

Гончар Д.Ю.

студент

2 курса магистратуры,

факультет «Интеллектуальных систем и программирования»

Донецкий национальный технический университет

Россия, ДНР, г. Донецк

РАСЧЁТ ТЕРМИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ И ТЕПЛОПОТЕРЬ МНОГОСЛОЙНОЙ НАРУЖНОЙ СТЕНЫ

Аннотация: Статья посвящена расчёту термического сопротивления и распределения температуры по толщине многослойной наружной стены здания и разработке программного комплекса, автоматизирующего данный расчёт по методике строительной теплотехники. Приводится формула суммарного термического сопротивления многослойной конструкции и распределения температуры по границам слоёв. Проведён расчёт для модельной стены из кирпичной кладки, утеплителя и штукатурного слоя: получены общее термическое сопротивление, удельный тепловой поток и распределение температуры по толщине стены, показано отсутствие точки промерзания внутри несущего слоя.

Ключевые слова: технические науки, строительная теплотехника, термическое сопротивление, теплопотери, многослойная стена, программный комплекс.

Gonchar D.Yu.

Student

2nd year of magistracy,

Faculty of "Intelligent Systems and Programming"

Donetsk National Technical University

Russia, DPR, Donetsk

CALCULATION OF THERMAL RESISTANCE AND HEAT LOSS OF A MULTILAYER OUTDOOR WALL

Annotation: The article deals with the calculation of thermal resistance and temperature distribution across a multilayer exterior building wall, and the development of a software package automating this calculation according to building thermal engineering methodology. The formula for the total thermal resistance of a multilayer structure and the temperature distribution at layer boundaries are presented. A model wall composed of brick masonry, insulation, and plaster is analyzed: the total thermal resistance, specific heat flux, and temperature distribution across the wall thickness are obtained, showing the absence of a freezing point within the load-bearing layer.

Key words: technical sciences, building thermal engineering, thermal resistance, heat loss, multilayer wall, software package.

Расчёт термического сопротивления ограждающих конструкций является обязательной частью проектирования зданий, поскольку определяет как энергоэффективность здания, так и отсутствие конденсации влаги и промерзания несущих конструкций в холодный период года «Цитата» [1, с. 67]. Целью настоящей работы является построение методики расчёта термического сопротивления и температурного поля многослойной стены, разработка программного комплекса на её основе и апробация на модельной конструкции стены.

Методика расчёта термического сопротивления

Полное термическое сопротивление многослойной ограждающей конструкции складывается из сопротивлений тепловосприятию у внутренней поверхности, теплопроводности каждого слоя и теплоотдаче у наружной поверхности

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_B} + \sum_i \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_H},$$

где $\alpha_{\text{в}}$ и $\alpha_{\text{н}}$ — коэффициенты теплоотдачи внутренней и наружной поверхностей, δ_i и λ_i — толщина и коэффициент теплопроводности i -го слоя. Удельный тепловой поток через конструкцию находится по формуле $q = (t_{\text{в}} - t_{\text{н}})/R_0$, а температура на границе каждого слоя последовательно вычисляется как $t_i = t_{i-1} - q \cdot R_i$, где R_i — термическое сопротивление предыдущего слоя «Цитата» [2, с. 41].

Описание программного комплекса

Разработанный программный комплекс включает модуль ввода состава многослойной конструкции с теплофизическими характеристиками каждого слоя, модуль расчёта суммарного термического сопротивления и теплового потока и модуль построения графика распределения температуры по толщине стены с проверкой отсутствия отрицательных температур в несущем слое.

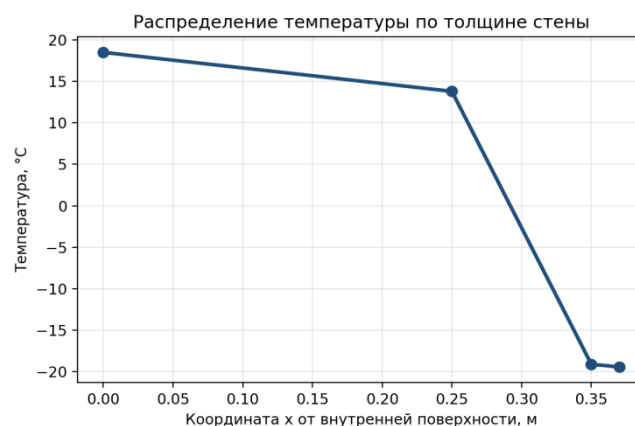


Рисунок 1. Распределение температуры по толщине многослойной стены

На рисунке 1 показано распределение температуры по границам слоёв стены — кирпичной кладки, утеплителя и штукатурки. Основной перепад температуры происходит в слое утеплителя, обладающем наибольшим термическим сопротивлением, что и является целью его применения в конструкции стены.

Результаты расчёта модельной стены

Расчёт проводился для стены, состоящей из кирпичной кладки толщиной 250 мм ($\lambda = 0,70 \text{ Вт/(м·К)}$), утеплителя из минеральной ваты толщиной 100 мм ($\lambda = 0,04 \text{ Вт/(м·К)}$) и штукатурки толщиной 20 мм ($\lambda = 0,80 \text{ Вт/(м·К)}$), при температуре внутреннего воздуха 20 °C и наружного воздуха -20 °C . Общее термическое сопротивление составило $R_0 = 3,04 \text{ м}^2\cdot\text{К/Вт}$, удельный тепловой поток $q = 13,16 \text{ Вт/м}^2$. Результаты расчёта температур по границам слоёв приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Распределение температуры по границам слоёв стены

Граница	Координата x , м	Температура, $^{\circ}\text{C}$
Внутренняя поверхность	0,00	18,49
Кладка / утеплитель	0,25	13,79
Утеплитель / штукатурка	0,35	-19,10
Наружная поверхность	0,37	-19,43

Из таблицы 1 видно, что основной перепад температуры (с $13,79$ до $-19,10 \text{ °C}$, то есть более $32,8 \text{ °C}$ из общего перепада в 40 °C) происходит именно в слое утеплителя, что подтверждает его определяющую роль в термическом сопротивлении конструкции. Температура на границе кладки и утеплителя ($13,79 \text{ °C}$) остаётся существенно положительной, то есть точка промерзания находится внутри утеплителя, а не в несущем кирпичном слое, что соответствует требованиям строительных норм к недопущению накопления влаги в несущих конструкциях «Цитата» [3, с. 58].

Сравнение с нормативным требованием по термическому сопротивлению

Полученное расчётное значение общего термического сопротивления $R_0 = 3,04 \text{ м}^2\cdot\text{К/Вт}$ необходимо сопоставить с нормируемым значением, установленным действующими строительными нормами для соответствующей климатической зоны и типа здания. Для большинства

регионов средней полосы нормируемое сопротивление теплопередаче стен жилых зданий составляет порядка $3,0\text{--}3,5 \text{ м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}$ «Цитата» [2, с. 12], то есть рассмотренная конструкция находится на границе нормативных требований и в отдельных климатических районах может потребовать увеличения толщины утеплителя. Значимость точного определения термического сопротивления подчёркивается тем, что несоответствие нормативным требованиям не только увеличивает эксплуатационные затраты на отопление здания, но и может формально препятствовать вводу здания в эксплуатацию по результатам энергетической паспортизации.

Разработанный программный комплекс может быть дополнен модулем автоматической проверки соответствия расчётного термического сопротивления нормативным требованиям для заданного региона строительства, что избавит проектировщика от необходимости отдельно сверяться со справочными таблицами нормативных документов.

Влияние теплопроводных включений

Приведённый расчёт термического сопротивления справедлив для однородного по площади участка стены, не содержащего теплопроводных включений — элементов конструкции с существенно более высокой теплопроводностью, чем основной материал слоя (например, металлических крепёжных элементов утеплителя, монолитных железобетонных включений в кирпичной кладке, оконных и дверных откосов). Такие включения образуют локальные зоны с пониженным термическим сопротивлением — так называемые мостики холода, — через которые происходит непропорционально большая доля общих теплопотерь здания, а на внутренней поверхности стены в зоне мостика холода температура может опускаться ниже точки росы, приводя к конденсации влаги и развитию плесени «Цитата» [3, с. 84]. Точный учёт мостиков холода требует двумерного либо трёхмерного расчёта температурного поля методом конечных элементов или конечных разностей, в отличие от рассмотренного в

работе одномерного расчёта, справедливого лишь для участков стены вдали от теплопроводных включений и стыков конструкций.

Заключение

В работе построена методика расчёта термического сопротивления и температурного поля многослойной наружной стены, разработан программный комплекс на её основе и проведён расчёт для модельной трёхслойной стены с эффективным утеплением. Показано, что основной температурный перепад приходится на слой утеплителя, а точка промерзания не затрагивает несущую конструкцию. Дальнейшее развитие работы связано с включением в комплекс расчёта влажностного режима конструкции и проверки на конденсацию влаги внутри слоёв.

Использованные источники:

1. Богословский, В. Н. Строительная теплофизика : учебник для вузов / В. Н. Богословский. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Высшая школа, 1982. — 415 с.
2. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. — М.: Минрегион России, 2012. — 96 с.
3. Фокин, К. Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий / К. Ф. Фокин. — 5-е изд., перераб. и доп. — М.: АВОК-ПРЕСС, 2006. — 256 с.