

отраслях. Увеличение производительности, снижение затрат и повышение безопасности могут укрепить позиции предприятий в отрасли.

#### Список использованных источников

1. Поворотные платформы: Центр автоматизированных парковочных технологий «МультиПаркинг» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://multiparking.ru/povorotnyye-platformy>. – Дата доступа: 10.12.2023.
2. Круговое депо: Узнай Москву. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://um.mos.ru/houses/krugovoe\\_depо/](https://um.mos.ru/houses/krugovoe_depо/). – Дата доступа: 10.12.2023.
3. Историческая площадка «Паровозное депо «Подмосковная»: Московская железная дорога [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mzd.rzd.ru/ru/11454?ysclid=ltkla7mfjt788224576>. – Дата доступа: 10.12.2023.
4. Поворотная платформа ORION: PANDA® LIFT [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pandalift.ru/catalog/parkovochnoe-oborudovanie/povorotnaya-platforma-orion/>. – Дата доступа: 10.12.2023.

## 4.7 Теплоэнергетика

УДК 697.1

### РАСЧЕТ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ЗДАНИЯ В AUTODESK REVIT

*Волкова Е.Э., студ., Ермак К.И., студ., Игнатъев С.А., асп., ст. преп.  
Витебский государственный технологический университет,  
г. Витебск, Республика Беларусь*

Реферат. *Autodesk Revit позволяет проектировать различные инженерные системы, в частности производить расчет тепловых потерь и гидравлический расчет системы отопления на основании информационной модели в автоматическом режиме.*

Ключевые слова: BIM-технологии, информационная модель здания, Autodesk REVIT, программный комплекс, BIM-моделирование, методика расчета теплотерь.

На сегодняшний день наиболее удобной в использовании для построения инженерных систем в комплексе с архитектурой и конструкциями здания является Autodesk REVIT – программа, позволяющая построить информационную модель в среде многомерного проектирования и дающая возможность совместной работы инженерам из различных разделов [1, 2].

Методика данного расчета основана на построении информационной модели одноэтажного здания, включающей в себя все составные части конструкции, а также учитывающей разделение одного этажа здания на 3 помещения разного размера для чистоты эксперимента (рис. 1). Методика расчета основана на автоматическом расчете отопительной нагрузки программного комплекса Revit [3].

Теплотехнический расчет сводится к вычислению коэффициентов теплопередачи наружных ограждающих конструкций жилого здания: стен, чердачного перекрытия (без чердачного перекрытия для здания с плоской кровлей), остекления и входной двери в здание. Материалы и их свойства приняты общими для ручного и автоматического расчетов (табл. 1). Программный комплекс Revit автоматически рассчитывает сопротивление теплопередачи ограждающих конструкций ( $R$ ) и указывает их в таблице с данными [4].

Для определения необходимого количества тепла теплотехнический расчет выполняется по методике, приведенной в источнике [3], на основании характеристик ограждающих конструкций, указанных выше. Результат расчета представлен в таблице 2.

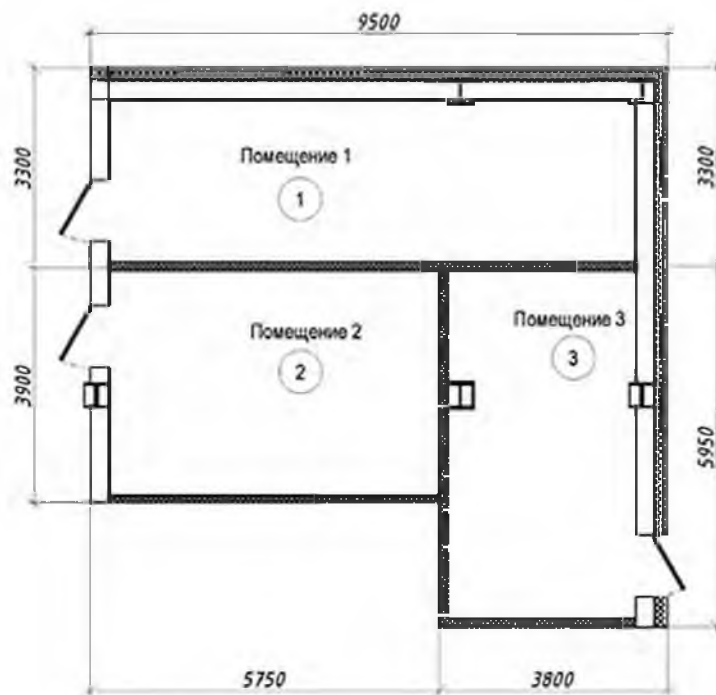


Рисунок 1 – Двумерный план здания

Таблица 1 – Характеристики ограждающих конструкций

Категория	Аналитическая конструкция
Крыши	Легкий бетон – 4 дюйма ( $R = 1,2750 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ )
Наружные стены	Блок из легкого бетона – 8 дюймов ( $R = 0,8108 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ )
Внутренние стены	Каркасная перегородка, гипсокартон – 3/4 дюйма ( $R = 1,4733 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ )
Потолки	Легкий бетон – 8 дюймов ( $R = 1,3610 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ )
Перекрытия	Со сплошным основанием без изоляции ( $R = 0,7059 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ )
Двери	Металл ( $R = 3,7021 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ )
Наружные окна	Большие окна с двойным остеклением (зеркальное покрытие) ( $R = 2,9214 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ )

Таблица 2 – Результат расчета теплотерь здания

Наименование помещения	Наименование ограждения	Площадь, м <sup>2</sup>	Теплопотери через ограждение, Вт	Суммарные теплопотери, Вт
Помещение 1	Наружная стена 1	31,9	604	1668
	Наружная стена 2	11,6	190	
	Подвальное перекрытие	24,9	585	
	Чердачное перекрытие	24,9	288	
Помещение 2	Подвальное перекрытие	18,0	206	414
	Чердачное перекрытие	18,0	208	
Помещение 3	Наружная стена 1	18,3	348	1136
	Наружная дверь	2,4	169	
	Подвальное перекрытие	18,6	406	
	Чердачное перекрытие	18,6	214	

Общие потери теплоты в данном расчете учитывают инфильтрационные потери и бытовые тепlopоступления. Для расчета в программном комплексе необходимо задать состав элементов информационной модели, включающий элементы ограждающих и светоотражающих конструкций и дверей, влияющие на расчет (рис. 2).

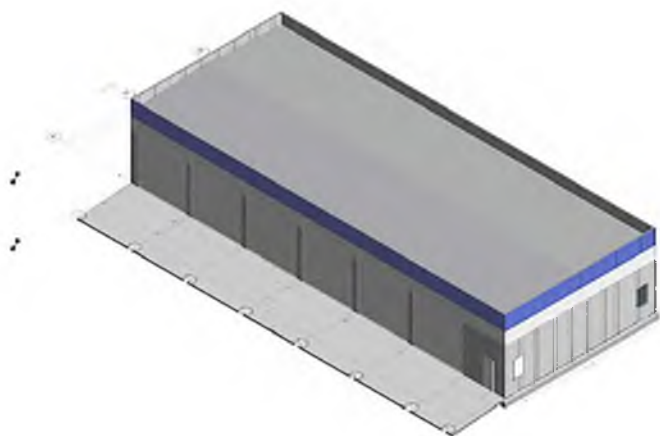


Рисунок 2 – Объемная модель здания

После этого появляется возможность расчета данной модели в автоматическом режиме. Для этого необходимо уточнить в программе месторасположение данного здания. Далее программа предлагает скорректировать температуру наиболее холодной пятидневки в соответствии с [5].

Также необходимо указать внутреннюю температуру помещений, и можно вывести расчет отопительных и холодильных нагрузок, в котором пиковая отопительная нагрузка соответствует расчетным значениям тепlopотерь помещений.

В таблице 3 приведен отчет расчета в том виде, в котором его выдает программа.

Таблица 3 – Отчет расчета отопительных нагрузок в программном комплексе Revit

Пространство	Площадь	Объем, м <sup>3</sup>	Пиковая холодильная нагрузка, Вт	Расход воздуха при охлаждении, м <sup>3</sup> /ч	Пиковая отопительная нагрузка, Вт	Расход воздуха при отоплении, м <sup>3</sup> /ч
Помещение 1	24,9	184,8	354	285	1210	284,8
Помещение 2	18,0	125,3	289	117	450	175,0
Помещение 3	18,6	132,4	398	138	950	198,2

Результаты выполненных расчетов, ручного и основанного на методике построения информационной модели, позволяют сделать вывод о возможности их применения для дальнейшего проектирования системы отопления жилого здания. Расхождения между полученными величинами тепловых потерь здания составили в среднем 100–150 Вт, и это показывает, что программный комплекс незначительно завышает тепlopотери для данного здания.

Автоматизированный метод расчета в программном комплексе Revit подходит для укрупненного расчета тепlopотерь здания и нагрузки на систему отопления, но не может являться основанием для дальнейшего проектирования системы.

#### Список использованных источников

1. Киевский, И. Л., Крутяков, А. Ю., Иванова, О. А., Читаев, А. Ю., Мыкытив, И. П. Опыт использования отечественных и импортных BIM-продуктов при проектировании жилых зданий // Промышленное и гражданское строительство. 2020. № 11. – С. 42–48.
2. Борисов, М. П., Вавин, А. А., Уткина, В. Н. Современные автоматизированные системы Revit и Renga для информационного моделирования зданий [Электронный ресурс] // Огарёв-Online. 2020. № 3 (140). С. 1. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennyeavtomatizirovannyesistemy-revit-i-renga-lyainformatsionnogomodelirovaniya-zdaniy>. – Дата доступа: 20.01.2022.
3. Суханова, И. И., Гнедых, В. С., Демшина, Д. А. Анализ гидравлического и аэродинамического расчетов систем отопления и вентиляции на основе BIM-моделирования // Инженерный вестник Дона. 2019. № 9 (60). – С. 6.

4. Girginkaya, A. S., Maqsood, U. A roadmap for BIM adoption and implementation in developing countries: the Pakistan case // International Journal of Architectural Research Archnet-IJAR. 2020. Vol. 14 (1). P. 112-132.
5. Строительная климатология: Изменение № 1 СНБ 2.04.02-2000. – Введ. 01.07.2007. – Минск: Минстройархитектуры, 2007. – 35 с.
6. Heating, ventilating, and air-conditioning applications / Ashrae. Atlanta, 2001. – 857 p.

УДК 614.895.5

## ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ТЕПЛОВЛАГОПЕРЕНОСА В СИСТЕМЕ «ЧЕЛОВЕК – ЗАЩИТНАЯ ОДЕЖДА – ВНЕШНЯЯ СРЕДА»

*Игнатъев С.А., асп., ст. преп., Ольшанский В.И., к.т.н., проф.  
Витебский государственный технологический университет,  
г. Витебск, Республика Беларусь*

Реферат. В статье изложены сценарии воздействия окружающей среды на тепловой комфорт человека с учетом свойств специальной защитной одежды и функционирования системы терморегуляции человека. Дано понятие о тепловом комфорте и системе терморегуляции организма человека. Математическая модель должна учитывать сложное протекание теплофизических процессов в системе «человек–одежда–окружающая среда». Модель используется для прогнозирования реакции одетого человека на различные изменения условий окружающей среды.

Ключевые слова: одежда специальная защитная, компартмент, терморегуляция, тепловой комфорт, температура, тепловлагоденос.

Цель исследования: на основе построения модели тепловлагоденоса в системе «человек – защитная одежда – внешняя среда» сформировать физико-математическую модель теплового баланса человеческого тела.

Баланс теплопродукции и теплоотдачи не означает достижение некоторого устойчивого состояния с неизменностью и стационарностью температуры, а в силу присутствия активного управления тепловлагоденосом наблюдается динамический баланс для поддержания постоянной температуры внутренних органов организма [1]. Поэтому уравнение теплового баланса может быть представлено в различных видах [2], но концептуально в них включаются три типа процессов – теплопродукция ( $M - W$ ), теплоотдача ( $K + C + R + E$ ), накопление/дефицит тепла в организме  $S$

$$M - W = K + C + R + E + S \quad (1)$$

Скорость обмена веществ (метаболизм)  $M$  обеспечивает тело энергией, позволяющей выполнять механическую работу  $W$  за счет физической активности, а остальная часть высвобождается в виде тепла ( $M - W$ ). Передача высвободившегося тепла в окружающую среду осуществляется проводимостью  $K$ , конвекцией  $C$ , излучением  $R$  и испарением  $E$ , интенсивность которых обычно зависит от условий окружающей среды [3].

Применение компартментного подхода для построения виртуальной модели тела человека с целью описания тепловых процессов в организме.

Как физическое, так и математическое моделирование тепловых процессов в системе «человек – одежда – окружающая среда» связано не только с установлением понимания функциональности защитной одежды с точки зрения ее теплоизоляционных свойств, но и, как указано выше, с изучением реакции организма человека с учетом его анатомических, физиологических, теплофизических особенностей на изменение внешней эксплуатации рассматриваемого типа одежды. При этом тело человека условно разбивается на  $N$  элементарных компонентов в виде простых геометрических фигур (сфера, цилиндр, пластина) называемых компартментами, тогда как тепловые процессы описываются через последовательность математических зависимостей, основанных на физических законах