позволяет проверить модель на первичные ошибки);
2. Отображение созданных систем ОВиКВ в разделе Инженерных сетей;
3. Добавление оборудования для обработки воздуха и возможность его настройки в соответствующей панели;
4. Добавление термостата на охлаждение в виде графика (Устанавливаются граничные условия при помощи графиков. В графике указывается температура, выше которой воздух в помещении нагреваться не может. То есть если температура воздуха поднимается до обозначенной границы, то термостат на охлаждение срабатывает и подаёт сигнал системе ОВиКВ для охлаждения воздуха.);
5. Добавление термостата на нагрев в виде графика (Принцип тот же самый, что и с термостатом на охлаждение, только наоборот);
6. Добавление функции увлажнения воздуха через график;
7. Добавление функции осушения воздуха через график.

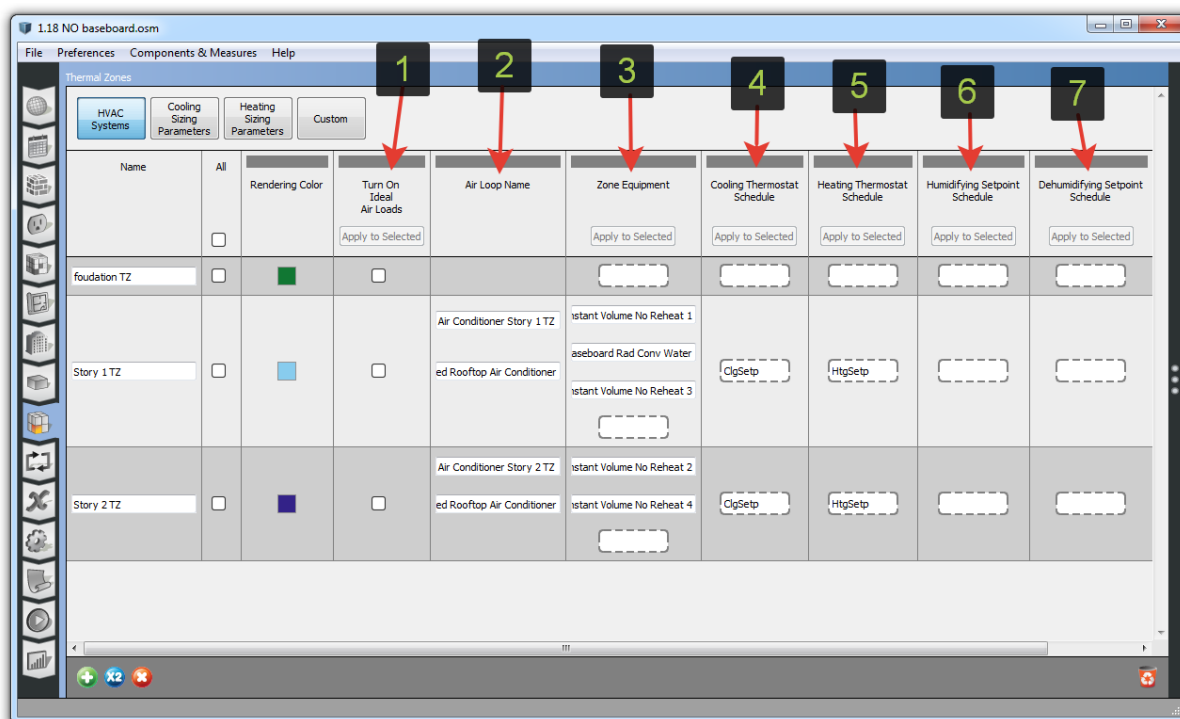


Рисунок 5.21 – Термозоны

Если в модели присутствует большое количество пространств, стоит обратиться к способам их разделения [9]:

➤ **Сходство внешних граничных условий (площадь поверхности):**

Нужно сравнить внешние площади ограждающих конструкций каждого пространства. Если пространства имеют схожие площади поверхности и типы поверхностей, то их можно объединить в термо зону.

➤ **Сходство внешних граничных условий (время):**

Нужно изучить изменение внешних нагрузок на пространства. Если два пространства находятся на верхнем этаже восточной стороны здания, то передача солнечного тепла будет наиболее интенсивной утром и менее интенсивной ближе к вечеру. Такие пространства стоит объединить. Поэтому нужно учитывать внешние условия в одно и то же время суток.

➤ **Близость и связанность пространств:**

Нужно учитывать расположение пространств в здании. Пространства могут быть смежными как по горизонтали на одном этаже, так и по вертикали на разных этажах.

➤ **Размер:**

Иногда большие объёмные пространства лучше разделить, если мгновенное смешение воздуха не рассматривается. Например, большой склад является одним пространством, но воздух, нагретый под воздействием горячей южной стены, не будет смешиваться с холодным воздухом на северном фасаде из-за большого объёма. Поэтому можно разбить большое пространство на несколько небольших и назначить каждое отдельной тепловой зоне.

➤ **Изменение внутренних нагрузок:**

Нужно учитывать количество приборов, которые оказывают нагрузку на помещение. Например, в офисе находится большое количество внутренних нагрузок, а коридор, который является смежным помещением, имеет минимальную или нулевую нагрузку. Если между этими пространствами нет прямого соединения или вентилятора, циркулирующего воздух, маловероятно, что большая часть тепла из рабочего помещения будет смешиваться с воздухом в коридоре. Эти пространства будет корректнее разделить на отдельные тепловые зоны.

➤ **Управляемость:**

Для некоторых пространств могут потребоваться уникальные заданные значения и графики. Например, отдельные номера в отеле должны предлагать

каждому гостю возможность устанавливать комфортную для него температуру. В этом случае каждый гостевой номер должен быть индивидуально зонирован.

5.7 Интеграция инженерных систем в модель здания

В разделе HVAC Systems добавляются системы нагрева, охлаждения и вентиляции воздуха, системы водоснабжения.

Корректное моделирование инженерных систем является одним из самых сложных аспектов моделирования энергопотребления из-за разнообразия доступных систем и средств управления, а также конструктивных соображений.

Любая система прикрепляется к термо зонам, которые включают в себя множество помещений. Соответственно требования к микроклимату для всех помещений должны быть одинаковые.

Схемы систем вентиляции в программе делятся на две части: Сторона, которая подаёт воздух с заданными параметрами и Сторона потребителя, где добавляются термо зоны (Рисунок 5.22).

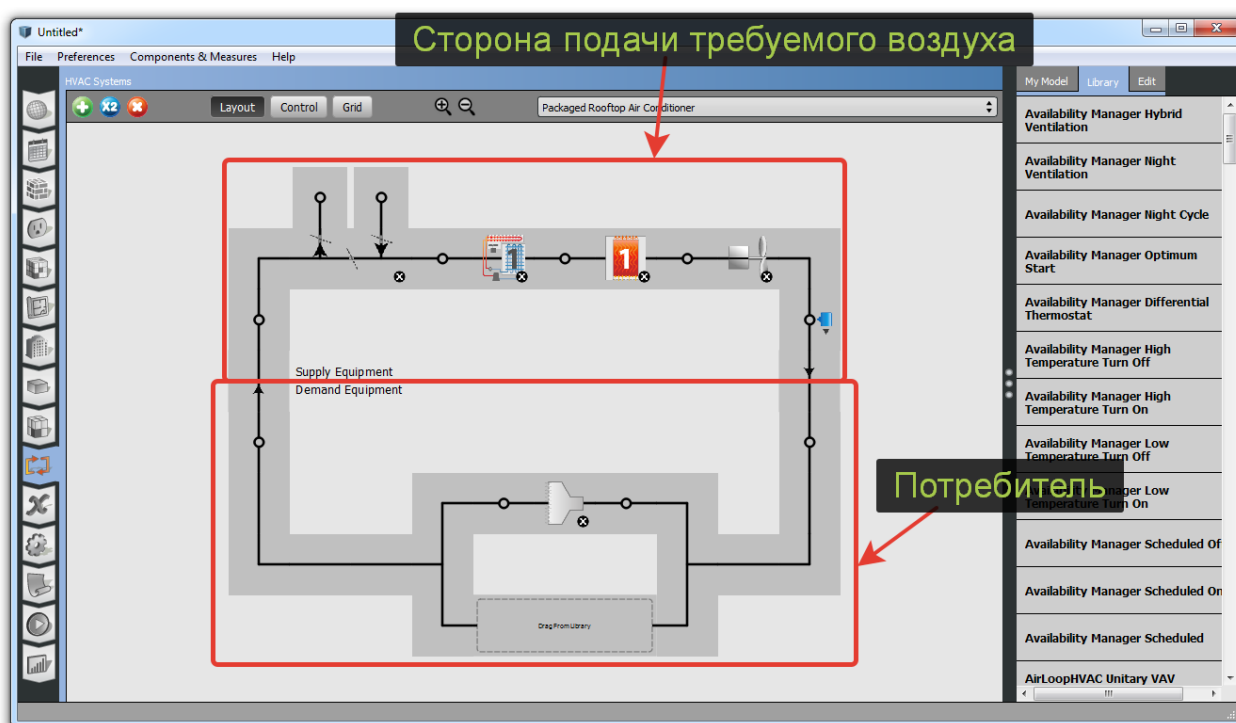


Рисунок 5.22 – Воздушный контур

На Рисунке 5.23 обозначены основные элементы управления:

1. При нажатии открываются параметры воздушного контура;
2. Область для добавления новой воздушной магистрали, направленной отдельно в термо зону;

3. Контроллер системы;
4. Элемент для подачи уличного воздуха:
 - ❖ Если необходимы условия 100 % подачи воздуха с улицы без рециркуляции вытяжного воздуха, то в редакторе элемента нужно добавить график формата Fractional, который уточняет количество подаваемого воздуха с улицы. В данном случае график на постоянной основе должен иметь значение 1, то есть 100 % (Рисунок 5.23).
5. Узлы для добавления новых элементов (Добавление с помощью «перетаскивания» элементов из вкладки My Model или Library);
6. Открытие панели управления контуром:
 - ❖ Рисунок 5.24:
 1. Источник охлаждения;
 2. Источник нагрева;
 3. Расписание работы системы;
 4. Уточнение эксплуатации системы ночью;
 5. Отображение обслуживаемой термо зоны;
 6. Добавление экономайзера;
 7. Добавление алгоритма условий работы системы.

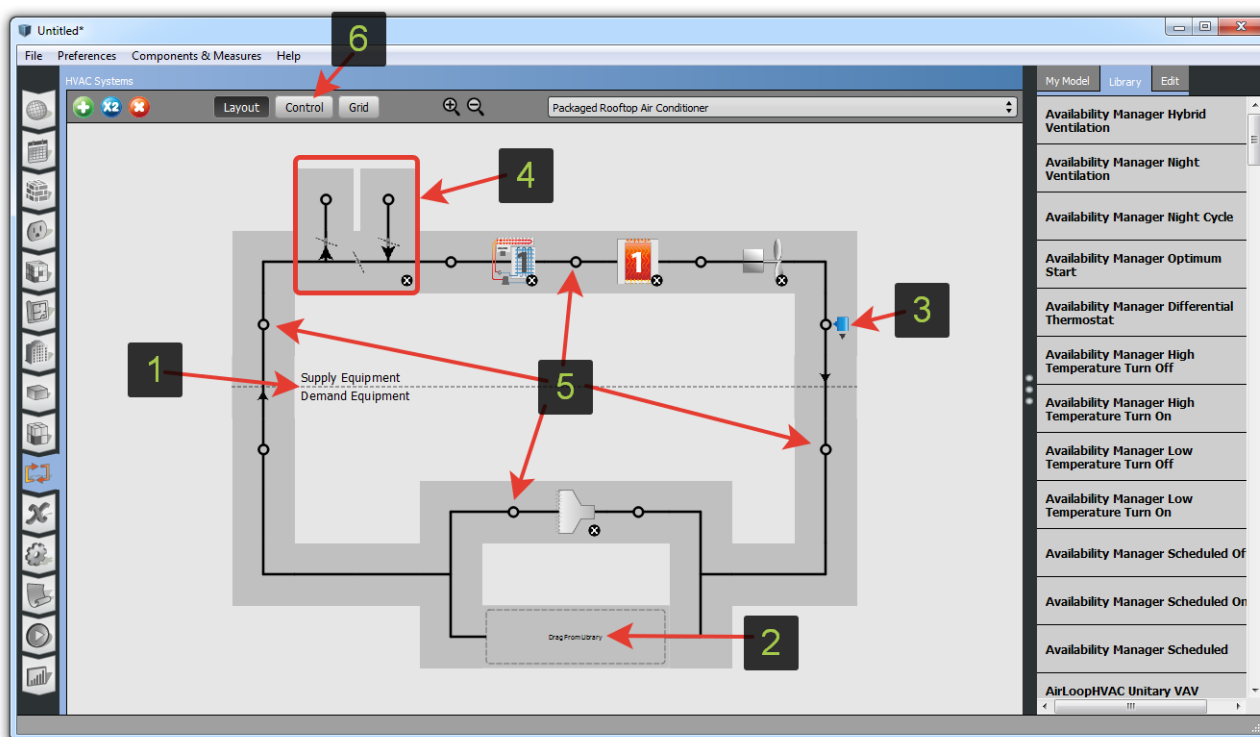


Рисунок 5.23 – Управление контуром

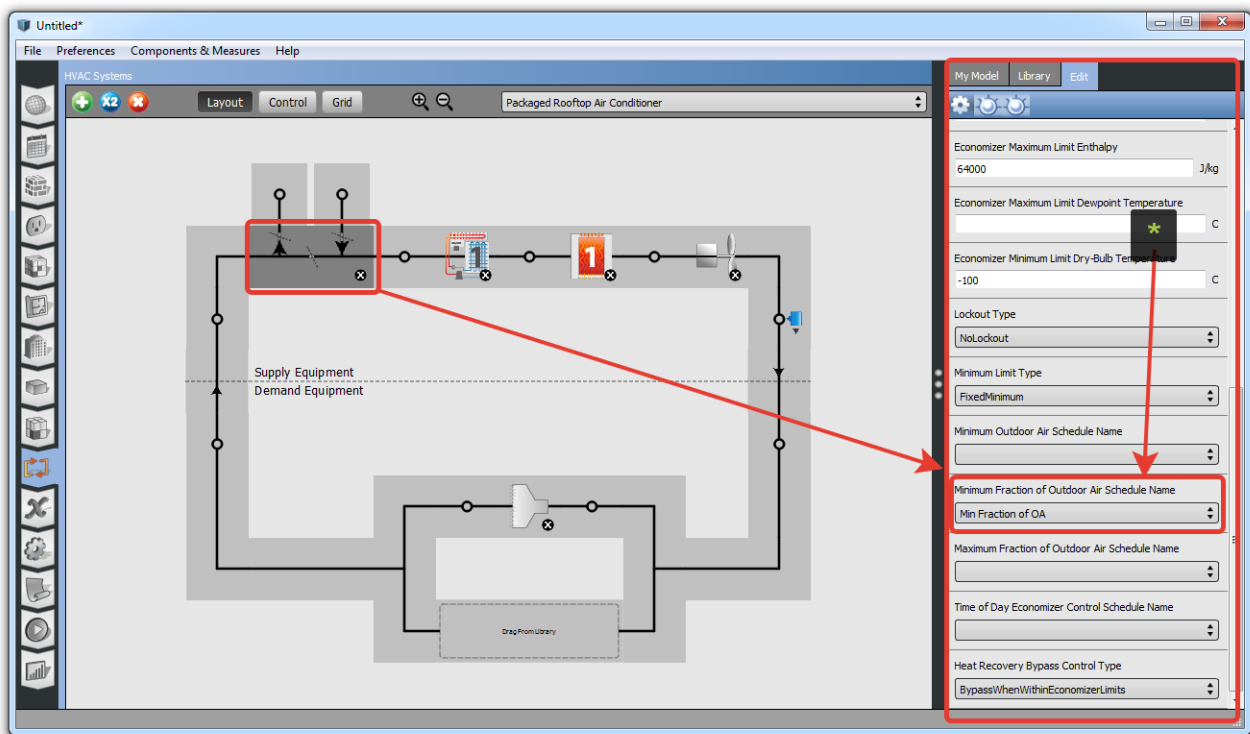


Рисунок 5.24 – Настройки элемента

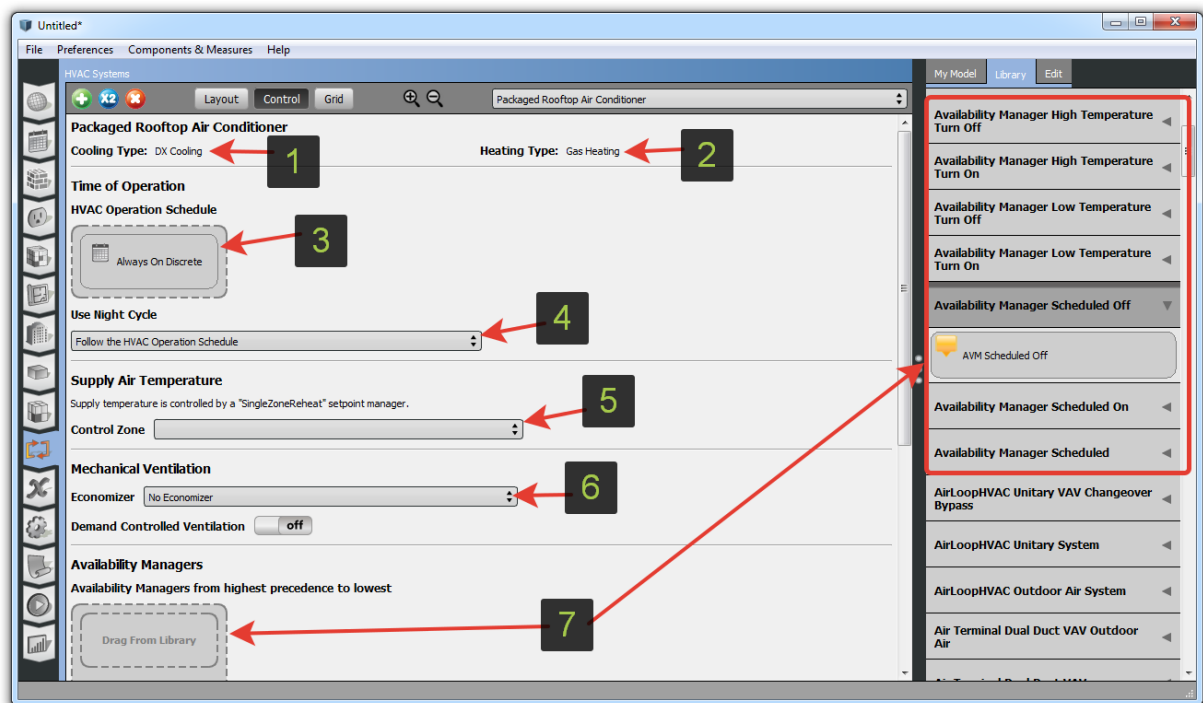


Рисунок 5.25 – Управление контуром

Для добавления системы водоснабжения достаточно повторить этапы, указанные на Рисунке 5.26, и настроить графики работы и параметры для каждого элемента:

1. – 2. Создание водяного контура для системы горячего водоснабжения на хозяйственные нужды;
3. При нажатии на соответствующий элемент откроется контур с добавленными разветвлениями на подачу и отведение воды по помещениям.

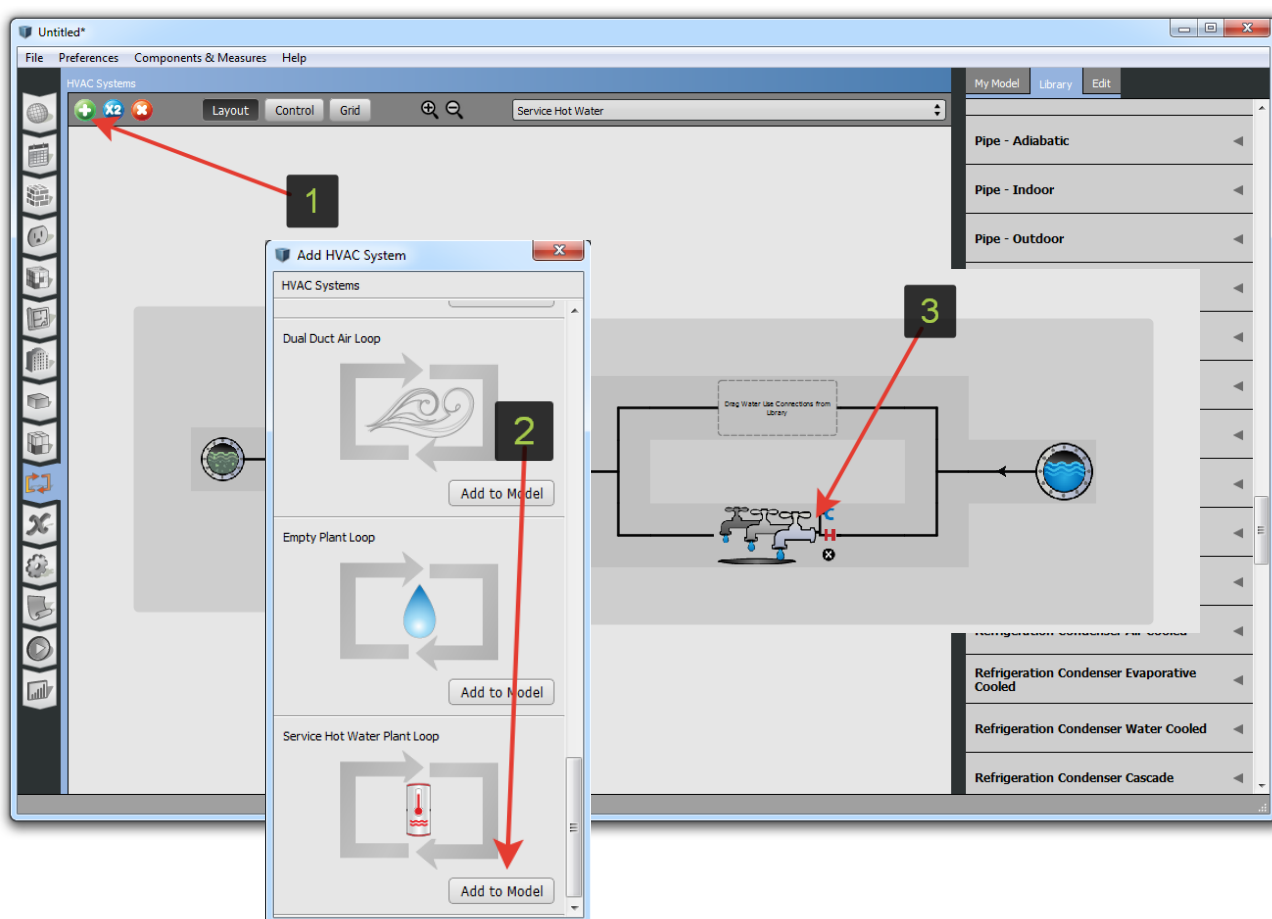
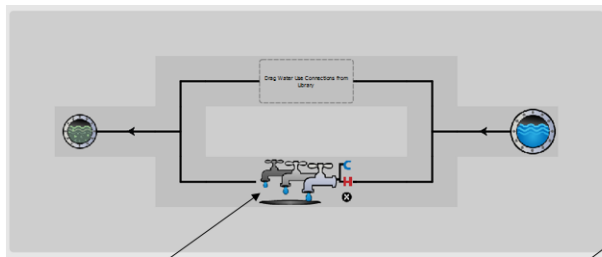
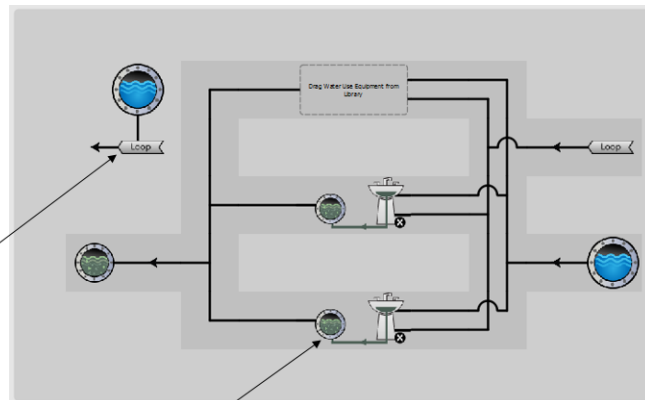


Рисунок 5.26 – Создание водяного контура

Пример создания системы водоснабжения:



1. Water Use Connection



2. Water Fixture

3. Присвоение графиков расхода воды (Flow Rate Fraction Schedule Name) и помещения (Space Name)

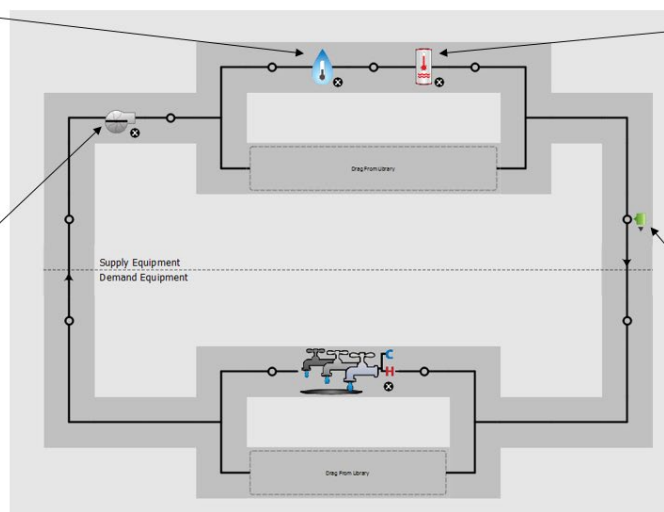
4. Необходимо перейти в водяной контур, нажав на Loop

Plant Component Temperature Source

Name	Plant Component Temperature Source
Design Volume Flow Rate	Hard Set 1 m³/s
Temperature Specification Type	Constant
Source Temperature	1 °C
Source Temperature Schedule Name	

Const Spd Pump

Name	Const Spd Pump 1
Rated Flow Rate	Hard Set 1 m³/s
Rated Power Head	17.502 Pa
Rated Power Consumption	Hard Set 1 W
Water Efficiency	0.5
Fraction of Water Inflow/Outflow to Fluid Stream	1
Pump Control Type	Constant
Design Power Setting Method	Constant/Static Pressure
Design Electric Power per Unit Flow Rate	146.761 J/s
Design Shaft Power per Unit Flow Rate per Unit Head	1.38201 J/s²
Fluid Use Subcategory	



Water Heater

Name	Water Heater
Task Volume	Hard Set 1 m³/s
Support Temperature Schedule Name	Water Heater Support Temperature
Design Temperature Difference	1
Maximum Temperature Limit	60.0 °C
Heater Control Type	On/Off
Heater Maximum Capacity	Hard Set 10000 W

Scheduled HW Temp

Name	Scheduled HW Temp
Control Variable	Temperature
Schedule Name	Hot Water Temperature 1

Пример создания системы вентиляции:

Properties Panel (HVAC Systems > Outdoor Air System):

- Name: Air Loop HVAC Outdoor Air System 1
- Controller: Outdoor Air 1
- Minimum Outdoor Air Flow Rate: 0 m³/s (Hard Set)
- Maximum Outdoor Air Flow Rate: 0 m³/s (Hard Set)
- Economizer Control Type: No Economizer
- Economizer Control Action Type: No Economizer
- Economizer Maximum Limit Dry-Bulb Temperature: 28 °C
- Economizer Maximum Limit Enthalpy: 6000 J/kg
- Economizer Maximum Limit Dewpoint Temperature: 10 °C
- Economizer Minimum Limit Dry-Bulb Temperature: -100 °C
- Lockout Type: No Lockout
- Minimum Limit Type: Freeze/Minimum
- Minimum Outdoor Air Schedule Name: (Empty)
- Minimum Fraction of Outdoor Air Schedule Name: (Empty)
- Maximum Fraction of Outdoor Air Schedule Name: (Empty)
- Time of Day Economizer Control Schedule Name: (Empty)
- Heat Recovery Bypass Control Type: Bypass If Entropy is in Economizer Limits

Schematic Diagram:

- Coil Cooling DX Single Speed**: Points to the cooling coil in the supply air stream.
- Coil Heating Gas**: Points to the heating coil in the return air stream.
- Fan Constant Volume**: Points to the fan unit in the return air stream.
- Air Terminal Single Duct Constant Volume No Reheat**: Points to the air terminal in the supply air stream.
- Scheduled Deck Temp**: Points to the temperature sensor on the deck.

Bottom Panel (Packaged Rooftop Air Conditioner):

- Cooling Type:** DX Cooling
- Heating Type:** Gas Heating
- Time of Operation:** HVAC Operation Schedule (HVAC)
- Use Night Cycle:** Follow the HVAC Operation Schedule
- Supply Air Temperature:** Supply air temperature is controlled by a scheduled setpoint manager. Supply Air Temperature Schedule (Deck Temperature 2)
- Mechanical Ventilation:** Economizer: No Economizer; Demand Controlled Ventilation: off
- Availability Managers:** Availability Managers from highest precedence to lowest (Drag From Library)

Schedule Editor (Deck Temperature 2):

Default day profile:

Day	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Mon	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tue	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Wed	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Thu	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Fri	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Sat	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Sun	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Пример создания двух кондиционеров:

Coil Cooling DX Single Speed

Fan Constant Volume

Air Terminal Single Duct Constant Volume No Reheat

Кондиционер для 1-ого этажа

HVAC Systems

Layout Control Grid

Air Conditioner Story 1 TZ

Cooling Type: DX Cooling Heating Type: Unclassified Heating

Time of Operation

HVAC Operation Schedule

AC sch

Use Night Cycle

Follow the HVAC Operation Schedule

Supply Air Temperature

Supply temperature is controlled by a "SingleZoneReheat" setpoint manager.

Control Zone Story 1 TZ

Mechanical Ventilation

This system configuration does not provide mechanical ventilation

Availability Managers

Availability Managers from highest precedence to lowest

- AVM LowTempTurn
- AVM HighTempTurn

OS:AvailabilityManager:LowTemperatureTurnOff

Name: AVM LowTempTurnOff

Sensor Node Name: Node 46

Temperature: 19 C

Applicability Schedule Name: AC sch

OS:AvailabilityManager:HighTemperatureTurnOn

Name: AVM HighTempTurnOn

Sensor Node Name: Node 33

Temperature: 22 C

Schedule Name: AC sch Schedule Type: Fractional

Day Range: 1/1/2011 00:00 12/31/2011 00:00

Apply to: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12

Schedule Day Name: Schedule Day 33

Lower Limit: 1.00 Upper Limit: 1.00

Mouse over horizontal line to set value

Schedule Name: AC sch Schedule Type: Fractional

Default day profile: Schedule Day 29

Lower Limit: 1.00 Upper Limit: 1.00

Mouse over horizontal line to set value

Кондиционер для 2-ого этажа

HVAC Systems

Layout Control Grid

Air Conditioner Story 2 TZ

Cooling Type: DX Cooling Heating Type: Unclassified Heating Type

Time of Operation

HVAC Operation Schedule

AC sch

Use Night Cycle

Follow the HVAC Operation Schedule

Supply Air Temperature

Supply temperature is controlled by a "SingleZoneReheat" setpoint manager.

Control Zone Story 2 TZ

Mechanical Ventilation

This system configuration does not provide mechanical ventilation

Availability Managers

Availability Managers from highest precedence to lowest

- AVM LowTempTurn 1
- AVM HighTempTurn 1

OS:AvailabilityManager:LowTemperatureTurnOff

Name: AVM LowTempTurnOff 1

Sensor Node Name: Node 46

Temperature: 19 C

Applicability Schedule Name: AC sch

OS:AvailabilityManager:HighTemperatureTurnOn

Name: AVM HighTempTurnOn 1

Sensor Node Name: Node 32

Temperature: 22 C

Schedule Name: AC sch Schedule Type: Fractional

Day Range: 1/1/2011 00:00 12/31/2011 00:00

Apply to: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12

Schedule Day Name: Schedule Day 33

Lower Limit: 1.00 Upper Limit: 1.00

Mouse over horizontal line to set value

Schedule Name: AC sch Schedule Type: Fractional

Default day profile: Schedule Day 29

Lower Limit: 1.00 Upper Limit: 1.00

Mouse over horizontal line to set value

6. Варианты заданий для самостоятельной работы

6.1 Задание №1 – Создание энергомодели здания

Задание.

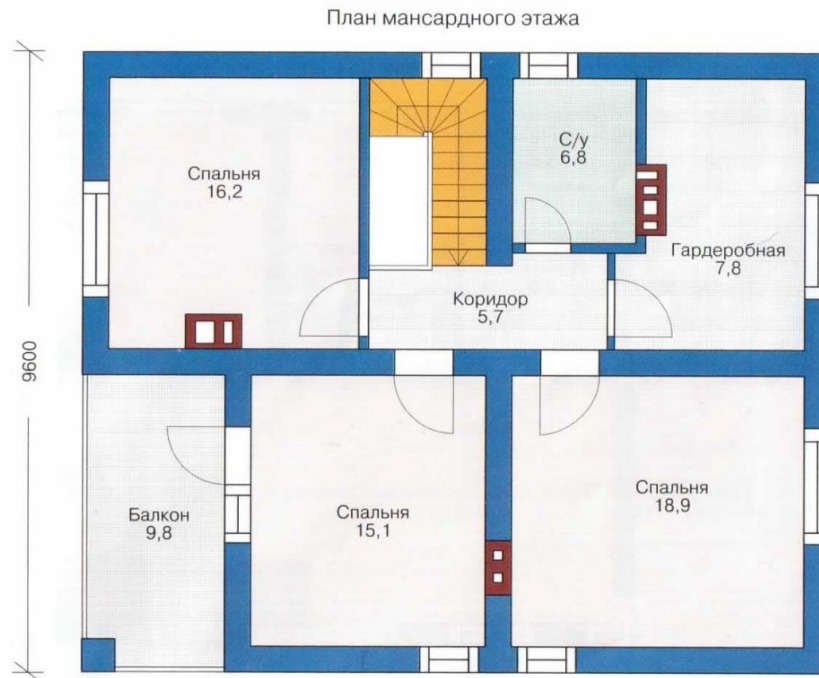
Создать энергомодель здания с идеальными нагрузками на систему ОВиКВ на основе плана этажей и общих характеристик в соответствии с вариантом.

Общие параметры:



План первого этажа





Высота 1-го этажа 2700 мм;

Высота 2-го этажа 3000 мм;

Фундамент – ленточный, бетон, высота 600 мм;

Пол на 1-ом этаже – ковёр + бетон 102 мм + стекловата 100 мм;

Отделка стен – кирпич;

Окна – высота 1 800 мм (ширина в соответствии с планом), двухкамерные стеклопакеты стекло/воздух (4-8-4-8-4 мм);

Входная дверь – высота 2 000 мм * ширина 900 мм, металлическая основа + теплоизоляция 25 мм;

Межкомнатные двери – высота 2 000 мм * ширина 900 мм, деревянная основа 25 мм;

Внутренние ограждающие конструкции:

Стены – гипсокартон 19 мм + воздушная подушка 0,15 (м²*К)/Вт + гипсокартон 19 мм;

Пол – звукопоглощающая облицовочная плитка 19 мм + воздушная подушка 0,18 (м²*К)/Вт + пенобетон 100 мм;

Потолок – пенобетон 100мм + воздушная подушка 0,18 (м²*К)/Вт + звукопоглощающая облицовочная плитка 19 мм;

График нахождения людей в здании:

Пн – Пт с 20:00 до 9:00

Сб – Вс весь день

Требуемые графики:

- Тепловыделения от людей;
- Термостаты на охлаждение и нагрев (Охлаждение: если люди есть, то 20, если нет, то 25. Нагрев: если люди есть, то 20, если нет, то 16);
- Время работы HVAC (только тогда, когда люди дома);
- Расписание посещения для каждой комнаты;
- Расписание работы техники (Электрическая плита и чайник: кухня. Телевизор: любая комната. Компьютер: любая комната).

Вариант №1

Количество проживающих человек: 2 человека;

Город: Архангельск;

Материалы внешних ограждающих конструкций: Крыша (профилированный металлический настил 1.5мм + стекловата 200мм + полимерная мембрана 9.5мм), Стены (штукатурка 25мм + кирпич 120мм + пенобетон 190мм).

Вариант №2

Кол-во проживающих человек: 4 человека;

Город: Якутск;

Материалы внешних ограждающих конструкций: Крыша (профилированный металлический настил 1.5мм + стекловата 200мм + полимерная мембрана 9.5мм), Стены (штукатурка 25мм + кирпич 120мм + пенобетон 190мм).

Вариант №3

Кол-во проживающих человек: 6 человек;

Город: Санкт-Петербург;

Материалы внешних ограждающих конструкций: Крыша (профилированный металлический настил 1.5мм + стекловата 200мм + полимерная мембрана 9.5мм), Стены (штукатурка 25мм + кирпич 120мм + пенобетон 190мм).

Вариант №4

Кол-во проживающих человек: 8 человек;

Город: Самара;

Материалы внешних ограждающих конструкций: Крыша (профилированный металлический настил 1.5мм + стекловата 200мм + полимерная мембрана 9.5мм), Стены (штукатурка 25мм + кирпич 120мм + пенобетон 190мм).

Вариант №5

Кол-во проживающих человек: 8 человек;

Город: Архангельск;

Материалы внешних ограждающих конструкций: Крыша (профилированный металлический настил 1.5мм + стекловата 200мм + полимерная мембрана 9.5мм), Стены (штукатурка 25мм + кирпич 120мм + стекловата 100 мм + пенобетон 190мм).

Вариант №6

Кол-во проживающих человек: 6 человек;

Город: Якутск;

Материалы внешних ограждающих конструкций: Крыша (профилированный металлический настил 1.5мм + стекловата 200мм + полимерная мембрана 9.5мм), Стены (штукатурка 25мм + кирпич 120мм + стекловата 100 мм + пенобетон 190мм).

Вариант №7

Кол-во проживающих человек: 4 человека;

Город: Санкт-Петербург;

Материалы внешних ограждающих конструкций: Крыша (профилированный металлический настил 1.5мм + стекловата 200мм + полимерная мембрана 9.5мм), Стены (штукатурка 25мм + кирпич 120мм + стекловата 100 мм + пенобетон 190мм).

Вариант №8

Кол-во проживающих человек: 2 человека;

Город: Самара;

Материалы внешних ограждающих конструкций: Крыша (профилированный металлический настил 1.5мм + стекловата 200мм + полимерная мембрана 9.5мм), Стены (штукатурка 25мм + кирпич 120мм + стекловата 100 мм + пенобетон 190мм).

6.2 Задание №2 Создание инженерных систем

Встроить в готовую модель по вариантам инженерные системы:

1. Система кондиционирования и подогрева воздуха с воздухоохладителем с непосредственным испарительным охлаждением и газовым воздухонагревателем (Рисунок 6.1);
2. Горячее и холодное водоснабжение с газовым бойлером для нагрева подаваемой воды (Рисунок 6.2).

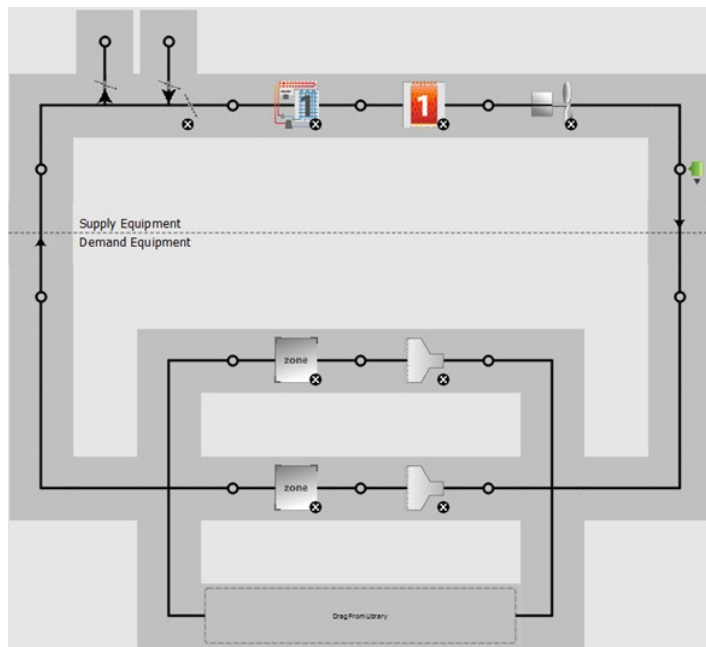


Рисунок 6.1 – Воздушный контур

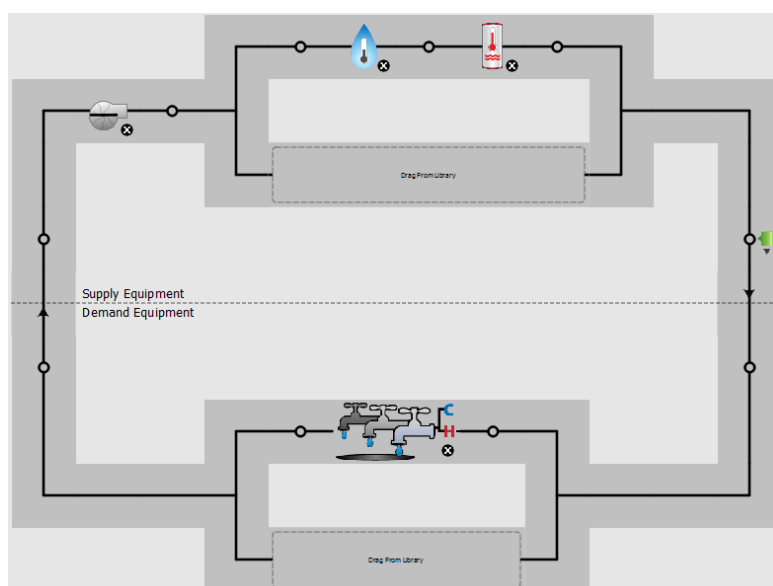
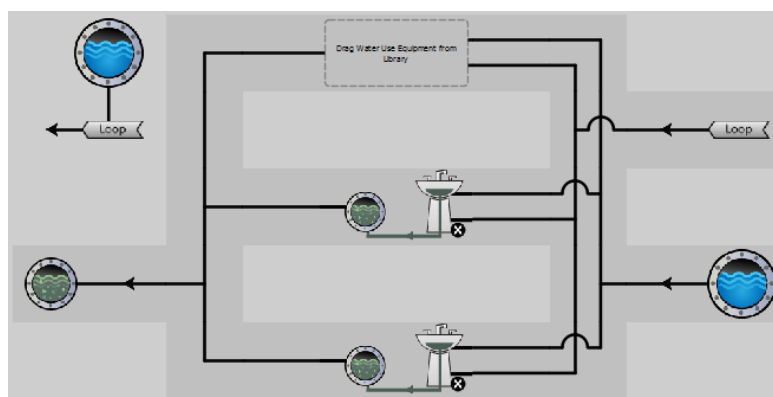


Рисунок 6.2 – Контур водоснабжения

7. Требования к оформлению отчётных материалов

Отчёт должен содержать:

- Титульный лист с указанием наименования учебного заведения, года, города, фамилий студента и преподавателя;
- Текст задания и исходные данные варианта;
- Поэтапный алгоритм создания энергомодели, с соответствующими рисунками и пояснениями;
- Изображение построенной 3D модели здания из программы;
- Значения потребления электроэнергии за год (кВт*ч) на освещение и электроприборы;
- Значения годовой мощности системы (кВт*ч) на охлаждение и нагрев помещений;
- График соотношения работы системы охлаждения и нагрева воздуха с температурой наружного воздуха (OpenStudio Results);
- График теплопотерь и теплопритоков (Envelope and Internal Load Breakdown);
- Графики тепловыделений от людей, освещения и электроприборов за месяц из TimeStep;
- Графики температуры воздуха в помещениях по этажам за месяц из TimeStep;
- Графики теплопритоков и теплопотерь через остекление из TimeStep;
- Выводы по проделанной работе.

К отчёту в электронном варианте нужно прикрепить модель в формате «OSM» и папку с файлами по модели (называется также, как и файл «OSM»)

8. Контрольные вопросы

1. Отличия BEM от BIM моделирования?
2. Что оценивает энергомоделирование?
3. Этапы разработки энергомодели?
4. Виды внешних и внутренних нагрузок, которые оказывают влияние на здание?
5. Что такое BCL?
6. Самое главное правило при разработке энергомодели в программе OpenStudio?
7. Правила составления конструкции из материалов?
8. Разница между Space Type и Thermal Zone?
9. Что такое Activity Level?
10. Для чего нужен параметр графиков Run Period Profiles?
11. Что означает тип графика Fractional и как используется?
12. Из каких 4-х параметров строится расчёт освещения?
13. Для чего включается параметр Ideal Air Loads?
14. В чём принцип работы термостатов и логика их создания в программе?
15. Категории систем ОВКВ в OpenStudio?
16. Как сделать, чтобы через систему вентиляции воздух в помещения подавался исключительно с улицы (Инженерные сети OpenStudio)?
17. Какой тип ошибки является причиной прекращения симуляции?
18. Что обозначает поле Zone Conditions в разделе Result Summary: OpenStudio Results?
19. Причины для объединения пространств в тепловые зоны?
20. Названия вентиляторов в зависимости от их расположения в контуре системы в программе OpenStudio?

Список литературы

1. Stephenson D.G. and Mitalas G.P. (1971). Calculation of Heat Conduction Transfer Functions for multi-Layer Slabs, ASHRAE Annual Meeting, Washington, D.C., August 22-25.
2. Wright R. N. Building and fire research at NBS/NIST 1975-2000. – 2003.
3. Kusuda T. NBSLD, computer program for heating and cooling loads in buildings. Final report. – National Bureau of Standards, Washington, DC (USA). Center for Building Technology, 1974. – №. PB-246184; NBSIR-74-574.
4. Kusuda T. (ed.). Use of Computers for Environmental Engineering Related to Buildings: Proceedings. – National Bureau of Standards, 1971. – Т. 39.
5. Haberl J. S., Cho S. Literature review of uncertainty of analysis methods //Texas A&M University, College Station ESL-TR-04/11-1. – 2004.
6. TRNSYS – The Transient Energy System Simulation Tool. (n.d.). Источник: <http://www.trnsys.com/>
7. Documentation D. O. E. E. P. Input Output Reference //Department of Energy (DOE): Washington, DC, USA. – 2020.
8. Tupper K. et al. Building Energy Modeling (BEM) Innovation Summit //Rocky Mountain Institute (RMI). – 2011.
9. Brackney L. et al. Building energy modeling with OpenStudio. – New York : Springer International Publishing, 2018. – Т. 10. – С. 978-3.
10. Сухов В. В., Морозов М. С. Инженерные сети. – 2019.

Никитина Вероника Александровна
Сулин Александр Борисович

Энергомоделирование в программе OpenStudio

Учебно-методическое пособие

В авторской редакции

Редакционно-издательский отдел Университета ИТМО

Зав. РИО

Н.Ф. Гусарова

Подписано к печати

Заказ №

Тираж

Отпечатано на ризографе

Редакционно-издательский отдел
Университета ИТМО
197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49, литер А