

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

Институт Строительства и Архитектуры

Кафедра Информационное моделирование в строительстве

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ ПЕРЕД ГЭК


Зав. кафедрой ИМС
Зверева О. М.
(подпись)
« 7 » июля 2024 г.

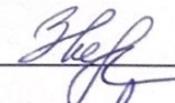
ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЕТА ТЕПЛОПOTЕРЬ ЗДАНИЯ С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЕГО ЦИФРОВОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

Научный руководитель:

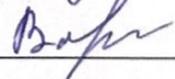
кан. техн. наук, доцент

Зверева О. М.

 подпись

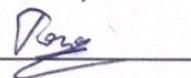
Нормоконтролер:

Варгина Т.А.

 подпись

Студент группы СТМ-221001:

Точилкин Д.С.

 подпись

Екатеринбург

2024

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

«Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина»

Институт Строительства и Архитектуры
Кафедра Информационное моделирование в строительстве
Направление 08.04.01 – Строительство
Образовательная программа «Информационное моделирование зданий, сооружений и территорий»

УТВЕРЖДАЮ

/Зав. кафедрой ИМС


(подпись)

Зверева О.М.
(Ф.И.О.)

« 7 » июня 2024 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

студента Точилкина Даниила Сергеевича группы СТМ-221001
(фамилия, имя, отчество)

1. **Тема ВКР:** «Автоматизация расчета теплотерь здания с использованием его цифровой информационной модели»

Утверждена распоряжением по институту от «02» октября 2023г. № 33-03-05/4а(02)

2. **Руководитель** Зверева О. М., доцент, кан. техн. наук.
(Ф.И.О., должность, ученое звание, ученая степень)

3. **Исходные данные к работе**

Информационные модели здания для тестирования разработанного скрипта.

4. **Содержание пояснительной записки (перечень подлежащих разработке вопросов)**

Введение

Раздел 1. Основные понятия и нормативная база для проведения расчета теплотерь здания

Раздел 2. Анализ существующих методов и ПО для автоматического расчета теплотерь

Раздел 3. Описание и алгоритм разработанного программного скрипта

Раздел 4. Инструкция пользователя

Заключение

Список использованных источников

5. **Перечень демонстрационных материалов** (в этих позициях - схемы, алгоритмы, методики, результаты в удобной последовательности изложения)

1. Слайды, описывающие актуальность, цель и задачи работы.

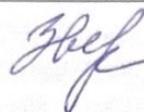
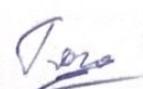
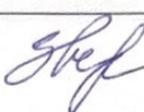
2. Слайды, описывающие основные понятия, необходимые для расчета теплотерь.

3. Слайды, описывающие сравнение существующего программного обеспечения для проведения автоматического расчета теплотерь.

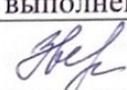
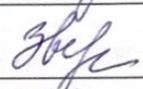
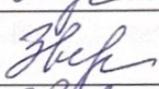
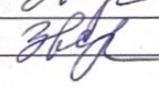
4. Слайды, описывающие алгоритм действия разработанного скрипта.

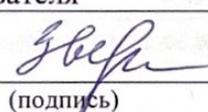
5. Слайды, описывающие разработанную инструкцию для пользования скриптом.

6. Консультанты по проекту (работе) с указанием относящихся к ним разделов проекта

Раздел	Консультант	Подпись, дата	
		задание выдал	задание принял
Основные понятия и нормативная база для проведения расчета теплопотерь здания	Зверева О. М.		
Анализ существующих методов и ПО для автоматического расчета теплопотерь	Зверева О. М.		
Описание и алгоритм разработанного программного скрипта	Зверева О. М.		
Инструкция пользователя	Зверева О. М.		

7 Календарный план

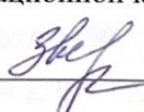
Наименование этапов выполнения работы	Срок выполнения этапов работы	Отметка о выполнении
Основные понятия и нормативная база для проведения расчета теплопотерь здания	20.05.2024	
Анализ существующих методов и ПО для автоматического расчета теплопотерь	30.05.2024	
Описание и алгоритм разработанного программного скрипта	05.06.2024	
Инструкция пользователя	10.06.2024	

Руководитель  Зверева О. М.
(подпись) Ф.И.О.

Задание принял к исполнению 
(подпись)

8 Выпускная работа закончена « 10 » июня 2024 г.

Считаю возможным допустить Точилкина Данилу Сергеевича
к защите его выпускной квалификационной работы в экзаменационной комиссии.

Руководитель 

9. Допустить Точилкина Данилу Сергеевича к защите выпускной квалификационной работы в экзаменационной комиссии (протокол заседания кафедры № 5 от « 7 » июня 2024 г.)

Зав. кафедрой 

РЕФЕРАТ

Отчет 44 с., 31 рис., 5 табл., 16 источников.

Ключевые слова: автоматизация, информационное моделирование, расчет теплотерь, скрипт, цифровая информационная модель, Dynamo.

Объект исследования ВКР – процесс расчета теплотехнических потерь здания.

Предмет исследования ВКР – возможность автоматизации процесса теплотехнических потерь.

Цель работы – разработка программного скрипта для автоматизации расчета теплотерь здания с использованием его ЦИМ.

Методы исследования – эмпирические и теоретические, такие как: анализ, сравнение, моделирование.

Результатом работы является разработанный в ПО Dynamo программный скрипт для ПО Autodesk Revit, позволяющий автоматически производить расчет теплотехнических потерь помещений здания с сохранением результатов в параметрах элементов ЦИМ.

Область применения полученных результатов – проектные организации, применяющие в своей деятельности технологию информационного моделирования.

Практическая значимость работы заключается в возможности применения созданного скрипта проектными компаниями для разработки рабочей документации.

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ.....	4
ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ	5
ВВЕДЕНИЕ.....	6
1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И НОРМАТИВНАЯ БАЗА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ РАСЧЕТА ТЕПЛОПОТЕРЬ ЗДАНИЯ.....	8
1.1 Основные положения.....	8
1.2 Нормативное обоснование	9
2. АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ И ПО ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ТЕПЛОПОТЕРЬ.....	12
2.1 Встроенный инструмент «Autodesk Revit MEP».....	12
2.2 Модуль «Linear Building Heating»	15
2.3 Плагин «Два облака».....	18
2.4 Сравнение программных продуктов	20
3. ОПИСАНИЕ И АЛГОРИТМ РАЗРАБОТАННОГО ПРОГРАММНОГО СКРИПТА	22
3.1 Требования к проектированию скрипта.....	23
3.2 Сбор исходных данных из цифровой модели	24
3.3 Мероприятия по подготовке архитектурной модели	24
3.4 Мероприятия по подготовке инженерной модели.....	26
3.5 Описание алгоритма разработанного скрипта	27
3.6 Тестирование разработанного скрипта	33
4. ИНСТРУКЦИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ.....	38
4.1 Алгоритм работы с моделью перед запуском скрипта.....	38
4.2 Алгоритм работы со скриптом.....	39
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	42
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	43

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Нод — узел или блок программного кода, выполняющий заданную операцию внутри среды визуального программирования Dynamo.

Плагин — подключаемый программный модуль, предназначенный для расширения функционала основного программного обеспечения.

Скрипт — сценарий, состоящий из набора команд (строк программного кода), выполняющий конкретную задачу и предназначенный для расширения возможностей сторонних программ.

Теплотехнические потери здания — количество тепловой энергии, которое теряется зданием через ограждающие конструкции, в единицу времени.

Цифровая информационная модель — объектно-ориентированная параметрическая трехмерная модель, представляющая в цифровом виде физические, функциональные и прочие характеристики объекта (или его отдельных частей) в виде совокупности информационно насыщенных элементов [1].

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ

ВІМ — Building Information Model;

МЕР — mechanical, electrical and plumbing.

АР— архитектурные решения;

ГОСТ— Государственный стандарт;

ОВ— отопление и вентиляция;

ПК— персональный компьютер;

ПО — программное обеспечение;

РФ — Российская Федерация;

СНиП — Строительные нормы и правила;

СП — Свод правил;

ТИМ — технология информационного моделирования;

ФОП — файл общих параметров;

ЦИМ — цифровая информационная модель;

ВВЕДЕНИЕ

Темпы роста строительства в современном мире непрерывно растут, вследствие чего повышаются требования к процессу проектирования. Одним из методов ускорения данного процесса является применение технологий информационного моделирования, которые позволяют автоматизировать рутинные процессы, сокращая при этом количество трудозатрат специалистов, а также повышают точность всевозможных расчетов, минимизируя человеческий фактор.

При проектировании объектов строительства особое внимание уделяется классу энергоэффективности зданий. Одним из критериев, влияющих на него, является количество энергии, затрачиваемое на отопление. Для вычисления отопительной нагрузки, подбора оптимальных значений толщин и свойств ограждающих конструкций, а также определения количества и мощности отопительных приборов проводится теплотехнический расчет.

Тема исследования актуальна, так как автоматизация проведения вышеупомянутого расчета позволяет значительно экономить время проектировщиков, что обусловлено возможностью разработанного скрипта выдавать требуемые результаты в короткий срок, независимо от количества рассчитываемых объектов. Таким образом автоматизация расчета теплопотерь здания дает возможность специалистам больше времени уделять более трудоемким процессам, требующим человеческого внимания. Все это положительно влияет на конечный продукт их деятельности, а значит велика вероятность востребованности скрипта на рынке.

Целью исследования является разработка программного скрипта для автоматизации расчета теплопотерь здания с использованием его ЦИМ.

Основываясь на цели исследования, были определены следующие задачи:

- изучение нормативной базы для проведения расчета тепловых потерь;
- исследование существующих программных комплексов для расчета теплопотерь здания;
- сравнение функционала и характеристик существующих ПО для расчета теплопотерь;
- формирование списка требований к разрабатываемому программному скрипту;
- разработка скрипта, позволяющего проводить расчет теплопотерь здания, основываясь на данных из ЦИМ;
- тестирование разработанного программного продукта;
- формирование инструкции пользователя.

Объектом исследования является процесс расчета теплотехнических потерь здания.

Предметом исследования является разработка программного скрипта, производящего расчет теплопотерь здания на базе его ЦИМ.

Практическая значимость работы заключается в возможности применения созданного скрипта проектными компаниями для разработки рабочей документации.

Научная новизна исследования заключается:

- в использовании ЦИМ как информационной базы для расчетов: основные параметры, участвующие в расчете, извлекаются из ЦИМ, и результаты расчета сохраняются в ней;
- в модификации ЦИМ за счет создания новых параметров для хранения результатов расчета теплопотерь;
- в автоматизации расчета теплопотерь.

1 ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И НОРМАТИВНАЯ БАЗА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ РАСЧЕТА ТЕПЛОПОТЕРЬ ЗДАНИЯ

Теплотехнические потери являются важным аспектом, который должен учитываться при проектировании и строительстве здания, так как влияет на его энергоэффективность и комфортность, а также непосредственно связан с затратами на эксплуатацию объекта строительства.

1.1 Основные положения

Расчет теплопотерь здания представляет собой процесс определения количества тепла, которое теряется через ограждающие конструкции, такие как стены, оконные и дверные блоки, а также перекрытия.

Основная цель расчета теплопотерь – определить энергетическую эффективность здания и способность его изоляции от внешней среды. Это позволяет понять, насколько здание может сохранять тепло внутри, а также сколько энергии будет требоваться для поддержания комфортной внутренней температуры. Также данный расчет необходим для того, чтобы подобрать оптимальный материал конструктивных элементов и определить требуемую мощность системы отопления, выбрав при этом наиболее эффективный способ ее использования.

Для проведения расчета теплопотерь используются различные методики и формулы, которые учитывают такие параметры, как состав ограждающих конструкций, их материал, количество и размеры окон и дверей, геометрические характеристики помещений. Кроме того, важным фактором является регион строительства объекта и функциональное назначение помещений, и, как следствие, температуры наружного и внутреннего воздуха. Нормативная база для расчета теплопотерь зданий включает в себя ряд документов, среди которых различные СП (своды правил) и ГОСТы, которые

описывают основные принципы расчета, теплотехнические показатели строительных материалов и изделий, а также нормативные значения температур.

1.2 Нормативное обоснование

Наиболее важными документами для проведения корректного расчета теплопотерь являются:

— СП 60.13330.2020 «Свод правил. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003» [2], в частности приложение А;

— СП 50.13330.2012 «Свод правил. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003» [3], который содержит данные о теплопроводности различных материалов;

— ГОСТ 30494–2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата помещений» [4];

— СП 131.13330.2018 «СНиП 23-01-99* Строительная климатология» [5];

— СНиП 2.04.05-91* «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха» [6].

Трансмиссионные теплопотери здания определяются как сумма теплопотерь каждого из его помещений. Таким образом, тепловые потери помещения $Q_{огр}$, Вт, рассчитываются отдельно для каждой ограждающей конструкции или ее части по формуле (1) [7]:

$$Q_{огр} = k_{огр} \cdot A_{огр} \cdot (t_{в} - t_{н}) \cdot n \cdot (1 + \beta), \quad (1)$$

где $t_{в}$ – расчетная температура внутреннего воздуха, °С;

$t_{н}$ – расчетная температура наружного воздуха, °С;

$k_{огр}$ – коэффициент теплопередачи ограждающей конструкции, Вт/(м²·°С);

$A_{огр}$ – расчетная площадь поверхности ограждающей конструкции, м²;

n – коэффициент, учитывающий положение ограждающей конструкции относительно наружного воздуха и уменьшающий разность температур для ограждающих конструкций, не соприкасающихся с наружным воздухом;

β – коэффициент, учитывающий добавочные теплопотери.

Температура внутреннего воздуха зависит от функционального назначения помещения и принимается согласно справочным значениям, указанным в ГОСТ 30494–2011[4]. Температура наружного воздуха принимается как температура наиболее холодной пятидневки в соответствии с таблицей 3.1 СП 131.13330.2018[5].

Коэффициент теплопередачи $k_{огр}$, Вт/ (м²·°С), рассчитывается по формуле (2):

$$k_{огр} = \frac{1}{\sum R^{тр}}, \quad (2)$$

где $R^{тр}$ – сопротивление теплопередачи ограждающей конструкции или ее части, (м²·°С)/Вт;

Для оконных, дверных блоков, а также большинства материалов производителями указываются численные значения параметра сопротивления, в ином случае он определяется согласно приложению Е СП 50.13330.2012[3].

Значение коэффициента n принимается в соответствии с таблицей 1.1, расположенной ниже [8].

Таблица 1.1 – Значения коэффициента n

Тип наружного ограждения	n
Наружные стены	1
Перекрытия чердачные	1
Перекрытия над холодными подвалами, бесчердачные покрытия	0,9
Перекрытия над неотапливаемыми подвалами со световыми проемами	0,75
Перекрытия над неотапливаемыми подвалами без световых проемов, выше уровня земли	0,6
Перекрытия над неотапливаемыми подвалами без световых проемов, выше уровня земли	0,4

Коэффициент, учитывающий добавочные теплотери включает в себя:

— добавку на ориентацию ограждающих конструкций по сторонам света;

— добавку на угловые жилые помещения.

Стоит отметить, что надбавка на угловые помещения учитывается за счет повышения расчетной температуры данных помещений на 2°С выше нормативного значения.

Размер добавочного коэффициента на ориентацию в соответствии с методическими рекомендациями по расчету тепловых потребностей эксплуатируемых жилых зданий [6] составляет:

— 0,1 – для ограждающих конструкций, обращенных на север, восток, северо-восток и северо-запад;

— 0,05 – на запад и юго-восток;

— 0 – на юг и юго-запад.

Также при определении площади ограждающих конструкций для стен в расчет берется ее размер по наружной части, а высота этажа принимается как расстояние от уровня чистого пола нижележащего этажа до уровня пола вышележащего.

2 АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ И ПО ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ТЕПЛОПОТЕРЬ

Для проведения анализа существующих методов автоматического расчета теплотехнических потерь здания были рассмотрены применяемые на практике ПО, плагины, а также встроенные в программные комплексы для проектирования расчетные инструменты.

2.1 Встроенный инструмент «Autodesk Revit MEP»

«Autodesk Revit MEP» – специализированное решение, разработанное компанией Autodesk inc. на базе платформы BIM - моделирования Revit и предназначенное для проектирования и расчета внутренних инженерных систем в единой информационной модели совместно с архитекторами и конструкторами [9].

Благодаря функционалу «Revit MEP» возможно производить различные расчеты параметров инженерных систем, в том числе тепловую нагрузку на отопление. Так как данный продукт является разработкой компании Autodesk, он имеет интерфейс, аналогичный стандартному приложению Autodesk Revit (см. рисунок 2.1).

Расчет отопительных нагрузок при помощи Revit MEP укрупненно выполняется в следующем порядке [10]:

1. при открытии проекта для выполнения теплотехнического расчета пользователем создается связь между текущей моделью и файлом архитектурной модели;
2. с помощью инструментов Revit моделируются элементы – пространства, необходимые для проведения расчета и содержащие в себе информацию о тепловых характеристиках помещений;

3. полученный перечень пространств группируется по зонам при помощи «Диспетчера инженерных систем», в зависимости от функционального назначения помещений;

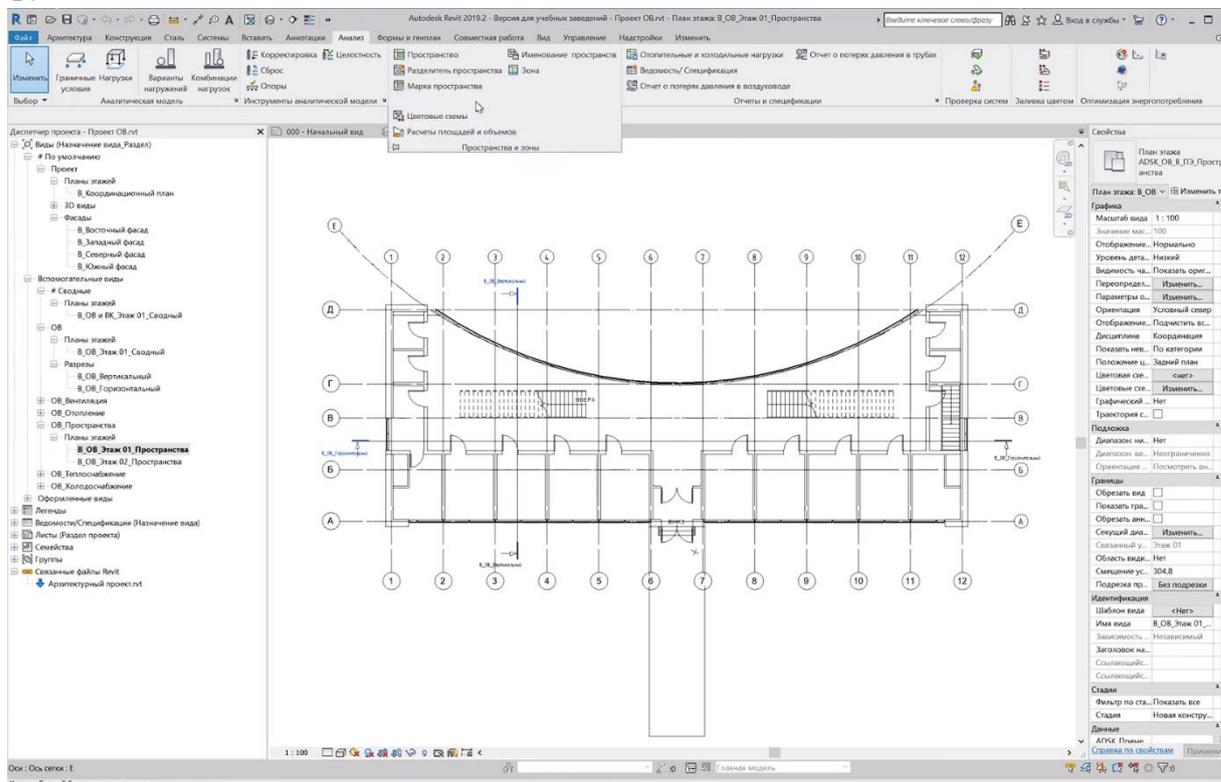


Рисунок 2.1 – Интерфейс программного продукта Revit MEP

4. на вкладке «Анализ» в диалоговом окне «Отопительные и холодильные нагрузки» задаются общие характеристики модели здания, такие как: тип здания, местоположение, тип системы отопления и класс инфильтрации (см. рисунок 2.2);

Параметр	Значение
Тип здания	Офис
Местоположение	52.2125296020508, 104.21
Нулевая плоскость	Этаж 01
Стадия проекта	Новая конструкция
Допуск для узкого простра	304,8
Оболочка здания	Использовать параметр фун
Тип системы отопления	Одинарный воздуховод
Типы схемы	<Здание>
Класс инфильтрации здания	Средний
Тип отчета	Стандартный
Использовать отрицательн	<input type="checkbox"/>

Рисунок 2.2 – Общие параметры, задаваемые для расчета теплопотерь

5. в том же диалоговом окне на вкладке «Назначение пространства» для каждого типа помещений определяется ряд параметров, участвующих в расчете (см. рисунок 2.3);

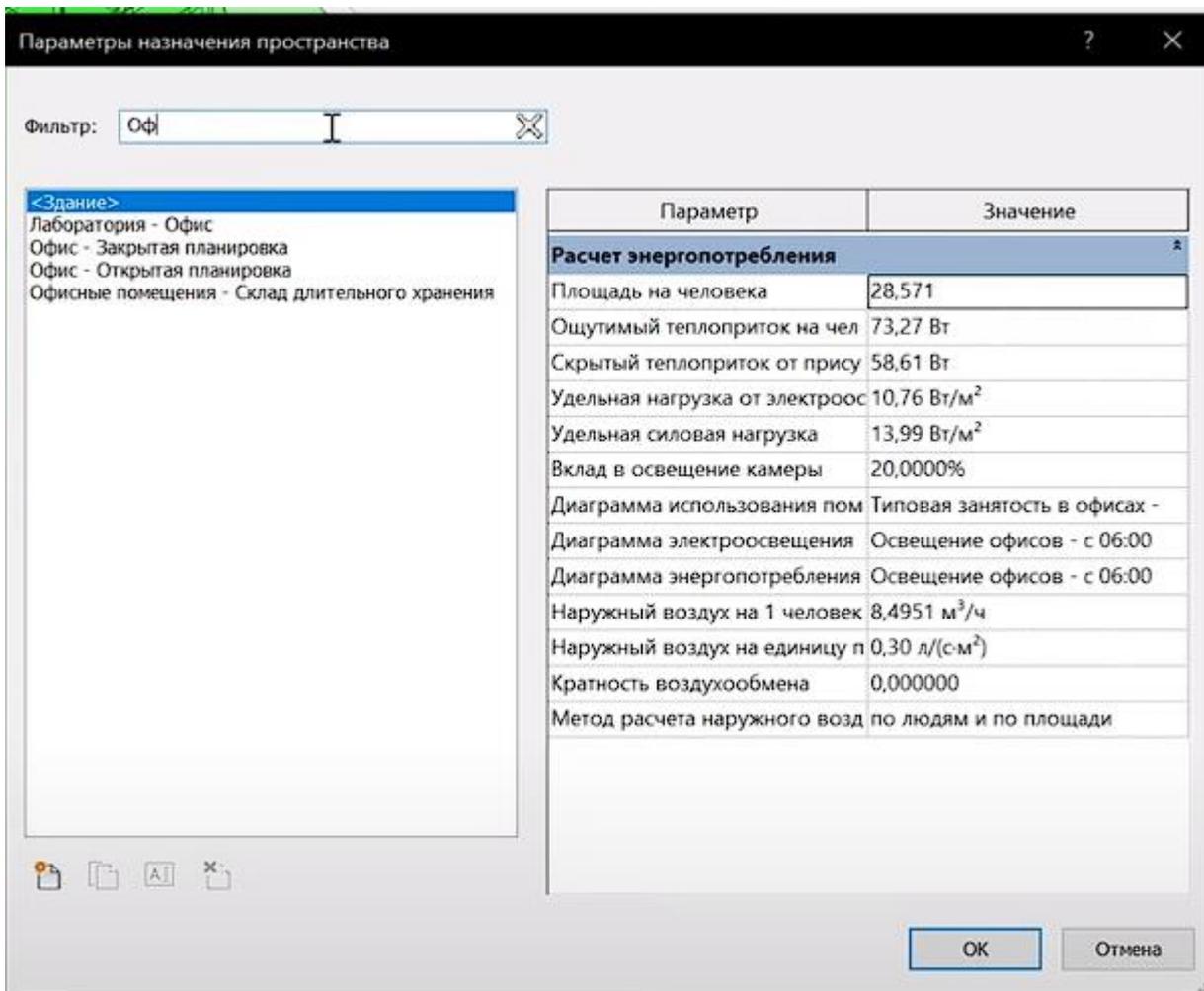


Рисунок 2.3 – Окно параметров назначения пространств

6. закрывается окно характеристик помещений и выполняется создание отчета, путем нажатия кнопки «расчет».

Полученный отчет содержит в себе информацию как о пиковых нагрузках на каждое пространство (см. рисунок 2.4), так и о суммарных тепловых нагрузках на здание (см. рисунок 2.5).

Офисы слева Spaces

Имя пространства	Площадь	Объем (м ³)	Пиковая холодильная нагрузка (Вт)	Воздушный поток охлаждения (м ³ /ч)	Пиковая отопительная нагрузка (Вт)	Расход воздуха при отоплении (м ³ /ч)
3 Офис 01a	8,97	30,95	372	94	1 882	329
4 Офис 02	10,90	37,60	461	116	1 834	320
5 Офис 03	10,90	37,60	461	116	1 834	320

Рисунок 2.4 – Внешний вид отчета о тепловых нагрузках на помещения

Building Summary	
Входные данные	
Тип здания	Офис
Площадь	893,58
Объем (м ³)	3 116,79
Результаты расчетов	
Пиковая полная холодильная нагрузка (Вт)	103 615
Месяц и час пиковой холодильной нагрузки	Июль 16:00
Пиковая холодильная нагрузка по явному теплу (Вт)	66 932
Пиковая холодильная нагрузка по скрытому теплу (Вт)	36 682
Максимальная охлаждающая способность (Вт)	103 615
Пиковый расход воздуха при охлаждении (м ³ /ч)	15 981
Пиковая отопительная нагрузка (Вт)	217 164
Пиковый расход воздуха при отоплении (м ³ /ч)	22 214
Контрольные суммы	
Плотность холодильной нагрузки (Вт/м ²)	115,95
Плотность потока охлаждения (л/(с·м ²))	4,97
Поток охлаждения / холодильная нагрузка (л/(с·кВт))	42,84
Площадь поверхности охлаждения / холодильная нагрузка (м ² /кВт)	8,62
Плотность отопительной нагрузки (Вт/м ²)	243,03
Плотность потока отопления (л/(с·м ²))	6,91

Рисунок 2.5 – Внешний вид отчета о суммарных тепловых нагрузках на здание

2.2 Модуль «Linear Building Heating»

«Linear Building Heating» – программное обеспечение, разработанное немецкой компанией Linear, применяемое для расчета и подбора отопительных приборов [11].

Посредством данной программы пользователем могут быть определены рассчитываемые помещения, состав ограждающих конструкций, температуры наружного и внутреннего воздуха, коэффициенты теплопередач и другие параметры, необходимые для расчета. Также перечисленные параметры могут быть импортированы непосредственно из модели Revit.

Для работы с данным ПО необходимо подготовить информационную модель в Revit, т. е. создать в проекте связь с архитектурной моделью, задать пространства и сгруппировать их по зонам, что было описано в п. 2.1.

Процесс проведение расчета теплотерь здания при помощи Linear Building Heating происходит согласно требованиям нормативных документов Российской Федерации [2, 3], и включает в себя следующие шаги:

1. на вкладке «Linear» запускается расчетный модуль Linear Building и на стартовом окне из Revit выгружается модель здания (см. рисунок 2.6) и выбирается шаблон - стандартный проект (Россия);

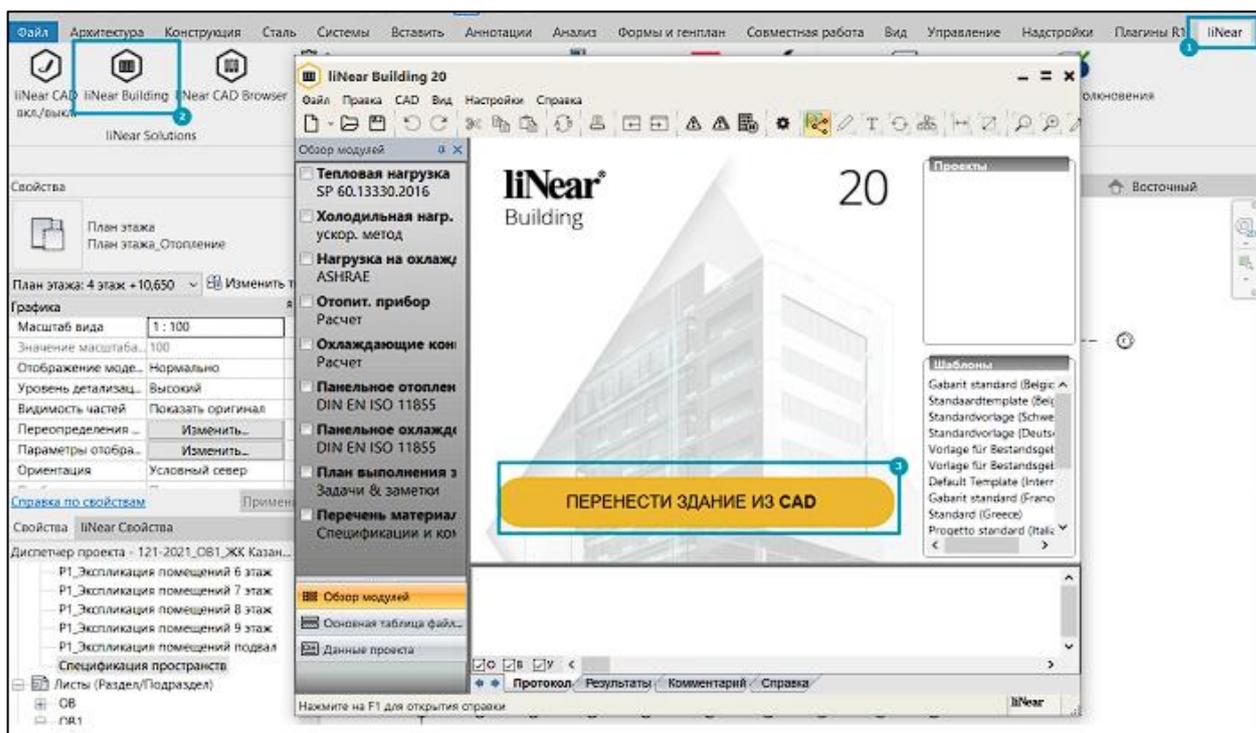


Рисунок 2.6 – Стартовое окно Linear Building Heating

2. задаются общие геометрические характеристики рассматриваемого здания (см. рисунок 2.7);

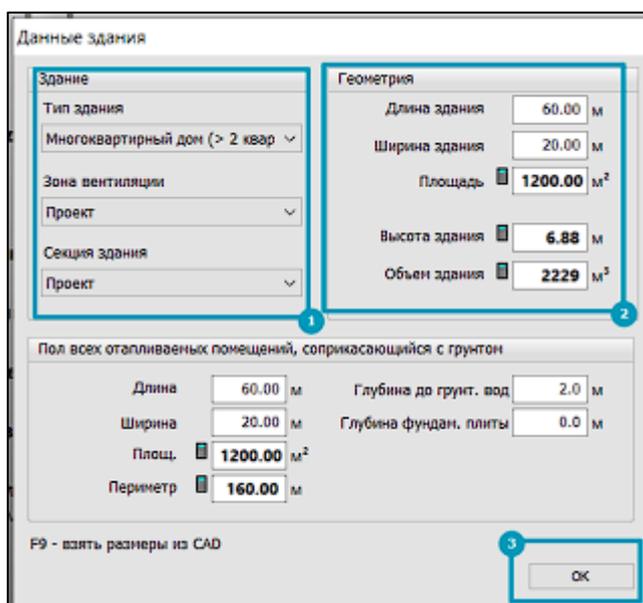


Рисунок 2.7 – Окно с заданием данных о геометрии здания

3. в следующем открывшемся окне выбирается вкладка «Тепловая нагрузка» для задания данных для расчета теплотерь, которые включают в

себя выбор населенного пункта, района застройки, зоны влажности, а также поправочные коэффициенты (см. рисунок 2.8);

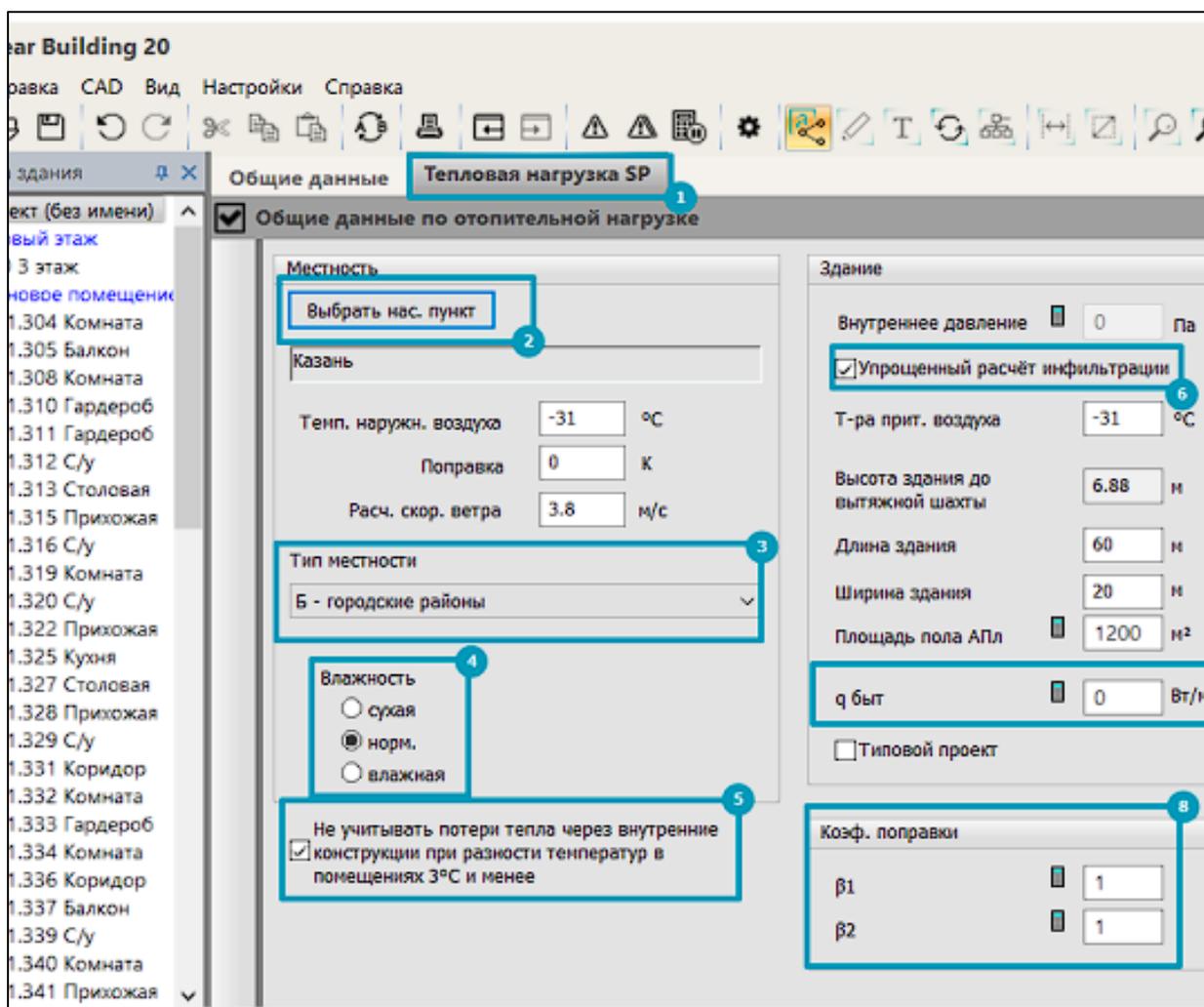


Рисунок 2.8 – Окно задания параметров для расчета теплотерь

4. в случае, когда архитекторы не задают значений коэффициентов теплопередач ограждающих конструкций, необходимо «вручную» ввести значения данных параметров для наружных стен, окон, дверей и перекрытий.

После задания коэффициентов расчет производится автоматически и его результаты отображаются на вкладке «результат» для каждого помещения, также при выборе конкретного этажа (см. рисунок 2.9) в табличной форме указываются тепловые потери, как для помещений, так и для всего этажа.

Общие данные		Тепловая нагрузка SP								
<input checked="" type="checkbox"/> Отопит. нагрузка, данные по: Этаж										
№		3 этаж								
	Название	Q _{огр} Вт	Q _{вент/инф.} Вт	Q-доб Вт	Q-быт общий Вт	Q-попр. общий Вт	q o.s. Вт/м ²	q o.v Вт/м ³	Q _{расч.} Вт	
1	00/1.02 Гардероб				-31					
2	00/1.301 Лифтовой холл (тамбур...	3281	471				193	64	3752	
3	00/1.302 Лестничная клетка (H2)	10286	150				539	20	10436	
4	00/1.303 Коридор									
5	00/1.304 Комната	1786	900		-133		192	54	2553	
6	00/1.307 Комната	3172	774		-248		149	44	3699	
7	00/1.308 Комната	3094	891		-143		268	76	3841	
8	00/1.310 Гардероб				-60					
9	00/1.311 Гардероб				-44					
10	00/1.312 С/у				-96					
11	00/1.313 Столовая	11263	3326		-444		319	89	14145	
12	00/1.314 Кузня	1240	249		-122		112	33	1367	
13	00/1.315 Прихожая				-60					
14	00/1.316 С/у				-27					
15	00/1.318 Коридор				-64					
16	00/1.319 Комната	1686	267		-136		133	39	1817	
17	00/1.320 С/у				-120					
18	00/1.322 Прихожая				-27					

Этаж: 3 этаж			
Q _{огр} , Вт - трансмиссионные потери тепла	=	52145 Вт	q o.s Вт/м ² - удельный показатель расчетного расхода тепла н... = 123 Вт/м ²
Q _{вент/инф.} , Вт - большая из потребностей в теплоте на нагрев...	=	12228 Вт	q o.v Вт/м ³ - удельный показатель расчетного расхода тепла н... = 28 Вт/м ³
Q-доб, Вт - дополнительный расход теплоты	=	0 Вт	
Q быт, Вт - тепловой поток от бытовых источников теплоты	=	-4355 Вт	
Нагрузка с коэффициентами поправки (β1, β2)	=	0 Вт	
Расчетная отопительная нагрузка	=	61314 Вт	

Рисунок 2.9 – Отчет об отопительной нагрузке на этаж в Linear Building

2.3 Плагин «Два облака»

Два облака – бесплатный отечественный плагин для Autodesk Revit, разработанный компанией ООО «Два облака». Данный продукт является импортируемым модулем и позволяет собирать энергетическую модель здания, производить гидравлический расчет, расчет теплопотерь, а также подбор и выгрузку в проект Revit отопительного оборудования [12].

Как и в вышеописанных пунктах, для работы плагина в проекте необходимо создать пространства, но сделать это можно при помощи инструментов самого плагина.

Стоит отметить, что для расчета на ПК пользователя задействуется минимум ресурсов, так как расчетная модель здания и все сопутствующие расчету данные хранятся на удаленном сервере.

Расчет теплопотерь при помощи плагина «Два облака» состоит из следующих этапов [13]:

1. на вкладке «DvaOblaka.ru» (см. рисунок 2.10) после создания пространств, необходимо нажать кнопку «Собрать энергетическую модель», а затем «Отобразить энергетическую модель»;

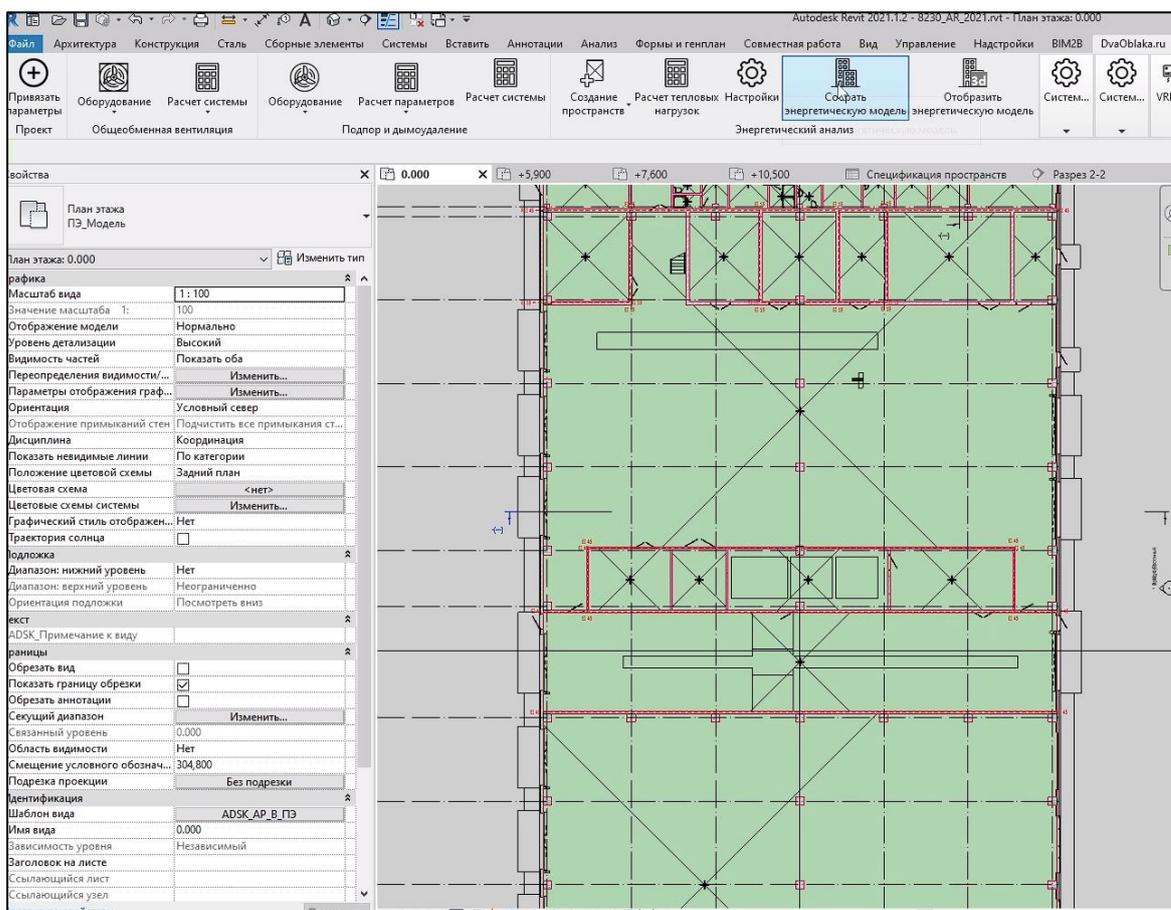


Рисунок 2.10 – Интерфейс плагина «Два облака»

2. после визуальной проверки целостности модели пользователь переходит на вкладку «Расчет системы», который также происходит на удаленном сервере;

3. в появившемся окне настроек расчета тепловой нагрузки заполняются поля со значениями наружной температуры воздуха, минимальной разницей температур между помещениями и поправок на ориентацию ограждающих конструкций;

Таблица 2.1 – Сравнение ПО для расчета теплопотерь здания

Критерий сравнения ПО	Наименование программного комплекса		
	Revit MEP	Linear Building Heating	Два облака
Страна разработчика	США	Германия	Россия
Компания - разработчик	Autodesk Inc.	Linear	Два облака
Нормативный стандарт для расчета	ASHRAE	СП 60.13330.2016 СП 50.13330.2012	СП 50.13330.2012
Применение пространств и зон	да	да	да
Ручной ввод данных для помещений и ограждающих конструкций	нет	да	да
Проверка на наименование файлов, уровней	да	да	нет
Сохранение результатов в ЦИМ	да	нет	нет
Используется связанный файл Revit	да	да	да
Наличие бесплатной версии	нет	нет	да
Возможность приобретения российским пользователем на 2024 г.	нет	нет	да

Таким образом, проведенный анализ показал, что на рынке отсутствует решение, которое было бы доступно в настоящее время российским пользователям, позволяло бы производить расчет согласно нормативным стандартам Российской Федерации, и, в то же время, предоставляло возможность сохранения расчетной информации по теплопотерям в цифровой информационной модели здания.

3 ОПИСАНИЕ И АЛГОРИТМ РАЗРАБОТАННОГО ПРОГРАММНОГО СКРИПТА

Для проведения автоматического расчета теплопотерь здания на основе его информационной модели в качестве основного инструмента было выбрано ПО Dynamo. Выбор данного продукта обусловлен возможностью его применения на бесплатной основе, а также возможностью сохранения полученных в результате расчета значений в параметрах модели.

Dynamo (см. рисунок 3.1) — это среда визуального программирования для алгоритмического проектирования и моделирования, разработанная компанией Autodesk. Данное ПО предназначено для создания скриптов, которые позволяют автоматизировать работу с различными объектами в программных средах, таких как: Revit, AutoCAD и др.

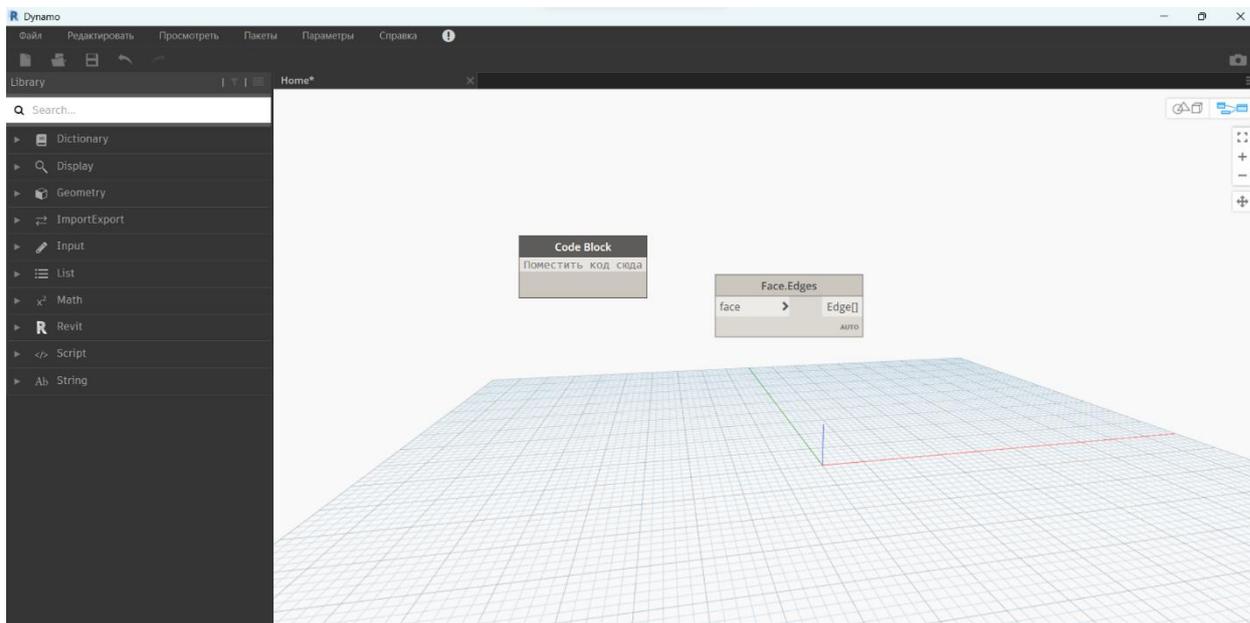


Рисунок 3.1 – Интерфейс ПО Dynamo

Dynamo позволяет создавать скрипты с помощью интуитивно понятного визуального интерфейса, основанного на узлах (нодах) [14]. Есть возможность использования универсального языка программирования для реализации

специфических функций. Это делает обработку и анализ больших объемов данных быстрее и эффективнее, чем, если бы эту работу выполняли вручную.

3.1 Требования к проектированию скрипта

Скрипт должен автоматически производить расчет количества тепловых потерь через ограждающие конструкции, а именно окна, двери, стены и перекрытия, подсчет теплопотерь всего помещения и заносить полученные результаты в параметры элементов - «помещений» внутри ПО Revit, для их дальнейшего использования в составлении спецификаций.

Основные требования, предъявляемые к скрипту, подразделяются на функциональные и нефункциональные. К функциональным отнесены следующие:

- расчет теплопотерь для каждого типа конструкции;
- сохранение результатов расчета внутри цифровой модели;
- скрипт должен позволять пользователю задавать значение наружной температуры воздуха, а также высоты типового этажа;
- пользователь должен иметь возможность менять наименование связанных файлов архитектурной модели, для работы с разными ЦИМ.

К нефункциональным требованиям относятся:

- выполнение расчета согласно нормативным документам Российской Федерации;
- корректное выполнение алгоритма, как для малого количества рассчитываемых элементов, так и для большого;
- стабильность работы скрипта;
- наличие инструкции по работе со скриптом, включая информацию о необходимых манипуляциях по подготовке ЦИМ;
- понятный и структурированный интерфейс разработанного скрипта.

3.2 Сбор исходных данных из цифровой модели

На подготовительной стадии разработки скрипта были определены способы получения числовых значений, необходимых для расчета теплотерь. Все требуемые расчетные величины, за исключением наружной температуры, высоты типового этажа и добавочных коэффициентов на ориентацию, скрипт получает из цифровой информационной модели. Более подробная информация о том, откуда берутся исходные данные представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Способы получения исходных данных для расчета

Теплотехнический параметр	Способ получения
Коэффициенты теплопередач	Системные параметры семейств ПО Revit
Площадь ограждающих конструкций	Окна, двери: — параметры семейств элементов. Стены: — высота – задается в ноде типа Code block «Высота типового этаж, м» ПО Dynamo; — длина – параметры «пространств». Перекрытия: — параметры «пространств».
Внутренняя температура помещений	Параметры «пространств» для каждого помещения
Наружная температура воздуха	Задается в ноде типа Integer Slider – «Температура наружного воздуха, t_n »
Добавочные коэффициенты	Поправка на угловые помещения: — параметры «пространств», путем задания температуры угловых помещений на 2°C выше нормативного значения; Поправка на ориентацию: — окна, двери, стены - задаются в ноде типа Code block «Добавочный коэф. на ориентацию С/В/З/Ю» в зависимости от значения параметра «ориентация».

3.3 Мероприятия по подготовке архитектурной модели

Данные, необходимые для расчета теплотерь, скрипт получает, как из инженерной модели здания, так и из связанного файла архитектурной модели.

Поэтому, для корректной работы разрабатываемого алгоритма расчета, ЦИМ, выполняемая для раздела АР рабочей документации, должна иметь ряд дополнительных параметров.

Так, в ходе данной работы, при подготовке архитектурной модели, был создан файл общих параметров (ФОП) ПО Revit – текстовый документ, позволяющий добавлять дополнительные «общие» параметры для семейств, марок или проекта, который может быть загружен в дальнейшем в любой другой проект. В созданный ФОП добавлены параметры для оконных и дверных блоков, содержащие номер помещения, к которому данные элементы принадлежат, а также ориентацию элементов по сторонам света (см. рисунок 3.2).

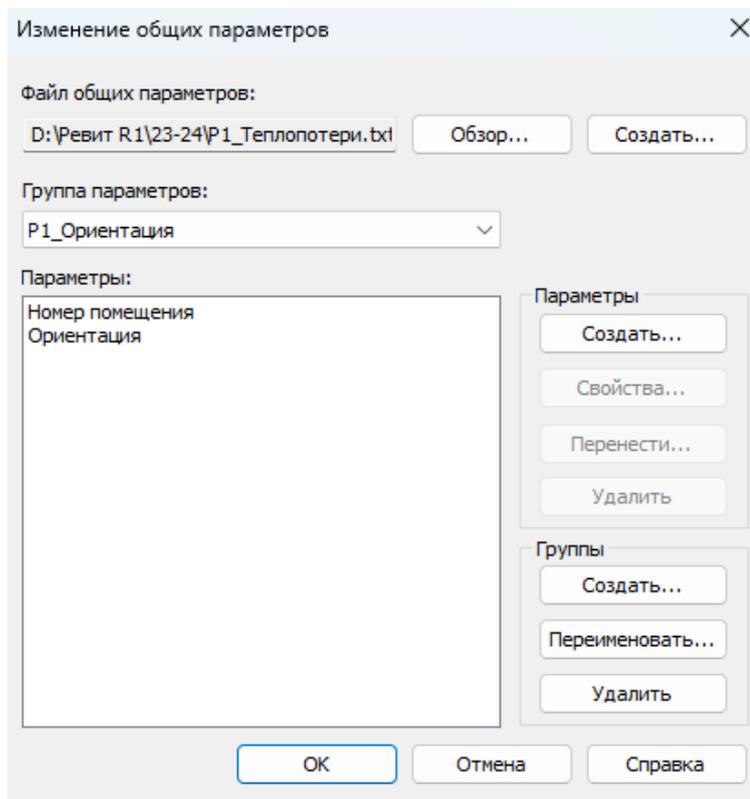


Рисунок 3.2 Перечень созданных параметров в ФОП для ЦИМ раздела АР

Пользователю, выполняющему расчет теплопотерь, необходимо с помощью плагина «ModPlus» для окон и дверей автоматически расставить значения сторон света, а также, используя сторонний скрипт, этим элементам присвоить номера помещений, в которых они располагаются.

Значения коэффициентов теплопередач для оконных и дверных блоков, а также стен и перекрытий должны быть заданы архитекторами при

моделировании здания. Для стен и перекрытий коэффициент теплопередачи автоматически рассчитывается в зависимости от материала конструкции и толщины слоя, а – окон и дверей – значение данного параметра заполняется в свойствах и определяется производителями.

3.4 Мероприятия по подготовке инженерной модели

На подготовительном этапе в модели раздела ОВ рабочей документации были выполнены следующие действия:

— поверх помещений связанного файла АР расставлены элементы – пространства (см. рисунок 3.3);

— в соответствии с ГОСТ 30494–2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата помещений» [4] в параметрах пространств заданы значения оптимальных внутренних температур согласно их функциональному назначению;

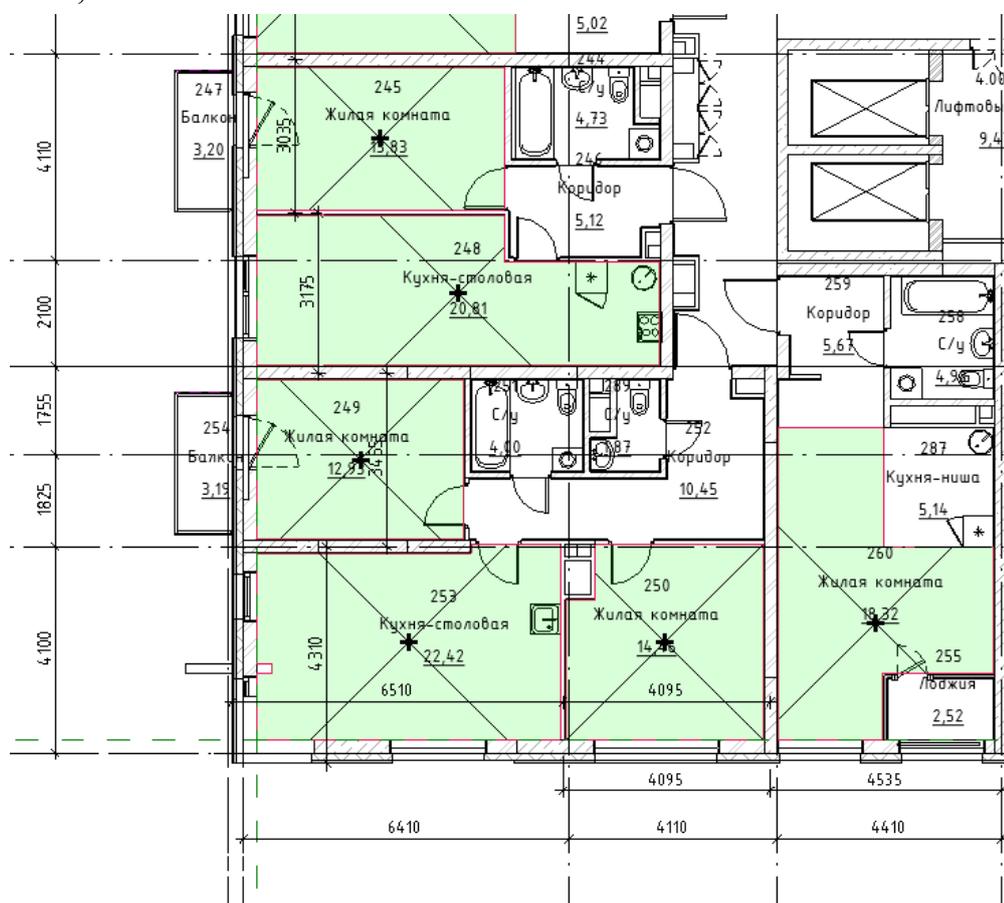


Рисунок 3.3 Фрагмент плана этажа с расставленными «пространствами»

— через ранее созданный ФОП в «пространства» добавлены параметры длины стены, ее ориентации, а также параметры теплопотерь для окон, дверей, перекрытий и всего помещения, в которые, в результате работы скрипта будут записываться рассчитанные значения теплопотерь (см. рисунок 3.4).

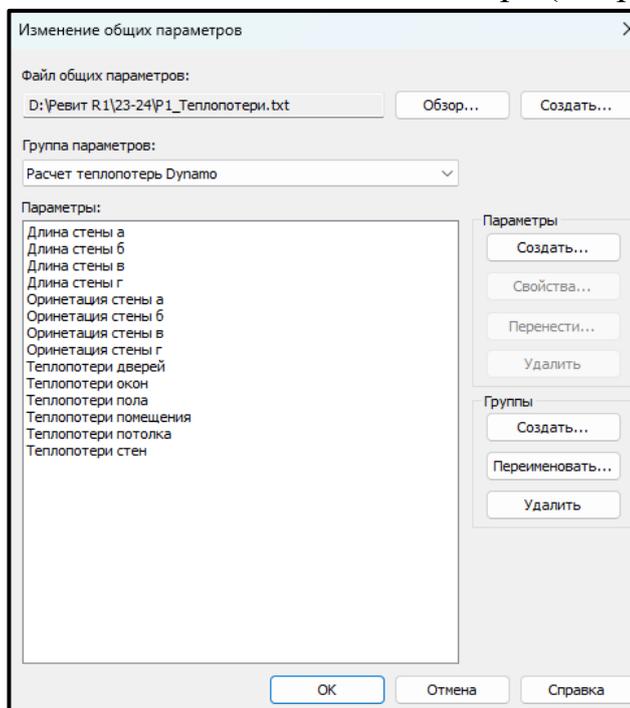


Рисунок 3.4 – Перечень созданных параметров в ФОП для ЦИМ раздела ОВ

3.5 Описание алгоритма разработанного скрипта

Для создания скрипта были использованы ноды (узлы программирования) ПО Дунато. Весь скрипт разбит по группам, в каждой из которых произведена выборка и сортировка необходимых для расчета элементов модели.

Общий принцип действия скрипта заключается в отдельных расчетах теплопотерь каждого вида ограждающих конструкций, после чего полученные значения суммируются, выдавая результат теплопотерь для помещения.

Исходными данными, задаваемыми пользователем внутри скрипта, являются (см. рисунок 3.5):

- высота этажа;
- поправочные коэффициенты на ориентацию по сторонам света;

- температура наружного воздуха;
- коэффициент n , учитывающий положение ограждающей конструкции.

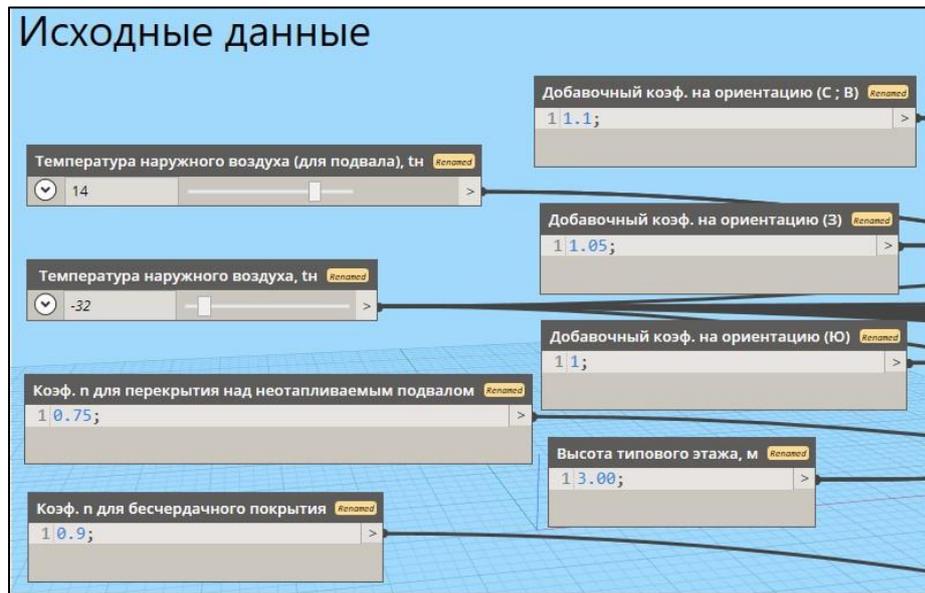


Рисунок 3.5 – Исходные данные, задаваемые внутри скрипта

Порядок действия разработанного скрипта по расчету теплотерь в укрупненном формате выглядит следующим образом:

1. Пользователем вводится наименование связанного файла архитектурной модели, после чего скриптом отбираются элементы – стены, а в дальнейшем и значения коэффициентов теплопередач рассматриваемых стен (см. рисунок 3.6).

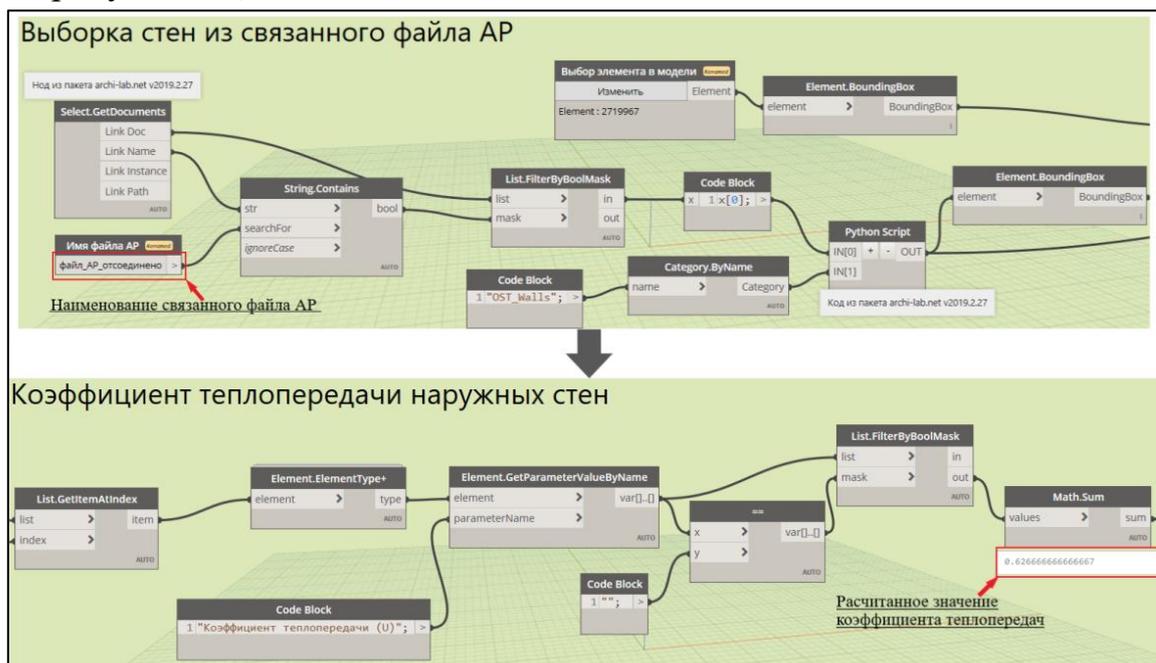


Рисунок 3.6 – Расчет коэффициента теплопередач стенового ограждения

2. Производится сортировка стен в зависимости от их ориентации по сторонам света и определение площади отобранных элементов (см. рисунок 3.7).

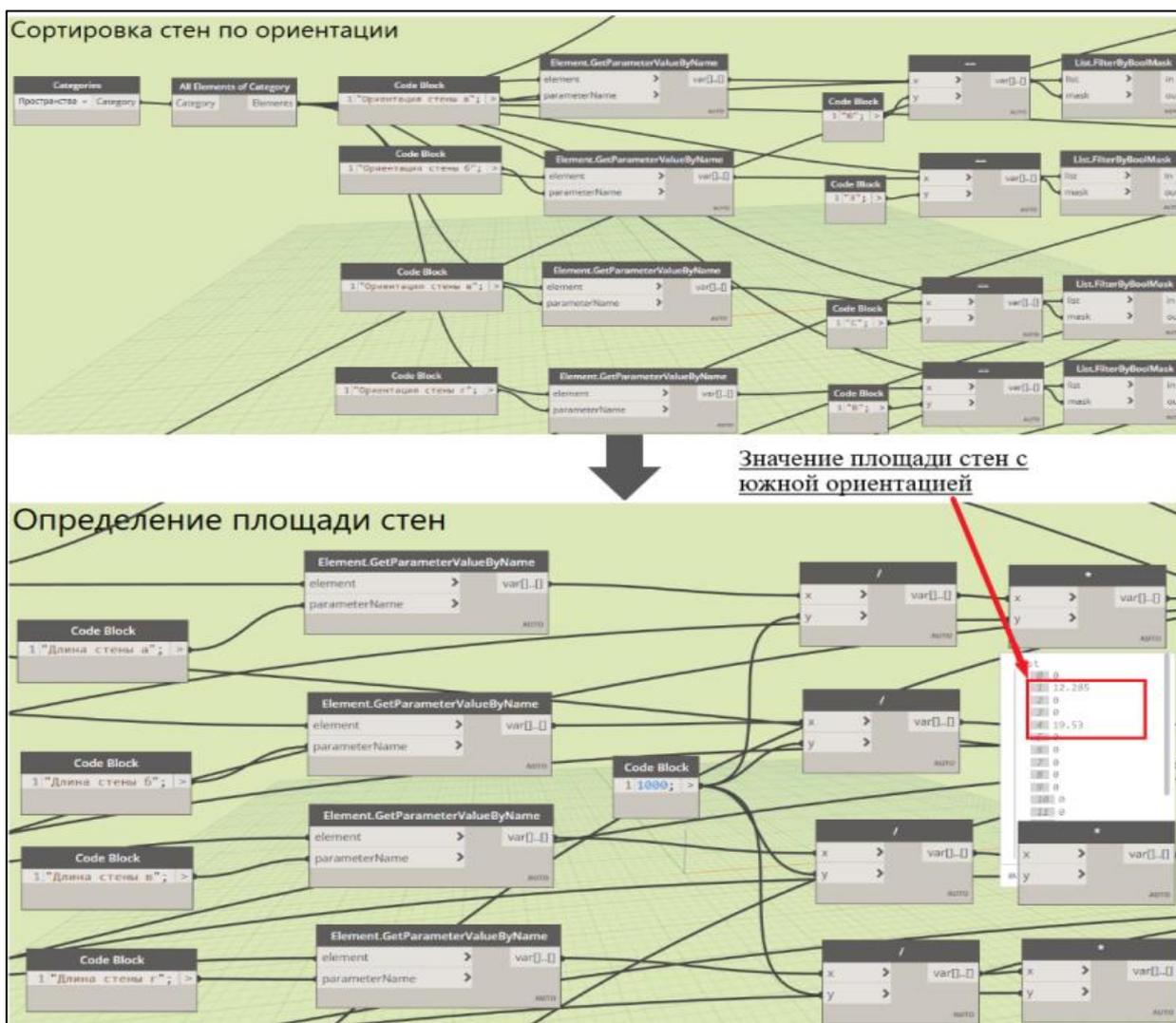


Рисунок 3.7 – Расчет площади стенового ограждения

Стоит отметить, что для стен расчетные значения, за исключением коэффициентов теплопередач и высоты, берутся скриптом из параметров пространства, границей которого они являются, что также применяется для их сортировки по номеру помещения.

3. Отбираются значения температур помещений внутреннего и наружного воздуха, рассчитывается их разница, а затем и теплотери стен по ориентациям с дальнейшей их группировкой и определением суммарных теплотер в помещениях (см. рисунок 3.8).

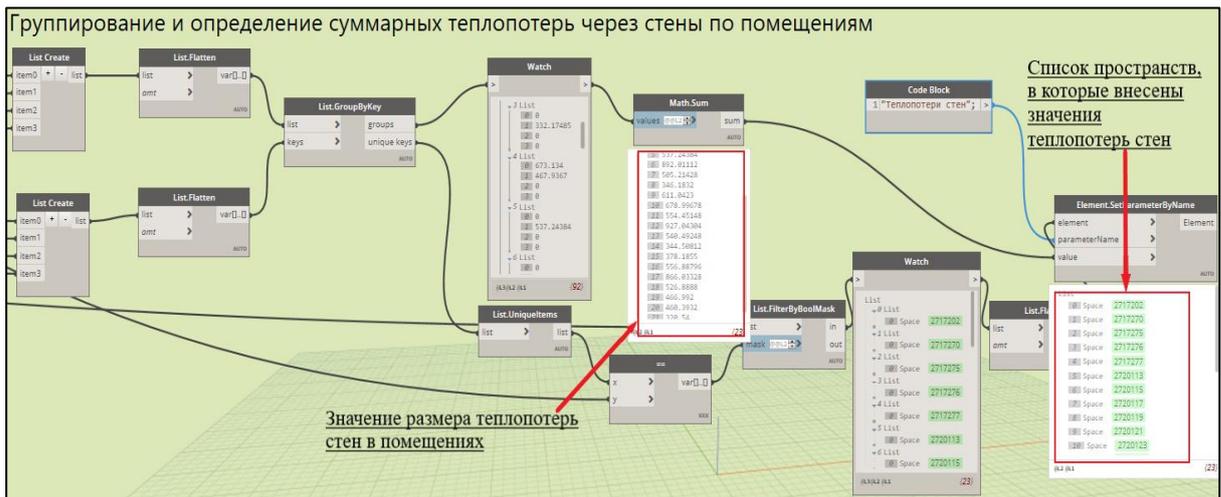


Рисунок 3.8 – Определение суммарных теплотерь через стены по помещениям

4. По аналогии с выбором стен из связанного файла отбираются окна, затем производится фильтрация окон по имени типа «Окно», для исключения вложенных семейств рам (см. рисунок 3.9).

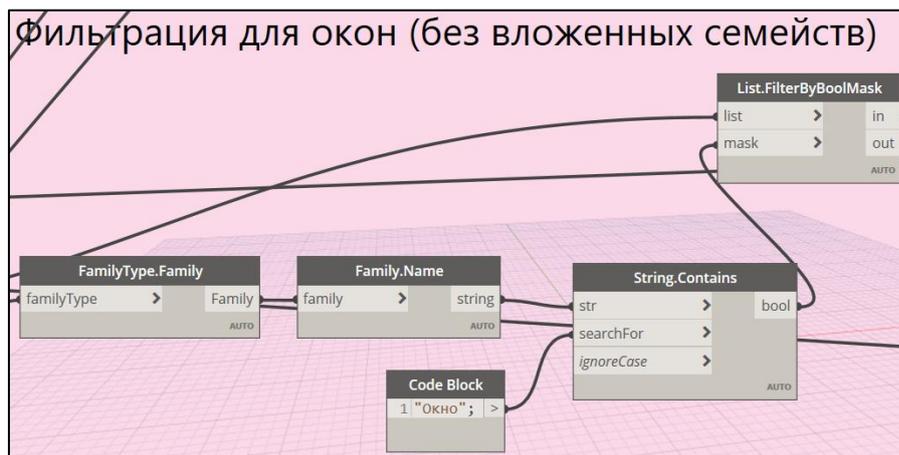


Рисунок 3.9 – Фильтрация окон с целью исключения вложенных семейств оконных рам

5. Отбираются только те окна, номера помещений которых совпадают с номерами пространств для расчета (см. рисунок 3.10).

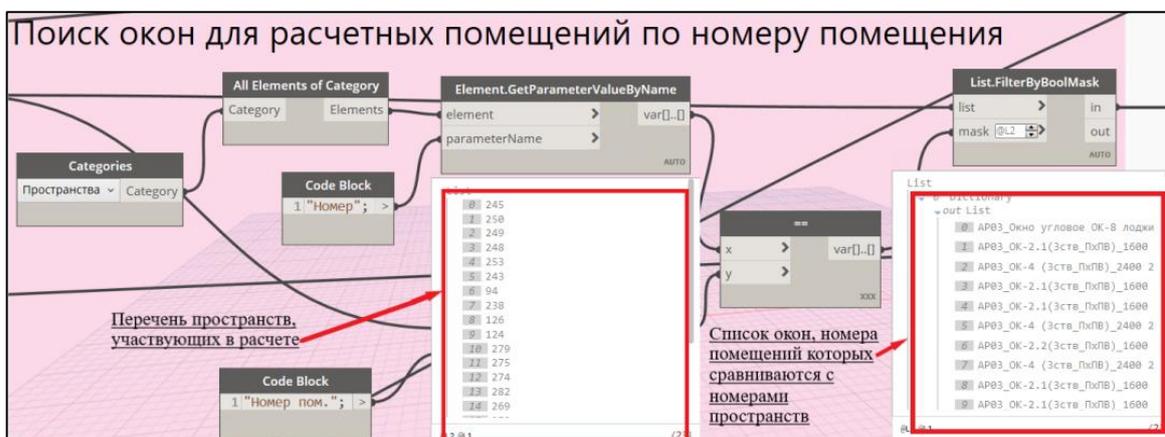


Рисунок 3.10 – Определения перечня окон, принадлежащих расчетным пространствам

6. Производится сортировка окон по параметру «Ориентация».

7. Определяется площадь оконных блоков через параметры высоты и ширины, коэффициенты теплопередач, их скорректированное значение и непосредственно значение теплотерь (см. рисунок 3.11).

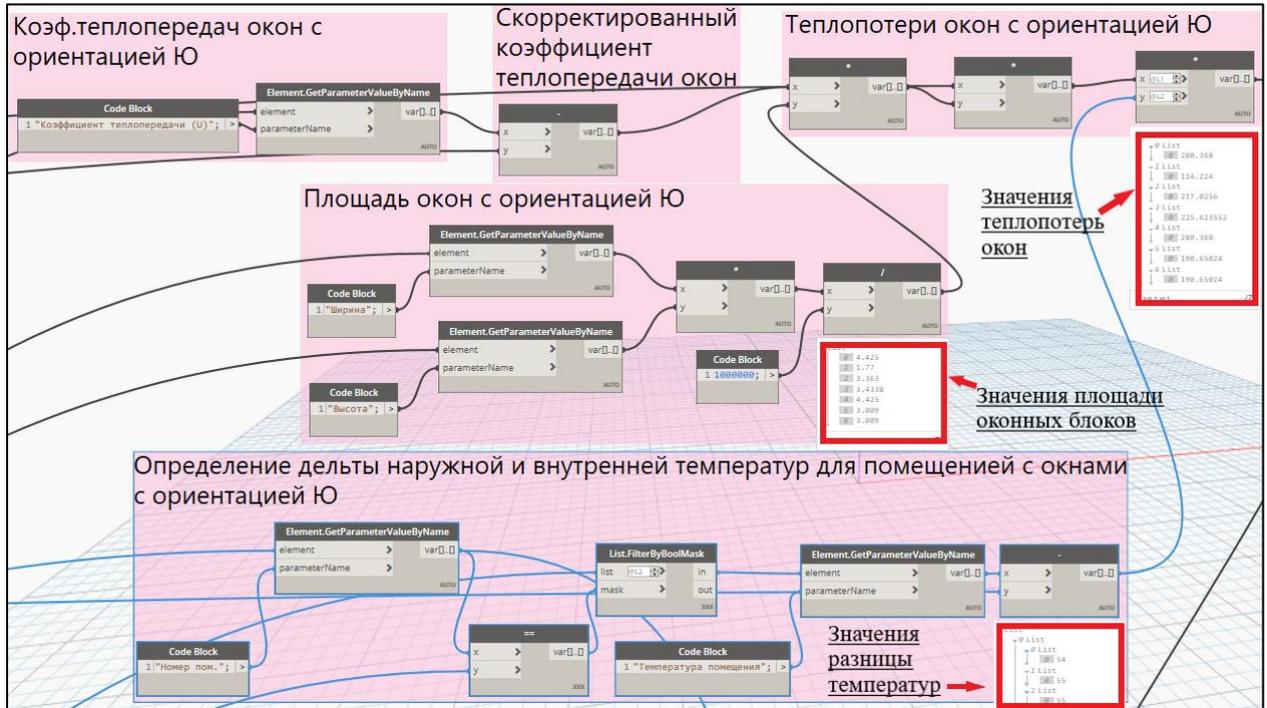


Рисунок 3.11 Расчет теплотерь оконных блоков

8. В результате выводится два списка: один из которых содержит значения теплотерь окон, а другой – номера помещений, после чего производится их слияние, и значения теплотерь записываются в ранее созданный параметр элементов – пространств «Теплотери окон».

9. Такой же алгоритм применяется для расчета теплотерь дверных блоков, т. е. элементы сортируются в зависимости от их ориентации по сторонам света, происходит определение их площади, а затем рассчитываются теплотери дверей и результат записывается в параметр «Теплотери дверей».

10. Аналогично выбору элементов стенового ограждения из связанного файла архитектурной модели скриптом отбираются элементы перекрытий, а именно, посредством поиска пересечения перекрытий и построенного в модели элемента с помощью ноды «BoundingBox.Intersects», после чего рассчитывается значение коэффициента теплопередач по той же схеме, что и

для стен. Затем отбираются значения площадей искомых помещений, которые принадлежат первому и последнему этажу в ЦИМ, результат вычислений записывается в параметр «Теплопотери пола» и «Теплопотери потолка» соответственно (см. рисунок 3.12).

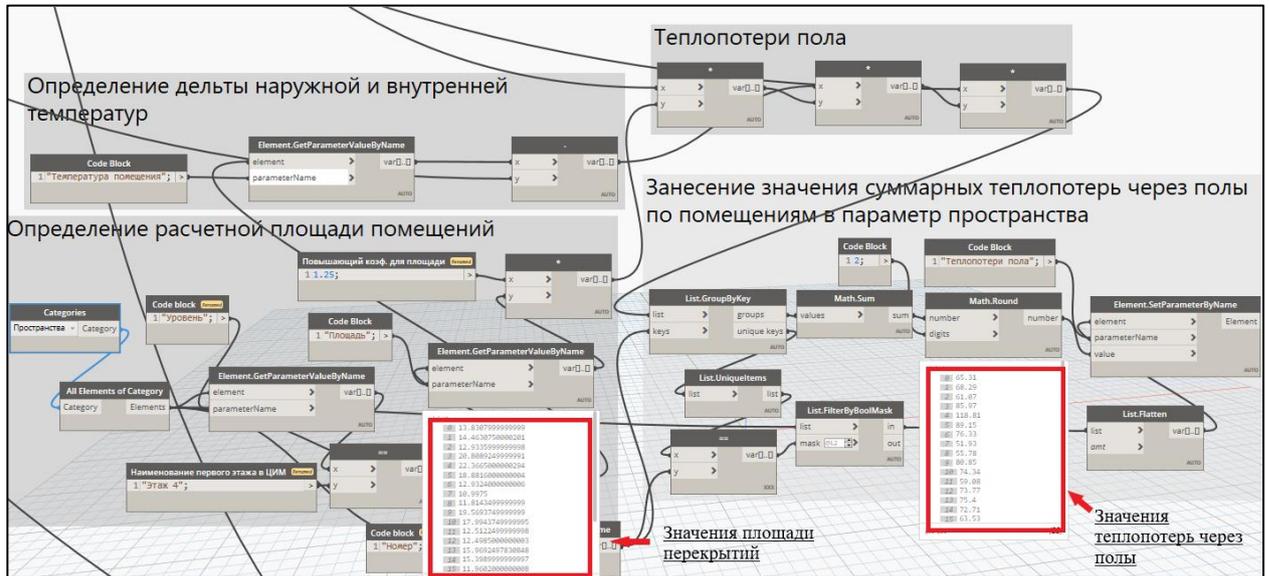


Рисунок 3.12 Расчет теплопотерь через полы

11. Завершающим этапом скрипта является определение суммарных теплопотерь помещений, которое складывается из значений полученных теплопотерь дверей, окон, стен и перекрытий, и записывается в одноименный параметр пространства (см. рисунок 3.13).

Определение суммарных теплопотерь помещения

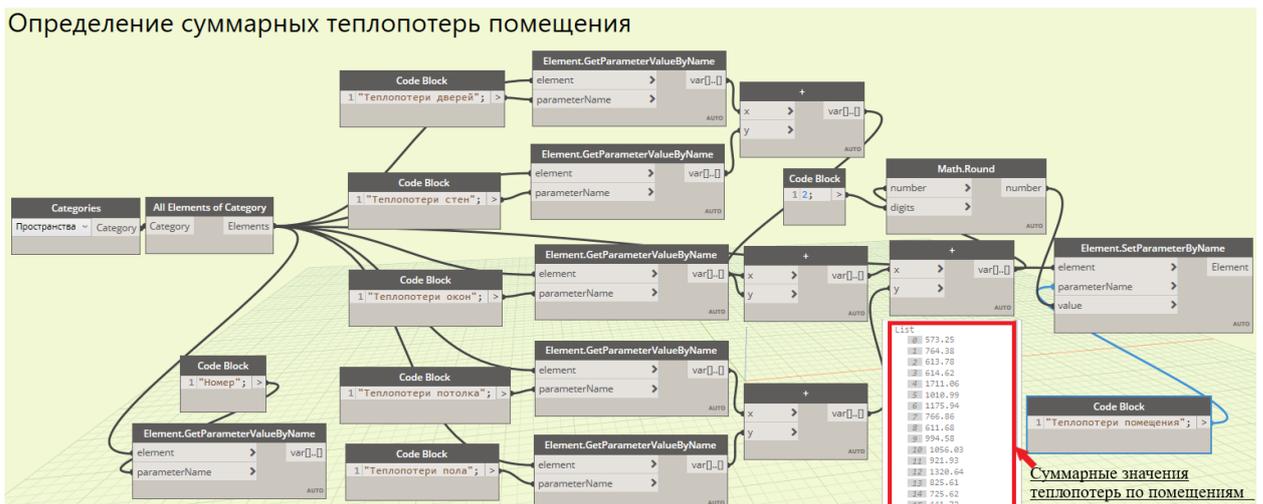


Рисунок 3.13 Расчет суммарных теплопотерь помещений

3.6 Тестирование разработанного скрипта

Для проверки корректности выполнения расчета скриптом было проведено сравнение результатов, полученных с его помощью, с результатами, полученными с помощью расчета в Excel.

Для тестирования было отобрано десять помещений, имеющих различные значения длин стен, площадей, внутренних температур, а также количества принадлежащих данным помещениям оконных и дверных блоков.

Таким образом, суммарное значение теплопотерь при использовании скрипта для помещений, отобранных для проверки, составило 8837,14 Вт (см. рисунок 3.14).

<Отчет по теплопотерям помещений>							
Номер	Температура помещения, гр. С	Теплопотери дверей, Вт	Теплопотери окон, Вт	Теплопотери пола, Вт	Теплопотери потолка, Вт	Теплопотери стен, Вт	Теплопотери помещений, Вт
245	22	184,42	0	65,31	0	323,52	573,25
250	22	0	280,37	68,29	0	415,72	764,38
249	22	184,42	0	61,07	0	368,29	613,78
248	21	0	196,48	85,97	0	332,17	614,62
253	23	0	451,18	118,81	0	1141,07	1711,06
243	22	184,42	200,18	89,15	0	537,24	1010,99
94	24	0	207,6	76,33	0	892,01	1175,94
238	22	0	209,72	51,93	0	505,21	766,86
126	22	0	209,72	55,78	0	346,18	611,68
124	21	0	302,69	80,85	0	611,04	994,58
							8837,14

Рисунок 3.12 Отчет по расчету теплопотерь скриптом

Результат вычислений путем расчета в ПО Excel, а также отчет по теплопотерям представлен в таблице 3.2 ниже. Суммарное значение теплопотерь, рассчитанное данным способом составило 8854,93 Вт.

Таблица 3.2 – Отчет по расчету теплотерь в ПО Excel

Номер пом.	t_n	t_b	Характеристика ограждения			К	$(t_n - t_b)$	n	Добавочные теплотери			Общие теплотери, Вт	Итого, Вт
			Тип	Ориентация	Площадь				На ориентацию	На угловое помещение	Др.		
245	-32	22	НС	З	9,11	0,63	54	1	0,05	-	-	325,24	573,02
	-32	22	Д	З	2,75	1,17	54	1	0,05	-	-	182,43	
	14	22	ПЛ	-	17,29	0,63	8	0,75	0	-	-	65,35	
	22	22	ПТ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
250	-32	22	НС	Ю	12,29	0,63	54	1	0	-	-	417,94	765,83
	-32	22	ОК	Ю	4,43	1,17	54	1	0	-	-	279,57	
	14	22	ПЛ	-	18,08	0,63	8	0,75	0	-	-	68,32	
	22	22	ПТ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
249	-32	22	НС	З	10,37	0,63	54	1	0,05	-	-	370,25	613,77
	-32	22	Д	З	2,75	1,17	54	1	0,05	-	-	182,43	
	14	22	ПЛ	-	16,16	0,63	8	0,75	0	-	-	61,09	
	22	22	ПТ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
248	-32	21	НС	З	9,53	0,63	53	1	0,05	-	-	333,94	615,90
	-32	21	ОК	З	3,01	1,17	53	1	0,05	-	-	195,92	
	14	21	ПЛ	-	26,01	0,63	7	0,75	0	-	-	86,04	
	22	21	ПТ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
253	-32	23	НС	Ю	19,53	0,63	55	1	0	-	-	676,71	1715,95
	-32	23	НС	З	12,93	0,63	55	1	0,05	-	-	470,43	
	-32	23	ОК	Ю	3,36	1,17	55	1	0	-	-	216,41	
	-32	23	ОК	З	1,77	1,17	55	1	0,05	-	-	119,59	
	-32	23	ОК	Ю	1,77	1,17	55	1	0	-	-	113,90	

Продолжение таблицы 3.2

253	14	23	ПЛ	-	27,96	0,63	9	0,75	0	-	-	118,91	
	23	23	ПТ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
243	-32	22	НС	3	15,12	0,63	54	1	0,05	-	-	540,10	1011,36
	-32	22	ОК	3	3,01	1,17	54	1	0,05	-	-	199,61	
	-32	22	Д	3	2,75	1,17	54	1	0,05	-	-	182,43	
	14	22	ПЛ	-	23,60	0,63	8	0,75	0	-	-	89,21	
	22	22	ПТ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
94	-32	24	НС	3	13,04	0,63	56	1	0,05	-	-	482,87	1180,13
	-32	24	НС	С	10,67	0,63	56	1	0,1	-	-	413,89	
	-32	24	ОК	3	3,01	1,17	56	1	0,05	-	-	207,01	
	14	24	ПЛ	-	16,16	0,63	10	0,75	0	-	-	76,37	
	24	24	ПТ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
238	-32	22	НС	С	8,79	0,63	54	1	0,1	-	-	328,94	768,99
	-32	22	НС	3	5,01	0,63	54	1	0,05	-	-	178,96	
	-32	22	ОК	С	3,01	1,17	54	1	0,1	-	-	209,12	
	14	22	ПЛ	-	13,75	0,63	8	0,75	0	-	-	51,97	
	22	22	ПТ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
126	-32	22	НС	С	9,30	0,63	54	1	0,1	-	-	348,02	612,95
	-32	22	ОК	С	3,01	1,17	54	1	0,1	-	-	209,12	
	14	22	ПЛ	-	14,76	0,63	8	0,75	0	-	-	55,80	
	22	22	ПТ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
124	-32	22	НС	С	12,17	0,63	53	1	0,1	-	-	446,81	997,04
	-32	22	НС	В	4,56	0,63	53	1	0,1	-	-	167,48	
	-32	22	ОК	С	4,43	1,17	53	1	0,1	-	-	301,83	
	14	22	ПЛ	-	24,46	0,63	7	0,75	0	-	-	80,91	
	22	22	ПТ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
ИТОГО:												8854,93	

В таблицу 3.3 для подтверждения правильности работы созданного программного продукта и определения разницы в расчетах, полученных другими методами, сведены значения тепловых потерь.

Таблица 3.3 – Сравнение результатов расчета теплотерь разными способами

№ помещения	Количество теплотерь, Вт		Разница в значениях, Вт (%)
	Расчет в ПО Excel	Расчет скриптом	
245	573,02	573,25	-0,23 (0,04)
250	765,83	764,38	1,45 (0,19)
249	613,77	613,78	-0,01 (0,00)
248	615,90	614,62	1,28 (0,21)
253	1715,95	1711,06	4,89 (0,29)
243	1011,36	1010,99	0,37 (0,04)
94	1180,13	1175,94	4,19 (0,36)
238	768,99	768,86	0,13 (0,02)
126	612,95	611,68	1,27 (0,21)
124	997,04	994,58	2,46 (0,25)
Всего	8854,93	8837,14	17,79 (0,20)

Для отобранных в ходе проведения проверки десяти помещений средняя величина расхождения показателей теплотерь, рассчитанных в ПО Excel и с помощью созданного скрипта, составила 1,58 Вт, что в процентном отношении не превышает 0,15 %, и свидетельствует о высокой точности вычисляемых скриптом значений. При этом погрешность в вычислениях обусловлена лишь тем, что скриптом из ЦИМ отбираются более точные расчетные значения, которые не подвергаются округлению.

Таким образом, разработанный в рамках данной ВКР, программный скрипт является эффективным инструментом, позволяющим автоматизировать процесс расчета трансмиссионных теплотерь здания. Он основывается на данных, полученных из ЦИМ, проводит вычисления согласно методике, описанной в нормативной документации Российской Федерации, автоматически вносит данные результатов расчета в саму ЦИМ.

На заполнение данных и получение результатов вычисления по одному помещению в подготовленном шаблоне файла Excel затрачивается около двух минут, т.е. для десяти помещений время составит около двадцати минут. В то же время, при использовании скрипта, с учетом всех необходимых

манипуляций в модели и самом скрипте время, затрачиваемое на получение численных значений теплотерь не превысило десяти минут.

Стоит отметить, что при тех же временных затратах скрипт может рассчитать сотни помещений. Таким образом, использование скрипта позволяет уменьшить трудозатраты, а следовательно, сократить сроки проектирования.

Скрипт имеет хорошо спроектированную структуру, которая дает возможность ТИМ-специалистам в будущем его дорабатывать, адаптируя под новые задачи, или использовать в качестве базового шаблона для разработки других скриптов, имеющих схожую логику алгоритма, в среде Dynamo.

4 ИНСТРУКЦИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Настоящий раздел описывает порядок действий специалиста при работе со скриптом по расчету теплотерь здания и является инструкцией пользователя.

Скрипт позволяет производить автоматический расчет трансмиссионных теплотехнических потерь помещений и заносить полученный результат в соответствующий параметр элементов в ЦИМ.

4.1 Алгоритм работы с моделью перед запуском скрипта

1. Проверить, подгружен ли файл общих параметров «P1_Теплопотери» в инженерную модель здания. При его отсутствии перейти на вкладку «Управление» → «Общие параметры», через кнопку «Обзор» открыть окно со списком файлов, выбрать требуемый и загрузить его в проект через кнопку «Открыть».

2. Перейти на вкладку «ModPlus» → «Сторона света», в поле ввода «Параметр» ввести значение – «Ориентация» и запустить операцию, нажав кнопку «Выполнить» (см. рисунок 4.1).

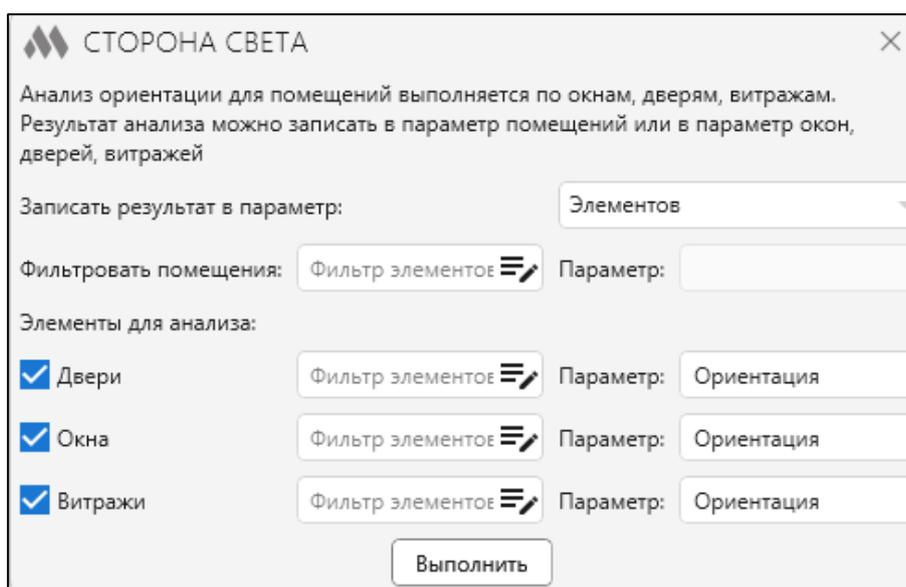


Рисунок 4.1 – Определение ориентации элементов через плагин «Modplus»

3. Расставить пространства в модели, проверить, чтобы наименование содержало номер и имя помещения из связанного файла AP.

4. Скопировать в проект вспомогательную спецификацию «Спецификация пространств_P1», которую необходимо добавить через вкладку «Вставить» → «Вставить из файла» → «Вставить виды из файла» (см. рисунок 4.2), указав путь к файлу проекта «Файл_OB_раб_отсоединено».

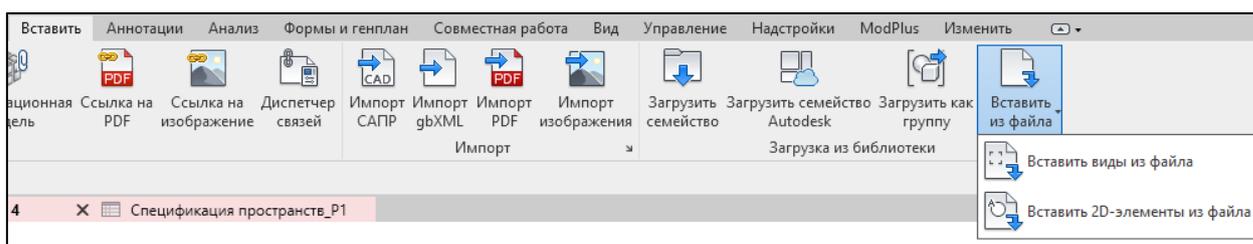


Рисунок 4.2 – Добавление вспомогательной спецификации в проект

5. В скопированной спецификации задать значения внутренних температур помещений для всех пространств.

6. В архитектурной модели запустить скрипт «P1_Номер помещения» для того, чтобы присвоить элементам дверных и оконных блоков номер помещения, которому они принадлежат.

4.2 Алгоритм работы со скриптом

1. Для запуска скрипта необходимо перейти на вкладку «Управление» и запустить Dynamo (см. рисунок 4.3).

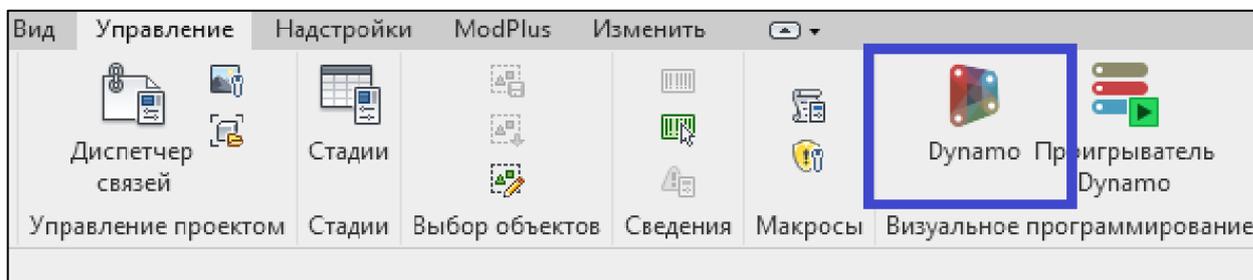


Рисунок 4.3 – Запуск ПО Dynamo на панели инструментов ПО Revit

2. В открывшемся окне выбрать скрипт «P1_Скрипт_Расчет теплопотерь».

3. В открывшемся поле скрипта в блоке «Исходные данные» необходимо задать значения температуры наружного воздуха и высоты типового этажа.

4. Ввести наименование связанного файла архитектурной модели в ноде «Имя файла AP» (см. рисунок 4.4) в блоки:

- выборка стен из связанного файла AP;
- выборка перекрытий из связанного файла AP;
- получение типов окон из связанного файла;
- получение типов дверей из связанного файла.

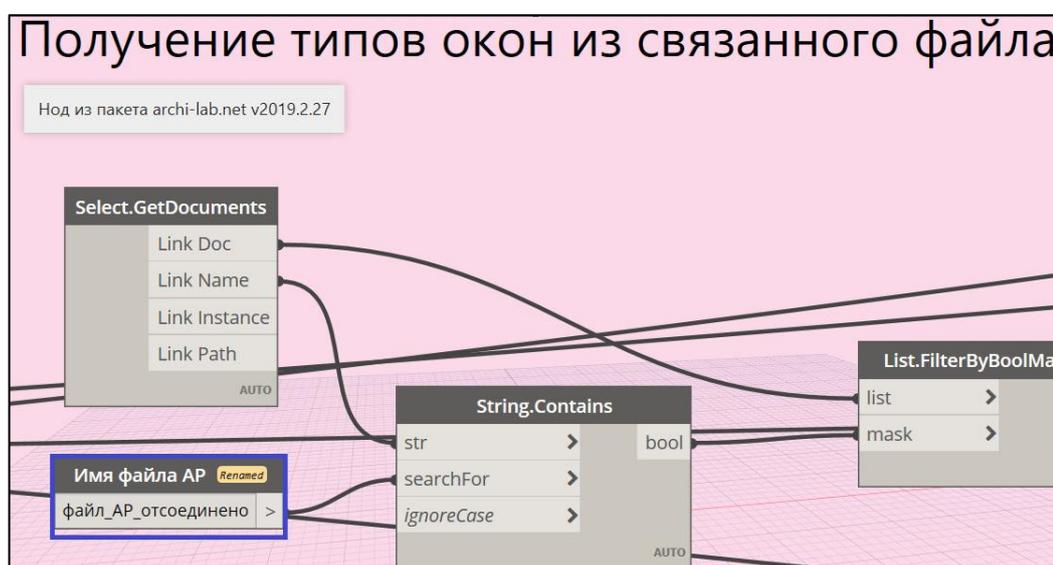


Рисунок 4.4 – Внесение значения имени связанного файла в скрипте

5. В блоках «Определение расчетной площади помещений» в нодах «Наименование первого этажа в ЦИМ» и «Наименование последнего этажа в ЦИМ» ввести имена первого и последнего уровней так, как это указано в самой модели (см. рисунок 4.5).

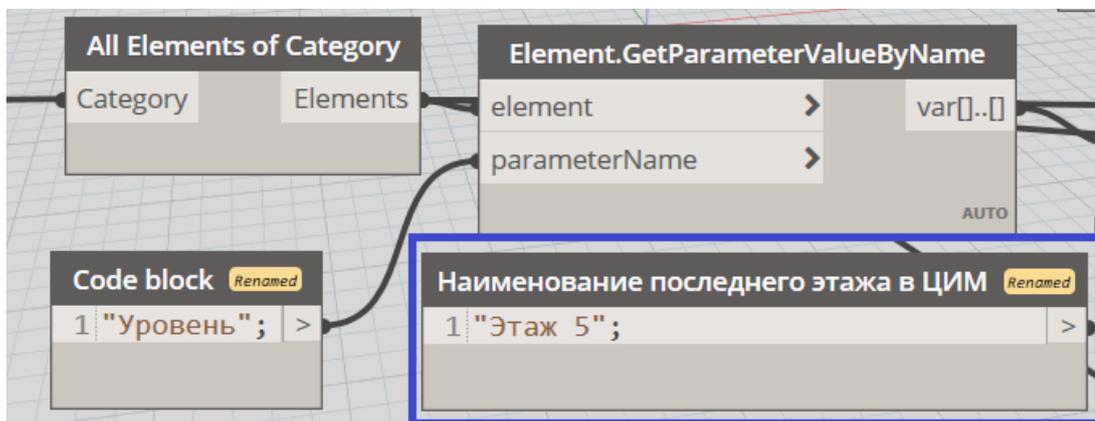


Рисунок 4.5 – Внесение значения имени этажа в скрипте

6. Нажать кнопку «Запуск», дождаться выполнения операций скриптом, после чего нажать кнопку повторно. В первый раз скрипт рассчитывает теплопотери ограждающих конструкций и заносит их в параметры пространств, при повторном запуске скриптом рассчитывается общее значение теплопотерь для помещений.

7. После этого можно закрывать скрипт и ПО Dynamo.

Результатом запуска скрипта являются заполненные параметры пространств внутри ЦИМ, включающие теплопотери окон, дверей, стен, перекрытий и помещений.

Также, для удобства дальнейшей работы с полученными результатами необходимо скопировать спецификацию «Отчет по теплопотерям помещений», как это описано в п.4 подраздела 4.1.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения ВКР были изучены основные понятия и нормативная база, необходимая для проведения расчета теплотехнических потерь здания. Был проведен анализ существующего программного обеспечения для расчета тепловых потерь. Проведенный анализ показал, что на рынке отсутствует решение, которое было бы доступно в настоящее время российским пользователям, позволяло бы производить расчет согласно нормативным стандартам Российской Федерации, и, в то же время, предоставляло возможность сохранения расчетной информации по теплопотерям в цифровой информационной модели здания.

На основе проведенного анализа был сформирован список требований к разработанному скрипту, к основным достоинствам которого, помимо сокращения трудозатрат и повышения точности расчетов, можно отнести возможность сохранения результатов вычислений в ЦИМ, возможность расширения его функционала в случае необходимости, а также незначительное потребление ресурсов ПК.

В ходе работы скрипт был протестирован, полученные значения были сравнены со значениями, рассчитанными в стороннем ПО. В результате, была подтверждена точность и корректность работы разработанного программного продукта. На завершающем этапе исследования была составлена инструкция пользователя для обеспечения его необходимой информацией по работе со скриптом.

Таким образом, в рамках исследования в полной мере были выполнены поставленные задачи и достигнута основная цель – разработан программный скрипт, который позволяет автоматизировать процесс расчета теплопотерь здания, основываясь на его цифровой информационной модели.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. СП 333.1325800.2017. Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла. Официальное издание. М.: Стандартинформ, 2018. URL: <https://docs.cntd.ru/document/556793897?section=text> (дата обращения 03.04.2024).

2. СП 60.13330.2020. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003. Официальное издание. М.: Стандартинформ, 2017. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456054205?section=text> (дата обращения 02.03.2024).

3. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. Официальное издание. М.: Минрегион России, 2012. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200095525?section=text> (дата обращения 02.03.2024).

4. ГОСТ 30494–2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. Официальное издание. М.: Стандартинформ, 2019. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456054205?section=text> (дата обращения 02.03.2024).

5. СП 131.13330.2018. СНиП 23-01-99* Строительная климатология. Официальное издание. М.: Стандартинформ, 2019. URL: <https://docs.cntd.ru/document/554402860?section=text> (дата обращения 02.03.2024).

6. СНиП 2.04.05-91*. Отопление, вентиляция и кондиционирование. Официальное издание. ГУП ЦПП, Госстрой России, 2003. URL: <https://docs.cntd.ru/document/9056428?section=text> (дата обращения 02.03.2024).

7. Н. П. Ширяева, Е. А. Маляр. Е. А. Комаров. Проектирование водяной системы отопления. Определение мощности системы отопления. Тепловой расчет отопительных приборов: Методические указания к выполнению курсового проекта по дисциплине «Отопление»: УрФУ, 2017. 43 с.

8. СНиП II-3-79* Строительная теплотехника. Официальное издание. ГУП ЦПП, Госстрой России, 2001. URL: <https://docs.cntd.ru/document/871001234?section=text> (дата обращения 02.03.2024).

9. Официальный сайт компании «Autodesk» [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.autodesk.com/products/revit/mep> (дата обращения: 21.03.2024).

10. ОВ и ВК. Урок 9. Пространства и зоны. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.youtube.com/watch?v=RgLIWj1C9OI&t=79s> (дата обращения: 22.03.2024).

11. Официальный сайт компании «Linear» [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.linear.eu/ru/home> (дата обращения: 22.03.2024).

12. Официальный сайт компании «Два облака» [Электронный ресурс]. – URL: <http://dvaoblaka.ru/revit/heating> (дата обращения: 22.03.2024).

13. Интернет-блог Вадима Муратова. [Электронный ресурс]. – URL: <https://dzen.ru/muratovbim> (дата обращения: 22.03.2024).

14. Официальный сайт проекта «Dynamo Primer» [Электронный ресурс]. – URL: https://primer.dynamobim.org/ru/01_Introduction/1-2_what_is_dynamo.htm (дата обращения: 02.04.2024).

15. В. В. Талапов. Основы BIM: введение в информационное моделирование зданий: учебное пособие.; ДМК Пресс, Москва, 2011. 392 с.

16. Видеокурс «Dynamo: продвинутый уровень» – Vysotskiy consulting. [Электронный ресурс]. – URL: <https://dzen.ru/muratovbim> (дата обращения: 20.03).